

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**“ALMACENAMIENTO Y TASAS DE FIJACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO
EN DIFERENTES NIVELES ALTITUDINALES EN SISTEMAS
AGROFORESTALES DE CACAO, DISTRITO DE JOSÉ CRESPO Y
CASTILLO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN
CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

Presentado por:

OSORIO YACOLCA JHONATAN EDILBERTO

2015

DEDICATORIA

A Dios; por darme la vida y la
sabiduría para seguir avanzando
hacia un futuro mejor.

A mis padres Edilberto Osorio Polo y
Martha Yacolca Pacheco, por su inmenso
amor, dedicación, entrega y apoyo
incondicional, brindado durante todo este
tiempo de mi formación profesional.

A mis hermanos Mariluna, Nilda y
Esaú; por su gran apoyo, confianza y
afecto al brindarme su fuerza para
ser cada día mejor.

A mi amada esposa Edith Rivera Simón y
a mi hijo Israel, porque son el motivo que
me inspira a superarme día a día.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, “alma mater” en mi formación profesional, que sus aulas llevé a cabo la culminación de mi carrera profesional.

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, que se esforzaron por entregarme sus conocimientos y experiencias.

Al Ing. Lucio MANRIQUE DE LARA SUAREZ, quien me ofreció su invaluable asesoramiento en la presente investigación. Por su paciencia, empeño y confianza.

A mis amigos y colegas, por su apoyo en mi larga carrera universitaria.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Cambio climático	4
2.1.1. Efecto invernadero	4
2.2. Carbono (C)	5
2.2.1. Almacenamiento y fijación de carbono.....	5
2.2.2. Ciclo de carbono	6
2.2.3. Sumideros de carbono	7
2.2.4. Biomasa y carbono	9
2.2.5. Sistemas agroforestales y fijación de carbono	10
2.2.6. Carbono fijado.....	12
2.2.7. Carbono no emitido.....	12
2.2.8. Captura unitaria de carbono.....	13
2.3. Sistemas agroforestales de cacao	14
2.4. Estudios realizados	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25

3.1. Lugar de ejecución	25
3.2. Características generales de la zona	26
3.2.1. Fisiografía	26
3.2.2. Características ecológicas	26
3.2.3. Precipitación	26
3.2.4. Humedad	27
3.2.5. Hidrografía	27
3.2.6. Topografía.....	27
3.2.7. Suelos.....	27
3.2.8. Antecedentes del sistema agroforestal ubicado en el caserío Corvina	28
3.2.9. Antecedentes del sistema agroforestal ubicado en el caserío Los Cedros	29
3.2.10. Antecedentes del sistema agroforestal ubicado en el caserío Alto Cuchara	29
3.3. Materiales, insumos y equipos	30
3.3.1. Materiales y equipos de campo	30
3.3.2. Materiales y equipos de laboratorio	30

3.4. Metodología	30
3.4.1. Toma de muestras	31
3.4.2. Muestreo de suelos.....	33
3.4.3. Muestreo de hojarasca.....	33
3.4.4. Muestreo de biomasa del suelo	35
3.4.5. Muestreo de biomasa aérea	36
3.4.6. Muestreo de necromasa	41
3.4.7. Muestras de hojarasca, raíces finas y necromasa	42
3.5. Tipo de investigación.....	44
3.5.1. Unidades exploratorias (UE)	45
3.5.2. Variables independientes.....	46
3.5.3. Variables dependientes.....	46
3.6. Análisis estadístico.....	46
IV. RESULTADOS	47
4.1. Evaluación de la cantidad de carbono almacenado en los diferentes componentes de un sistema agroforestales de cacao: Suelo, raíces finas y gruesas, hojarasca, necromasa y biomasa aérea en tres niveles altitudinales.	47

4.1.1. Carbono orgánico en la hojarasca	47
4.1.2. Carbono orgánico almacenado en la biomasa aérea.....	49
4.1.3. Carbono orgánico almacenado en la necromasa.....	50
4.1.4. Carbono orgánico almacenado en la biomasa radicular	52
4.1.5. Carbono orgánico almacenado en el suelo.....	54
4.2. Evaluación del total de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de cacao respecto al nivel altitudinal	55
V. DISCUSIÓN.....	57
5.1. Evaluación de la cantidad de carbono almacenado en los diferentes componentes de un sistema agroforestales de cacao: Suelo, raíces finas y gruesas, hojarasca, necromasa y biomasa aérea en tres niveles altitudinales.	57
5.1.1. Carbono orgánico en la hojarasca	57
5.1.2. Carbono orgánico almacenado en la biomasa aérea.....	59
5.1.3. Carbono orgánico almacenado en la necromasa.....	60
5.1.4. Carbono orgánico almacenado en la biomasa radicular	61
5.1.5. Carbono orgánico almacenado en el suelo.....	62
5.2. Evaluación del total de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de cacao respecto al nivel altitudinal	63

VI. CONCLUSIONES	65
VII. RECOMENDACIONES.....	66
VIII. ABSTRACT	67
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXO	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Carbono almacenado en dos SUT de la provincia de Leoncio Prado.....	18
2. Coordenadas geográficas de las parcelas en estudio	25
3. Total de carbono orgánico almacenado en la hojarasca de los SAFs	48
4. Cantidad de carbono orgánico almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales en estudio	49
5. Total de carbono orgánico almacenado en la necromasa	51
6. Total de carbono orgánico almacenado en la biomasa radicular	53
7. Total de carbono orgánico almacenado en el suelo de los sistemas agroforestales en estudio	54
8. Total de carbono orgánico almacenado en el suelo de los sistemas agroforestales en estudio	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Componente del almacenamiento de carbono	12
2. Diseño de la ubicación de la parcela de muestreo del cacaotal seleccionado (Fuente: Protocolo investigación CATIE).....	32
3. Toma de las sub-muestras de suelos en las parcelas de muestreo (Fuente: Protocolo investigación CATIE).....	32
4. Ubicación de la toma de las submuestras de hojarasca en las parcelas de muestreo.	34
5. Diseño de toma de las sub-muestras de raíces finas en las parcelas de muestreo.....	35
6. Medición de la longitud de circunferencia (Lc) del árbol de cacao a 30 cm del suelo	36
7. Medición de la altura del árbol de cacao	37
8. Almacenamiento de carbono orgánico (t/ha) en la hojarasca de los sistemas agroforestales en estudio	48
9. Almacenamiento de carbono orgánico (t/ha) en la hojarasca de los sistemas agroforestales en estudio.	50
10. Almacenamiento de carbono orgánico (t/ha) en la necromasa.....	52

21. Almacenamiento de carbono orgánico (t/ha) en la biomasa radicular	53
12. Almacenamiento de carbono orgánico (t/ha) en la biomasa radicular de los sectores en estudio.	55
12. Total de almacenamiento de carbono orgánico (t/ha) en los SAFs	56
14. Propietario de la parcela agroforestal del caserío Los Cedros.	77
15. Parcela agroforestal de cacao del caserío Corvina.	77
16. Determinación del volumen de los cilindros muestreadores.....	78
17. Extracción de muestra de suelo (Densidad aparente).....	78
18. Extracción de muestra de hojarasca	79
19. Extracción de muestras de suelo.....	79
20. Extracción de muestra de necromasa	80
21. Extracción de muestra de necromasa	80
22. Pesado de muestras de suelo	81
23. Determinación de materia orgánica del suelo.....	81
24. Extracción de muestra de hojarasca	82
25. Determinacion de la materia organica	82

RESUMEN

La investigación se realizó en tres (03) parcelas agroforestales (*Theobroma cacao* asociado con *Inga edulis*), políticamente ubicadas en los caseríos: Los Cedros, Corvina y Alto Cuchara, distrito de José Crespo y Castillo, provincia Leoncio Prado, región Huánuco, con la finalidad de evaluar el almacenamiento de carbono orgánico en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* – *Inga edulis*) en los componentes del sistema: Suelo, biomasa radicular, necromasa, biomasa aérea y hojarasca en diferentes niveles altitudinales. La metodología empleada para el proceso de muestreo en campo de las fracciones en estudio se realizó en base al protocolo de investigación del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Se determinó que el almacenamiento de carbono orgánico en las fracciones hojarasca, biomasa aérea, biomasa radicular y en el suelo de los sistemas agroforestales, es mayor en el caserío Corvina (521 m.s.n.m) sin embargo a medida que el nivel altitudinal incrementa, la tasa de almacenamiento tiende a disminuir. Por otra parte respecto a la fracción necromasa no es afectada por el factor nivel altitudinal. Así mismo, se determinó que el nivel altitudinal afecta en la tasa de fijación y almacenamiento de carbono orgánico en los componentes de un sistema agroforestal de cacao, existiendo una tendencia inversamente proporcional del nivel altitudinal respecto al carbono orgánico total.

Palabras clave: Almacenamiento, tasa de fijación, carbono orgánico, suelo, biomasa, nivel altitudinal.

I. INTRODUCCIÓN

El dióxido de carbono (CO₂) es el segundo gas de importancia que interviene en el efecto invernadero del planeta y 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. Una forma de mitigar estos efectos y reducir las emisiones, es secuestrándolo, fijándolo o capturándolo y manteniéndolo el mayor tiempo posible en la biomasa vegetal y principalmente en el suelo. El primer caso se logra a través de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica.

Debido a esta problemática mundial y sus posibles efectos sobre presentes y próximas generaciones y recursos naturales, es que la mitigación del cambio climático se ha convertido en un reto primordial para la economía y la ciencia dedicada a la conservación del medio ambiente. Una forma de mitigar el cambio climático radica en reducir las concentraciones de CO₂ mediante la implementación de sistemas agroforestales que son capaces de capturar el CO₂ de la atmósfera y almacenarlo en la biomasa aérea y subterránea, y en el suelo, manteniéndolo por largos periodos de tiempo (GAYOSO y GUERRA, 2005); los sistemas agroforestales al asociar especies leñosas con cultivos agrícolas se convierten en una opción económica y ecológica para mitigar el cambio climático (ANDRADE, 2007).

En el caso particular en el Perú, existe poca información en cuanto al efecto de factores geográficos (nivel altitudinal) en la estimación de biomasa y cuantificación de carbono en los sistemas agroforestales que generen modelos de crecimiento y biomasa para simular el almacenamiento y fijación de carbono de sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) plantados en 2000 – 2010, en los caseríos: Los Cedros, Corvina y Alto Cuchara, distrito José Crespo y Castillo.

La presente investigación contribuyó con la generación de datos y análisis específicos sobre el almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales, determinándose que el nivel altitudinal afecta positivamente en el almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao.”

Respecto a este contexto se trabajó siguientes objetivos:

Objetivo general

- Evaluar el almacenamiento de carbono orgánico en sistemas agroforestales de cacao (*T. cacao* – *I. edulis*) en los componentes del sistema: Suelo, raíces finas, necromasa, biomasa aérea y hojarasca en diferentes niveles altitudinales.

Objetivos específicos

- Determinar la cantidad de carbono almacenado en los diferentes componentes de un sistema agroforestal de cacao en los caseríos Corvina, Los Cedros y Alto Cuchara.

- Evaluar el total de carbono orgánico almacenado en los componentes de un sistema agroforestal de cacao en tres niveles altitudinales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cambio climático

El cambio climático global o calentamiento global, es un proceso de origen antrópico, que resulta de la aceleración del efecto invernadero natural de la tierra. La importancia de este proceso radica en las consecuencias catastróficas que está generando en todo el mundo como el derretimiento de los polos, incremento del nivel de mar, sequías, huracanes, tormentas, desplazamiento de áreas agrícolas, migración de enfermedades, extinción de especies, entre otras (SIFEM, 2000).

2.1.1. Efecto invernadero

Este fenómeno ocurre, cuando la radiación solar visible penetra hasta la superficie de la tierra y la calienta, y ésta a su vez emite radiación térmica, parte de la cual es retenida por los denominados gases de efecto invernadero (GEI) entre los que se destacan: el dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), clorofluorocarbonos (CFC's) y óxido nitroso (N_2O). Cuando el sistema climático se encuentra equilibrado, la radiación solar absorbida está en armonía con la radiación emitida al espacio por la tierra, pero cuando la concentración de GEI en la atmósfera aumenta, este equilibrio se rompe y se provoca un aumento artificial en la temperatura media global del planeta (PNUMA, 1998).

Según el tercer informe del grupo I del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel On Climate Change -IPCC 2001) (IPCC por sus siglas en inglés), desde finales del siglo XIX la temperatura media de la superficie terrestre ha aumentado 0.6°C y las temperaturas mínimas tienden a duplicarse por década en comparación con las máximas (0.2°C y 0.1°C , respectivamente).

2.2. Carbono (C)

En la naturaleza el carbono se halla en; el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (los carbonatos); en el aire como dióxido de carbono o anhídrido carbónico; en los organismos vivos, quienes se constituyen por compuestos de carbono, que obtienen como resultado de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento desarrollo, y son liberados cuando se mueren. Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo se constituye de carbono, por lo que es uno de los más importantes de la vida (INE, 2005).

2.2.1. Almacenamiento y fijación de carbono

El almacenamiento y la fijación de Carbono es uno de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y agroforestales. La fijación de carbono se genera en el proceso de fotosíntesis realizado por las hojas y otras partes verdes de las plantas, que capturan el CO_2 de la atmósfera y producen carbohidratos, liberan oxígeno y dejan carbono que se utiliza para formar la biomasa de la planta, incluyendo la madera en los árboles. La fijación de

carbono en especies leñosas perennes se basa en dos premisas; Primero, el CO_2 es un gas atmosférico que circula en el planeta, por lo tanto, las actividades dirigidas a eliminar GEI de la atmósfera tendrán la misma eficacia tanto si se realiza cerca de las fuentes de emisiones, como en el extremo opuesto del globo terrestre; Segundo, las plantas absorben CO_2 de la atmósfera en el proceso de fotosíntesis y la utilizan para sintetizar azúcares y otros compuestos orgánicos utilizados en el crecimiento y el metabolismo (MOURA, 2001).

2.2.2. Ciclo de carbono

El ciclo del carbono comienza con la fijación del Anhídrido carbónico (CO_2) atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis realizados por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el CO_2 y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. Parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a la planta y el CO_2 así formado, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte es consumida por los animales que también respiran y liberan CO_2 . Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en CO_2 y regrese a la atmósfera (ORDOÑEZ, 1999). La velocidad de absorción del CO_2 es directamente proporcional al crecimiento de los árboles, preservar los bosques naturales es una manera poco eficaz de fijar CO_2 , de lo contrario, una ordenación de especies leñosas perennes aprovechadas en el mejor momento, convertir la madera en productos

duraderos y promover la regeneración, permite fijar el máximo posible de carbono; evidentemente esta medida de aprovechamiento tiene límites, pues la utilización industrial de los bosques no es factible desde el punto de vista de conservación del ecosistema, de la biodiversidad y del fondo genético (KIRKLUND, 1990). De esta forma, el manejo de plantaciones de especies leñosas perennes con diferentes enfoques de manejo permiten generar servicios ambientales, paisaje, control del clima y conservación de agua, variabilidad genética, biomasa, etc. Además, la producción de especies leñosas perennes es un sistema de múltiples entradas y salidas, desde el punto de vista de la fijación de carbono, se asume que generan un proceso de producción multi-entrada/doble-salida, donde se analiza el manejo del bosque con respecto a la producción de dos servicios principales: madera y carbono orgánico (HOEN y SOLBERG, 1994).

En ese sentido, los bosques tropicales, las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales, y en general, aquellas actividades que lleven a la ampliación de una cobertura vegetal permanente, pueden cumplir la función de "Sumideros de Carbono" (CUELLAR Y GONZALEZ, 1999).

2.2.3. Sumideros de carbono

Entre los sumideros de carbono, se encuentran los propios suelos agrícolas, cuya capacidad de almacenar carbono está directamente relacionada con el contenido de materia orgánica de los mismos (RAMOS, 2003). Una parte del carbono fijado es transformado en biomasa y la otra parte

es liberada a la atmósfera por medio de la respiración. Los bosques del mundo absorben 110 Gt Carbono/año, mientras que mediante la respiración emiten 55 Gt Carbono/año y por medio de la descomposición emiten de 54 a 55 Gt Carbono/año (ORDOÑEZ, 1999).

Investigaciones recientes sugieren que la calidad del manejo forestal puede hacer una contribución significativa en controlar los niveles de CO₂ en la atmósfera; actividades de uso de la tierra que pueden contribuir a este fin son: La conservación de bosque en peligro de deforestación, rehabilitación de bosques, forestación, reforestación y agroforestería. La alternativa más viable de ampliación de sumideros de GEI es la forestación de nuevas áreas de tierra que presentan características favorables para ello. Las variables a considerar para elevar al máximo la fijación de Carbono incluyen: Las especies de árboles a plantar, las tasas de crecimiento y la longevidad de las mismas, las características del sitio a forestar, los períodos de rotación y la duración y uso de los productos forestales a extraer (FISHER y TRUJILLO, 1999).

Por otro lado, los bosques en crecimiento se convierten en sumideros de carbono al registrar una absorción neta de CO₂ de la atmósfera, en la biomasa y en el suelo. El hombre puede, mediante la ordenación forestal, modificar la magnitud de las reservas de carbono e inducir cambios en la circulación de este elemento, alterando así la función de tales reservas en el ciclo del carbono y posiblemente afectando el clima en forma positiva (BROWN, 1997).

La deforestación contribuye al aumento del CO₂ en la atmósfera de dos formas: Disminuyendo la cobertura vegetal (capaz de fijar carbono atmosférico) y por la liberación de CO₂ a la atmósfera a través de la quema y descomposición de biomasa, incluida parte de la materia orgánica en el suelo (HALL y RAO, 1994).

2.2.4. Biomasa y carbono

La biomasa se define como la suma total de la materia viva que se encuentra en un ecosistema en un momento determinado y se expresa en términos de peso seco, masa o volumen. En términos porcentuales el fuste del árbol concentra la mayor cantidad de biomasa aérea, representado entre 55 al 77% del total, luego están las ramas, de 5 a 37%; seguido por las hojas entre 1 a 15% y finalmente la corteza del fuste entre 5 a 16% respectivamente (PARDÉ, 1980).

La contribución porcentual de los diferentes componentes (fuste, corteza, ramas, hojas y raíces) en la biomasa total de un árbol varía considerablemente dependiendo de la especie, edad, sitio y tratamiento del agro-ecosistema (PARDÉ, 1980). Los ecosistemas forestales se pueden identificar diferentes compartimientos en los cuales se almacena el carbono. En términos generales se habla de la biomasa aérea, necromasa, biomasa subterránea, Carbono en el suelo, productos derivados de la madera en el caso de aprovechamiento forestal y otros productos no maderables (ORREGO y VALLE, 2001).

2.2.5. Sistemas agroforestales y fijación de carbono

En principio, la capacidad de secuestrar carbono de cualquier ecosistema terrestre depende principalmente de dos componentes: el área total de esos ecosistemas y el número de árboles por unidad de área. Los SAF pueden contener sumideros considerablemente grandes de carbono y en algunos casos se asemejan a los encontrados en bosques secundarios. Asimismo, la cantidad de carbono acumulada en el suelo aumenta en los sistemas agroforestales (SIFEM, 2000).

Los sistemas agroforestales no son sólo una alternativa de producción sostenible, sino una oportunidad para diversificar las fincas e incrementar las fuentes de ingresos con la posible venta de servicios ambientales por reducción del CO₂ atmosférico. El establecimiento de mercados de servicios ambientales puede contribuir de distintas maneras al desarrollo sostenible en el medio rural y en algunos casos sus beneficios trascienden el nivel local y adquiere una dimensión regional y hasta global.

El desarrollo de estos mercados puede conducir al surgimiento de nuevas actividades económicas, generación de empleo y de ingresos a los propietarios de recursos generadores de servicios ambientales. También, permite la transferencia de conocimientos y de recursos de otros sectores nacionales e internacionales al medio rural (RUIZ, 2002).

Los estudios de biomasa son importantes para comprender el ecosistema forestal, ya que explican la distribución de la materia orgánica en el

sistema y permiten evaluar los efectos de una intervención, respecto a su equilibrio en el ecosistema (SOMARRIBA y BEER, 1986). Existen diferentes métodos para estimar la biomasa, los utilizados más frecuentemente son:

- Aplicación de una ecuación de regresión específica a especies de árboles individuales a diámetro y/o otras medidas de los árboles. Así mismo también se ejecuta la ecuación de regresión genérica a diámetro y otras medias de árboles.
- Uso de tablas de rendimiento estándar para estimar el volumen de fuste y aplicando la gravedad específica se convierte a biomasa de fuste, posteriormente se aplica un factor de expansión para estimar biomasa total del árbol, e) Uso de la técnica del árbol promedio (MACDICKEN 1997 y SNOWDON *et al.* 2001, citados por Andrade s.f).
- Estudios realizados tanto en Norteamérica como en Europa y Asia, concuerdan en que la evaluación de la biomasa arbórea debe contemplar la separación de componentes en fuste, hojas y ramas, debería separarse también corteza y raíces (MACDICKEN, 1997).
- Estimación de tablas de biomasa específicas para especies o genéricas basadas en diámetro y/o altura.

El almacenamiento de carbono depende: de la especie arbórea y densidad de siembra, la materia orgánica presente en el suelo, edad de los componentes, tipos de suelos, características del sitio, factores climáticos y el manejo agroforestal al que se vea sometido (SEGURA, 1997).



Fuente: IPCC, 2003.

Figura 1. Componente del almacenamiento de carbono

2.2.6. Carbono fijado

Se refiere al flujo de carbono de la atmósfera a la tierra producto de la recuperación de zonas (regeneración) previamente taladas, desde pastizales, bosques secundarios hasta llegar al bosque clímax. El cálculo se define por el crecimiento de la biomasa convertida a carbono (ALPIZAR, 1997).

2.2.7. Carbono no emitido

Se refiere al carbono salvado de emitirse a la atmósfera por un cambio de cobertura. Se fundamenta en un supuesto riesgo que se tiene de eliminación de las plantas y por ende de emisión de carbono. El valor estimado considerando el carbono real y una tasa de podas (ALPIZAR, 1997).

2.2.8. Captura unitaria de carbono

Para definir la captura unitaria de carbono se estima el carbono contenido en diferentes almacenes (que pueden ser emitidos o ahorrados). Estos almacenes incluyen (INE, 2005):

- **Cs = Carbono contenido en los suelos**

Es el carbono contenido en las capas que conforman el suelo forestal. Se origina por la fragmentación de la roca madre meteorizada por el establecimiento de un organismo vegetal que con el tiempo forma capas por depósitos de materiales. Al irse acumulando éstas capas y compactando, almacenan una cierta cantidad de carbono, misma que aumentará por la continuidad del proceso de formación del suelo.

- **Cd = Carbono contenido en la materia orgánica en descomposición**

Es el contenido en la materia orgánica que se encuentra en proceso de descomposición es originada cuando las estructuras de vegetales como las hojas, las ramas o el tronco son depositadas en el suelo.

- **Cp = Carbono contenido en productos forestales (muebles, papel)**

Se refiere al carbono máximo o carbono real que pudiera contener un determinado tipo de vegetación, asumiendo una cobertura total y original.

– **Cv = Carbono contenido en la vegetación**

El carbono en vegetación es la suma del contenido en la biomasa aérea y la que se halla en la biomasa de las raíces. La biomasa aérea comprende el tronco, las hojas, las ramas y el follaje, mientras que el Carbono contenido en las raíces es definido como biomasa de las raíces.

– **Cr = Carbono ahorrado por no utilizar combustibles fósiles (proyectos bioenergéticos).**

Se refiere al carbono almacenado considerando las condiciones actuales de cobertura en cuando al área y el estado de sucesión: Bosque primario, bosque secundario, potreros.

2.3. Sistemas agroforestales de cacao

MAGA (2001) menciona que este tipo de sistema agroforestal (SAF), se clasifica como un SAF simultánea donde especies arbóreas (*Scheelea preussii*, *Terminalia oblonga*, *Enterolubium cyclocarpum*, *Sickingia salvadorensis*, *Triplaris melaenodendrum*, *Cybistax donnell-smithii*, *Andira inermis*, especies indicadoras del área de estudio) se encuentran asociadas con cultivos perennes (cacao). En este sistema, se pueden encontrar algunos árboles de sombra naturales del bosque que incluyen frutas como mango (*Mangífera indica*), aguacate (*Persea americana*), naranja (*Citrus reticulata*), así como árboles maderables. A medida que el cacao y los otros componentes maduran, se desarrolla un sistema de estratos múltiples de dosel serrado y con la mayoría de cualidades positivas del bosque natural.

El asocio de árboles y cultivos (bananos, cítricos, entre otros) en la plantación de cacao, da lugar a numerosas interacciones ecológicas, agronómicas y económicas, que incluyen la conservación de biodiversidad, suelos, agua y la generación de servicios ambientales como el secuestro de carbono. Además, cultivos como maíz, plátano o yuca, permite aprovechar mejor los nutrientes del suelo y proveer sombra temporal a las plantas jóvenes de cacao.

El establecimiento de maderables en los cacaotales, es una alternativa simple y barata para remplazar la sombra improductiva y difícil de manejar. Los maderables se benefician de la fertilidad de los suelos donde se siembra cacao y de la disponibilidad de agua durante todo el año en la zona. El cacao es una planta originaria de los trópicos húmedos de América y pertenece a la familia Sterculiaceae. Es una especie umbrófila que requiere de 60 a 70% de sombra en los primeros cuatro años y de 30 a 40% en plantaciones adultas o en áreas con una estación seca mayor de dos meses. Cuando se buscan altos rendimientos se deben mantener buenos niveles de radiación solar y elevada fertilidad del suelo. En suelos de baja fertilidad se recomienda cultivar el cacao bajo sombra para amortiguar las demandas nutricionales del cultivo. Los árboles comienzan a fructificar después de los 5 años de edad; sin embargo el material híbrido es muy precoz y puede comenzar a fructificar a los 2 años de establecido en el campo.

El árbol de cacao generalmente, tiene un tronco recto que puede desarrollar su primer molinillo u horqueta entre los 80 y 120 cm. La raíz

principal es pivotante y tiene muchas secundarias, la mayoría de las cuales se encuentran en los primeros 30 cm del suelo. Las hojas son simples y enteras, las flores y frutos se producen en cojines sobre el tejido maduro.

En condiciones de cultivo, el follaje se limita con la densidad de siembra y las podas. El cacao crece, se desarrolla y produce en diferentes pisos térmicos, desde el nivel del mar hasta 1.300 m de altura, como sucede en Colombia. En América Central se cultiva hasta los 650 msnm; sin embargo, en Honduras se han observado pequeñas plantaciones a una altura de 800m (37). Esta especie requiere temperaturas que van de 20°C a 30°C, una precipitación de 1.200 a 2.500 mm/año y una humedad relativa de 70 a 90%. Los suelos deben ser sueltos, con contenidos mayores del 5% de materia orgánica y provistos de fósforo y potasio, con buen drenaje y profundidad efectiva superior a 1.2 m (SANCHEZ y DUBÓN, 1997).

2.4. Estudios realizados

VILLOGAS (2014) encontró que el carbono total almacenado fue mayor para el sistema agroforestal de 10 años con 166.85 t c/ha y menor para los sistemas agroforestales de 8 y 6 años con 143.49, 130.86 t c/ha respectivamente, el carbono en la biomasa aérea fue superior para el sistema agroforestal de 10 años con 104.03 t c/ha y menor para los sistemas agroforestales de 8 y 6 años con 69.76, 68.40 t c/ha respectivamente. Por otro lado, el carbono del suelo de los sistemas agroforestales de 10, 8, 6 años fue 62.95, 62.46 y 73.73 t c/ha.

RAMOS (2003) 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 t/ha, con la siguiente distribución: 283.75 t/ha en la biomasa aérea; 79.92 t/ha en raíces (diámetro>5 mm); 2.79 t/ha en el sotobosque; 53.56 t/ha en la necromasa; 5.87 t/ha en la hojarasca; y 180.91 t/ha en los primeros 30 cm de suelo. El carbono acumulado en los suelos supera en todos los casos estudiados 140 t/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. Sostiene que 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 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.

BRINGAS (2010) determinó el carbono total aéreo almacenado en sistemas de bosques secundarios y SAF de cacao más laurel, de 9,10 y 11 años de edad para ambos sistemas, obteniendo mayor contenido de carbono en los bosques secundarios; además se observa que el incremento de la cantidad de carbono, está relacionado con la edad del sistema, y esto se cumple para los dos SUT evaluados. También se observa que en el estrato 18 arbóreo se encuentra la mayor cantidad de carbono, seguido de la hojarasca y finalmente el estrato arbustivo-herbáceo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Carbono almacenado en dos SUT de la provincia de Leoncio Prado.

Sistema de uso de tierra	Arbórea	Arbustiva / herbácea	Hojarasca	Total (t.C/ha)
Bosque secundario 9 años	21.6	0.87	5.2	50.3
Bosque secundario 10 años	69.3	0.2	5.3	74.8
Bosque secundario 11 años	94.7	0.4	6.9	102.1
Cacao + laurel 9 años	47	0.5	2.8	50.3
Cacao+ laurel 10 años	62.6	1.7	5.1	69.5
Cacao + laurel 11 años	80	1	2.6	83.6

Fuente: BRINGAS (2010)

SEGURA y KANNINEN (2002) refieren que los sistemas forestales y agroforestales (SAF) pueden funcionar como sumideros de CO₂ almacenando en promedio 95 t/ha en zonas tropicales, para un total de 2.1 billones de toneladas de C por año en estas áreas.

ANDRADE (1999) indica que en sistemas con pastos, el C almacenado fue mayor en los sistemas silvopastoriles (95 t/ha), con respecto a las pasturas en monocultivo (68 t/ha para *Brachiaria* y 84 t/ha para ratana). Por su parte, TROUVE *et al.* (1994) obtuvieron un almacenamiento de C de 63 a 76 t/ha en sistemas silvopastoriles con *E. deglupta* en el Congo. El aporte de las pasturas en el almacenamiento de C fue inferior a 2.5 t/ha ANDRADE (1999), obtuvo un almacenamiento de C en las pasturas de 0,35 y 1,5 t/ha para *B. brizantha* asociada a *E. deglupta* o *A. mangium*, respectivamente. Los suelos de los bosques son grandes sumideros de carbono. KANNINEN citando a Boliny Sukamar, (2000), entrega cifras de 123 t/ha de C almacenado en suelo de bosque tropical.

Los bosques y los pastizales son dos grandes potenciales en el almacenamiento de C en el suelo. ÁVILA *et al.*, 2001 reporta C almacenado (0-25 cm) en pasto brachiaria a pleno sol por la cantidad de 66 t/ha de C; pasto retana a pleno sol 84 t/ha de C y Brachiaria-eucalipto (3 años) 87 t/ha de C. Al efectuarse las comparaciones sobre el almacenamiento de carbono en el suelo, indica que los efectos de almacenamiento de carbono se deben a varios factores: edad de las especies, textura de suelo, cambio de uso de suelo, manejo del cultivo, entre otros.

INGRAM y FERNÁNDEZ (1999), citado por la FAO (2000), y ACUÑA y OVIEDO, (2001); indican que el secuestro de carbono estará controlado por un número de factores como la composición mineral del suelo, su textura, profundidad, densidad aparente y la aireación. La magnitud a la que el nivel potencial del carbono del suelo puede llegar, será controlado por factores limitantes como la producción de biomasa aérea y subterránea, por los efectos directos del clima en los procesos del suelo y por los efectos indirectos del clima en la producción de biomasa. Los niveles actuales del almacenamiento de carbono en el suelo serán controlados por factores de reducción entre los cuales están las pérdidas directas por erosión, lixiviación y por las causas del manejo de residuos de las cosechas que puedan limitar la cantidad de carbono que entran en el suelo.

CONCHA *et al.* (2007) evaluaron la biomasa aérea en seis diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) asociado con especies forestales maderables y frutales; con el propósito de conocer el

potencial de captura de carbono por cada sistema. El estudio se realizó en dos 14 diferentes sitios ubicados en la región San Martín (provincias de San Martín y Mariscal Cáceres). Los sistemas agroforestales estimados presentaron edades de 5, 12 y 20 años. En cada sistema se establecieron aleatoriamente cinco cuadrantes de 100 m² cada uno, evaluándose la biomasa vegetal total existente. Para evaluar la ecuación alométrica del cacao se muestrearon 7 plantas cuyas edades variaron de 01 hasta 22 años. Los resultados en captura de carbono en cada sistema agroforestal varían desde 26.2 t C/ha para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 45.07 t C/ha del sistema agroforestal de Pachiza de 12 años; Así mismo, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12.09 t/ha hasta 35.5 t ha, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t/ha hasta 9.97 t/ha; mientras la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos.

ALEGRE *et al.* (2002) realizaron estudios de carbono en Yurimaguas, en diferentes sistemas de uso de tierra; determinando que el bosque tiene contenido más altos de carbono total. El barbecho natural aumenta su contenido de carbono con el tiempo, mientras que en los sistemas manejados son más bajos; sin embargo el contenido de carbono en la biomasa aérea en los sistemas perennes con árboles y coberturas es más alto. Lo cual indica que cultivos de árboles perennes basados en sistemas multiestratos alcanzan del 20% a 46% de carbono secuestrados del bosque primario, comparado con solo 10% de los sistemas de cultivos anuales.

ORTIZ y RIASCOS (2006) indican que a los 25 años, el sistema laurel-cacao almacenaron entre 43 y 62 t C/ha; el laurel fijó entre 80-85% del carbono total en la biomasa. HERRERA (2010) tuvo el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao clon CCN-51 en diferentes edades con guaba o bolaina, de 28,81 a 90,49 t C/ha en la biomasa aérea, mientras que la acumulación de carbono total (Biomasa aérea + suelo) varió de 35,04 a 97,76 t C/ha. LAPEYRE *et al.* (2004) determinaron la capacidad de captura de carbono en la biomasa aérea en distintos sistemas de uso de la tierra, evaluados en la Región San Martín a diferentes niveles altitudinales. De la misma forma afirma que los sistemas permanentes con mayor crecimiento presentan los valores más altos de acumulación de carbono, es el caso del bosque primario que contiene un promedio de 485 tC/ha (100%), valor que se reduce drásticamente si este se deforesta y se quema para plantar cultivos anuales en las mismas áreas llegando a valores muy bajos, menos de 5 t C/ha (1%). Recuperar el estado inicial de las reservas del bosque primario tomará muchos años, tal como se puede apreciar con el bosque secundario de 50 años que alcanza solo un 48% de lo que se tenía en el bosque primario. FREITAS *et al.* (2006) evaluaron el almacenamiento de carbono en aguajales de la Reserva Nacional de Pacaya Samiria, siendo los resultados 484.5 t/ha y 424.7 t/ha el contenido de carbono almacenado en los aguajales denso y mixto respectivamente, destacándose la mayor contribución de carbono del suelo, que representa 76.2% 79.2% de los totales. RIOS (2007) realizó estudios de cuantificación de carbono en la región Huánuco, provincia Leoncio Prado, distrito de José Crespo y Castillo. Determinando que el cultivo de coca posee la

capacidad de almacenar buenas cantidades de carbono aun así, si las plantaciones son jóvenes, en la de un año de edad, encontró valores muy altos (80.4 t C/ha), que están por encima de valores que presentan los sistemas agroforestales de café de tres años (37.7 t C/ha) e inclusive de los sistemas de cacao mejorado de 30 años y cacao tradicional de 35 años, con valores de 3.7 y 3.3 tC/ha respectivamente; el mayor depósito de carbono lo encontramos en la biomasa aérea y esto se da para todos los sistemas de uso de tierra evaluados.

HINOSTROZA (2012) determinó el carbono aéreo en tres sistemas de uso de tierra tanto en bosques, pastizales y palma aceitera, encontrando que las reservas de carbono están en función al tipo de sistema del uso de la tierra; los bosques primarios presentaron 135.5 t/ha de carbono, seguido por los pastizales 21.4 t/ha y finalmente las plantaciones de palma aceitera que almacenaron 14.7 t/ha de carbono. DEaubenMIRE y PRUSSO (1963), señalan que un incremento de la temperatura no resulta siempre en una velocidad de descomposición mayor, probablemente debido a la interacción de la temperatura con otros factores ambientales, entre ellos la humedad.

BABBAR (1983) refiere que en el suelo la liberación de CO₂, indicador de la actividad biológica, se duplica cuando la temperatura aumenta 100C. Para Alexander (1977), la temperatura óptima para el desarrollo de organismos descomponedores se halla entre 30-400C. Según De las Salas (1979), el clima perhúmedo sin períodos secos influye, a pesar de la alta temperatura del aire, la actividad biológica y por consiguiente, la mineralización

de la materia orgánica disminuye y la humificación aumenta con el descenso de la temperatura, se observa un incremento del contenido del humus en el suelo con el aumento en altura en las montañas. Debido a las fluctuaciones insignificantes de la temperatura en el curso del año se puede considerar como medida, la temperatura promedio anual para la intensidad de la descomposición de la materia orgánica en los trópicos. Los valores de biomasa no son similares en cualquier parte de la Amazonia, sino que varían sustancialmente de acuerdo a las condiciones ambientales y físicas de cada zona (HONORIO y BAKER 2010).

INGRAM y FERNÁNDEZ (1999), citado por la FAO (2000), y ACUÑA y OVIEDO, (2001); indican que el secuestro de carbono está controlado por un número de factores como la composición mineral del suelo, su textura, profundidad, densidad aparente y la aireación. La magnitud a la que el nivel potencial del carbono del suelo puede llegar, será controlado por factores limitantes como la producción de biomasa aérea y subterránea, por los efectos directos del clima en los procesos del suelo y por los efectos indirectos del clima en la producción de biomasa. Los niveles actuales del almacenamiento de carbono en el suelo serán controlados por factores de reducción entre los cuales están las pérdidas directas por erosión, lixiviación y por las causas del manejo de residuos de las cosechas que puedan limitar la cantidad de carbono que entran en el suelo.

Los sistemas agroforestales de cacao ubicados en Waslala (Nicaragua) a una altitud media de 412 m.s.n.m. con una densidad media de

625 plantas ha. En promedio almacenan 91,45 t C/ha, así mismo los componentes del SAF de cacao que más carbono almacenaron en orden descendente fueron: suelo (47.5 t/ha), biomasa aérea (plantas de cacao y árboles de sombra) (32.8 t/ha), biomasa radicular (10.7 t/ha), necromasa (0.3 t/ha) y hojarasca (0.3 t/ha) (LINDNER, 2010). Cacaotales de seis años de edad en el Valle de Juliana, Bahía, Brasil, con sombra de caucho (*Hevea brasiliensis*) de 34 años de edad almacenan en la biomasa aérea 106,80 t C ha (COTTA *et al.*, 2006.). En Caldas, Colombia se estimó que el laurel en cacaotales fija 3,3 t C/ha año y alcanza un total de 49,4 t C/ha de carbono a los 15 años de edad (ARISTIZÁBAL y GUERRA 2002). ALBRECHT y KANDJI (2003) reportan cantidades similares de carbono almacenado en SAF de zonas bajas húmedas de Sudamérica (39.02 t C/ha).

DE LA CRUZ (2014) al evaluar el almacenamiento de carbono orgánico en suelos con cultivos de cacao en los sectores Puente Pérez (693 m.s.n.), Naranjillo (621 m.s.n m) y Supte San Jorge (m.s.n.m) políticamente ubicados en la provincia de Leoncio Prado – Huánuco. Determino que la fracción hojarasca almacenó 2.98, 3.14 y 3.17 t/ha respectivamente; 21.47, 12.17 y 14.08 t/ha, respectivamente de carbono orgánico en el suelo; y 6.81, 16.85 y 8.89 t/ha, respectivamente de carbono orgánico en las raicillas; finalmente, almacenaron 31.24, 32.15 y 26.14 t/ha respectivamente de carbono orgánico, concluyendo que la ubicación geográfica de los sectores de Puente Pérez, Naranjillo y Supte San Jorge no influye en el almacenamiento de carbono orgánico de un sistema agroforestal.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en tres (03) parcelas agroforestales (*Theobroma cacao*; asociado con *Inga edulis*), políticamente ubicadas en los caseríos: Los Cedros, Corvina y Alto Cuchara, distrito de José Crespo y Castillo, provincia Leoncio Prado, región Huánuco. Las coordenadas UTM de referencia de las parcelas de investigación se detallan a continuación (Cuadro 2):

Cuadro 2. Coordenadas geográficas de las parcelas en estudio

Sistema agroforestal	Caserio	Coordenadas UTM		Altura (m.s.n.m.)
		Este (m)	Norte (m)	
<i>T. cacao – I. edulis</i>	Corvina	375785	8995123	521
<i>T. cacao – I. edulis</i>	Los Cedros	379266	8995854	786
<i>T. cacao – I. edulis</i>	Alto Cuchara	375964	8995965	1132

Así mismo, el trabajo de gabinete se llevó a cabo en el laboratorio de Conservación de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS).

3.2. Características generales de la zona

3.2.1. Fisiografía

El área de estudio comprende dos extensos territorios: un territorio montañoso colinoso, con características fisiográficas extremas con pendientes muy disectadas, presentando una composición florística particular con muchas epifitas, aunque también con algunas especies del llano, siendo estructuralmente de dosel bajo con pocas especies arbóreas de gran porte; y el llano amazónico, donde se presentaron una gran diversidad de hábitats y tipos de vegetación, fisiográficamente con relieves suaves y ondulados con predominio de la planicie aluvial (Proyecto Especial Alto Huallaga – PEAH, 2012).

3.2.2. Características ecológicas

Holdrige (1993) citado por Mapa Ecológico del Perú – INRENA (1995), el área estudiada corresponde a la zona de vida de transición: bosque muy húmedo – pre montano Tropical (bmh-PT) a bosque muy húmedo – Subtropical (bmh-S).

3.2.3. Precipitación

La Estación Meteorológica José Abelardo Quiñonez (Estación Tulumayo) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, hasta diciembre del año 2014 registra una precipitación promedio anual de 2,581.5 mm y varía en intensidad, duración y frecuencia; muchas veces se manifiestan violentamente en forma de gotas gruesas, de poca duración y en pleno sol.

3.2.4. Humedad

La Estación Meteorológica José Abelardo Quiñonez (Estación Tulumayo) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, hasta diciembre del año 2014 registra una Humedad Relativa media anual de 84.3%.

3.2.5. Hidrografía

La red hidrográfica del área del estudio está representada por el río Huallaga, que discurren de norte a oeste, recepcionando un número de cauces menores (río Corvina, Santa Martha y quebrada Aserradero), los que conjuntamente con los colectores principales como son los ríos Cuchara, Yurimaguas y la quebrada Picuruyacu, constituye el canal natural para la evacuación de los excedentes de agua, principalmente en la época de mayores precipitaciones (Proyecto Especial Alto Huallaga – PEAH, 2012).

3.2.6. Topografía

La pendiente de la mayor parte del área de estudio tiene un promedio de 15% de inclinación y el relieve es plano ondulado, esto facilita la formación de áreas húmedas o hace que los cauces tributarios presenten cursos bien definidos y no facilitan el desbordamiento de los ríos en épocas de crecidas (INRENA, 1995).

3.2.7. Suelos

Presenta suelos que se han desarrollado, principalmente por agentes meteóricos en los distintos tipos de sustratos, distinguiéndose que las

áreas de la zona, están cubiertas por suelos sobre una formación sedimentaria e intrusiva. Entonces, de acuerdo a sus características edafológicas, los suelos son aluviales, muy fértiles, muy profundos y ligeramente alcalinos, es decir, estos suelos son aptos para cultivos en limpio como arroz (bajo riego), plátano, frutales, pastos, cacao y especies nativas. Sin embargo, si nos referimos a los suelos que se encuentran alejados de los ríos, en las colinas, encontramos que presentan un bajo contenido de materia orgánica, por ende, son poco fértiles, más bien tienen aptitud forestal y de protección; que sirven para producir café si se los asocia (Proyecto Especial Alto Huallaga – PEAH, 2012).

3.2.8. Antecedentes del sistema agroforestal ubicado en el caserío Corvina

El sistema agroforestal de *Thebroma cacao* (CCN - 51) asociado a *Inga edulis* está ubicada en el caserío Corvina. Las coordenadas UTM de referencia de la parcela de investigación fueron 375785 m Este y 8995123 m Norte y una altitud de 521 m.s.n.m. La plantación de T. cacao de la presente investigación fue instalada el 15 de marzo del año 2010, por el Sr. Marcelino Ponte Hilario, con el objetivo de brindar sombra a la plantación se realizó la siembra de la especie *Inga edulis*, esta última con un distanciamiento de 25 m x 25 m entre planta y planta. Se utilizó plantones producidos en el vivero del Proyecto Especial Alto Huallaga del Sector Venenillo, distrito de José Crespo y Castillo, provincia de Leoncio Prado.

El sistema de plantación del cacao fue establecido a campo abierto, empleando el método de plantación tres bolillos, abarcando una

superficie total de 10,000 m², con un total de 1,111 plantas establecidas con un distanciamiento de 3 m por 3 m.

3.2.9. Antecedentes del sistema agroforestal ubicado en el caserío

Los Cedros

El sistema agroforestal de *Thebroma cacao* (CCN - 51) asociado a *Inga edulis* está ubicada en el caserío Los Cedros. Las coordenadas UTM de referencia de la parcela de investigación fueron 379266 m Este y 8995854 m Norte y una altitud de 786 m.s.n.m. La plantación de T. cacao de la presente investigación fue instalada la primera semana de mes de abril del año 2010, por el Sr. Huallas Leonardo Luis, con el objetivo de brindar sombra a la plantación se ejecutó la siembra de la especie *Inga edulis*, esta última con un distanciamiento de 25 m x 25 m entre planta y planta. Se utilizó plantones producidos en el vivero del Proyecto Especial Alto Huallaga del Sector Venenillo, distrito de José Crespo y Castillo, provincia de Leoncio Prado. El sistema de plantación del cacao fue establecido a campo abierto, empleando el método de plantación tres bolillos, abarcando una superficie total de 10,000 m², con un total de 1,111 plantas establecidas con un distanciamiento de 3 m por 3 m.

3.2.10. Antecedentes del sistema agroforestal ubicado en el caserío

Alto Cuchara

El sistema agroforestal de *Thebroma cacao* (CCN - 51) asociado a *Inga edulis* está ubicada en el caserío Alto Cuchra. Las coordenadas UTM de referencia de la parcela de investigación fueron 375964 m Este y 8995965 m

Norte y una altitud de 1132 m.s.n.m. La plantación de T. cacao de la presente investigación fue instalada la primera el 27 de mayo del año 2010, por el Sr. Tomas Elifonso Pardo, con el objetivo de brindar sombra a la plantación se ejecuto la siembra de la especie *Inga edulis*, esta última con un distanciamiento de 25 m x 25 m entre planta y planta. Se utilizó plantones producidos en el vivero del Proyecto Especial Alto Huallaga del Sector Venenillo, distrito de José Crespo y Castillo, provincia de Leoncio Prado. El sistema de plantación del cacao fue establecido a campo abierto, empleando el método de plantación tres bolillos, abarcando una superficie total de 10,000 m², con un total de 1,111 plantas establecidas con un distanciamiento de 3 m por 3 m.

3.3. Materiales, insumos y equipos

3.3.1. Materiales y equipos de campo

Wincha de 5 m., libreta de campo, fichas de campo, bolsas plásticas de 1 y 2 kg, martillo, navajas, machete, pala recta, y muestras de suelo, cámara fotográfica, sistema de posicionamiento global (GPS).

3.3.2. Materiales y equipos de laboratorio

Matraz de Erlenmeyer, vaso de precipitación, probeta graduada, varilla, tamiz, balanza de precisión y estufa.

3.4. Metodología

Para el proceso de muestreo en campo de suelo, raíces, necromasa, hojarasca y toma de diámetros y altura de árboles de cacao y

sombra, en los sistemas agroforestales de cacao, fue necesario establecer una red de estudio de tres (03) parcelas de cacao, donde se buscó la mayor homogeneidad de las parcelas, en función de la estructura vegetal, utilizando los siguientes criterios de selección:

- Zona Alta: Sistema agroforestal ubicado a más de 900 metros sobre el nivel del mar.
- Zona Media: Sistema agroforestal ubicado a más de 540 metros sobre el nivel del mar.
- Zona Baja: Sistema agroforestal ubicado a menos de 540 metros sobre el nivel del mar.

3.4.1. Toma de muestras

Para realizar los muestreos dentro de cada uno de los cacaotales seleccionados, se trazó un cuadro (parcela de muestreo) de 50 * 20 m (1,000 m²) en el centro del cacaotal, con el objetivo de disminuir el error de muestreo por los efectos de borde. El centro de la parcela de muestreo fue geoposicionado, y por este pasó la recta de 50 m que corresponderá a la línea larga de división central de la parcela de muestreo. Esta recta fue orientada de acuerdo a la forma de cada cacaotal, siguiendo siempre la dirección de la distancia más larga que se presentaba en el cacaotal. Luego la parcela de muestreo fue dividida en 10 sub-parcelas o celdas de 10 * 10 m (100 m²), donde se tomaron las muestras y mediciones de árboles de sombra y cacao (Figura 2).

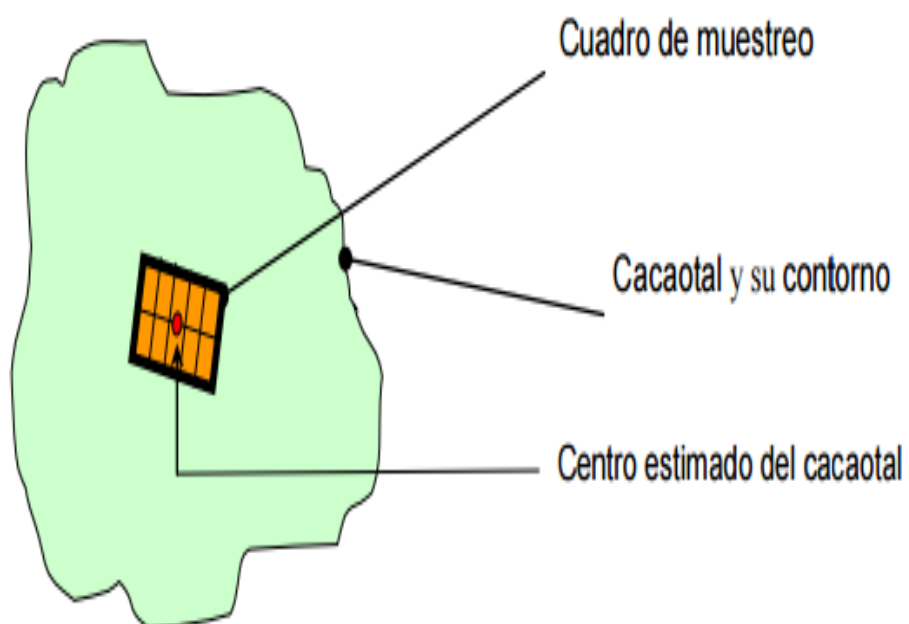


Figura 2. Diseño de la ubicación de la parcela de muestreo del cacaotal seleccionado (Fuente: Protocolo investigación CATIE).

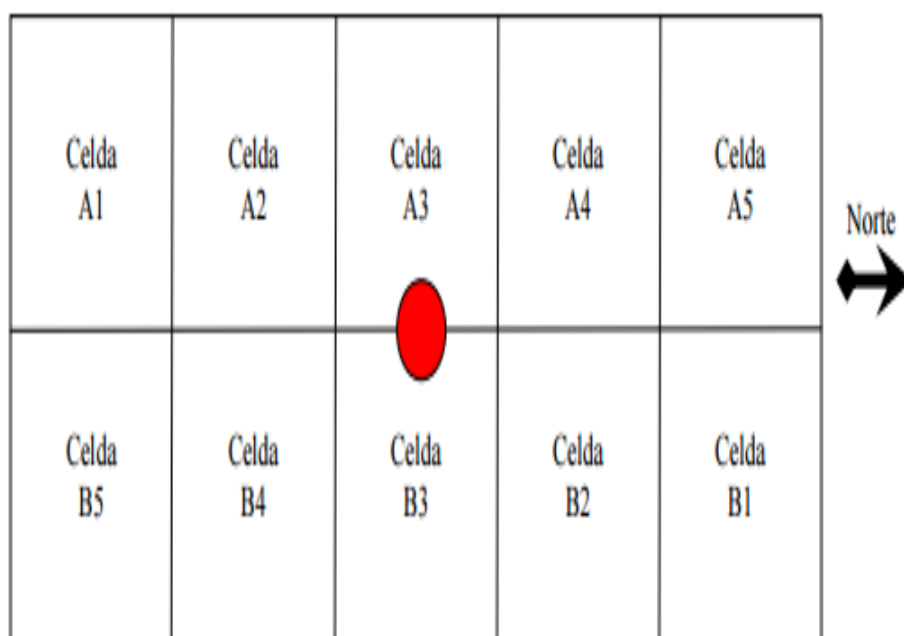


Figura 3. Toma de las sub-muestras de suelos en las parcelas de muestreo (Fuente: Protocolo investigación CATIE).

3.4.2. Muestreo de suelos

Para este proceso se utilizó un cilindro cuyas dimensiones fue 10 cm de altura y 5.4 cm de diámetro (volumen 229.02 cm³). Se tomaron dos sub-muestras por cada sub-parcela (a 10 y 20 cm de profundidad), estas sub-muestras fueron colocadas en diferentes bolsas de plástico identificadas y selladas, con el número de celda y profundidad en que se tomó la muestra (ejemplo A2 de 0-10 cm y A2 de 10-20 cm). Por cada parcela de muestreo fueron tomadas 10 sub-muestras (05 submuestras a profundidad de 0-10 cm y 05 sub-muestras a profundidad de 10-20 cm), luego fueron pesadas y secadas en condiciones ambientales, obteniendo un total de 30 muestras de suelo (10 muestras del caserío Los Cedros, 10 muestras del caserío Corvina y 10 muestras del caserío Alto Cuchara), que luego fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.4.3. Muestreo de hojarasca

Se consideró hojarasca a las hojas secas y ramas secas con diámetro igual o menor a 1 cm.

En cada una de las sub-parcelas, se seleccionara un sitio dentro de cada celda, en esos sitios se colocó un marco de 50 * 50 cm (0.25 m²) y se recolecto toda la hojarasca. En total, al azar se obtuvo 10 sub-muestras de hojarasca por parcela de muestreo, las cuales fueron pesadas en campo, obteniendo el peso húmedo, luego se mezclaron todas las sub-muestras

(homogenizado) y se obtuvo una muestra compuesta de 200 g de hojarasca, la cual fue secada a temperatura ambiente y luego enviada al laboratorio para determinar el peso seco a 65°C.

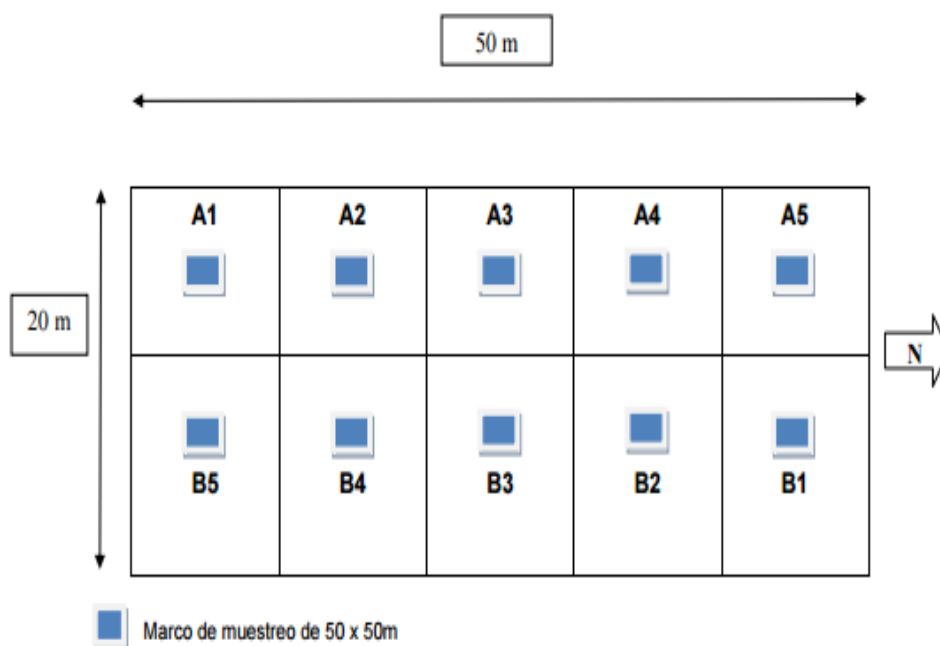


Figura 4. Ubicación de la toma de las submuestras de hojarasca en las parcelas de muestreo.

El peso seco de la muestra compuesta sirvió para determinar el peso seco del total de la hojarasca recolectada en la parcela utilizando la siguiente fórmula (extrapolar):

$$C.H.= [Phs - Pss / Phs] * 100$$

Dónde:

C.H. = Contenido de Humedad

Phs = Peso húmedo de la submuestra

Pss = Peso seco de la submuestra

3.4.4. Muestreo de biomasa del suelo

El muestreo de raíces finas, consistió en manipular el mismo cilindro utilizado para la extracción de las sub-muestras de suelo, extrayendo a una profundidad de 0-20 cm de suelo, tomando 5 puntos de sub-muestras en el centro de la parcela de muestreo (sobre la línea divisoria de los 20 m de ancho), luego cada submuestra fue identificada y sellada, luego se realizó el lavado del suelo y la extracción de las raíces, posteriormente las sub-muestras fueron pesadas y secadas, obteniendo un total de cinco (05) muestras de raíces finas por parcela, haciendo un total de quince (15) muestras que fueron enviadas al laboratorio de análisis de suelos para su posterior análisis.

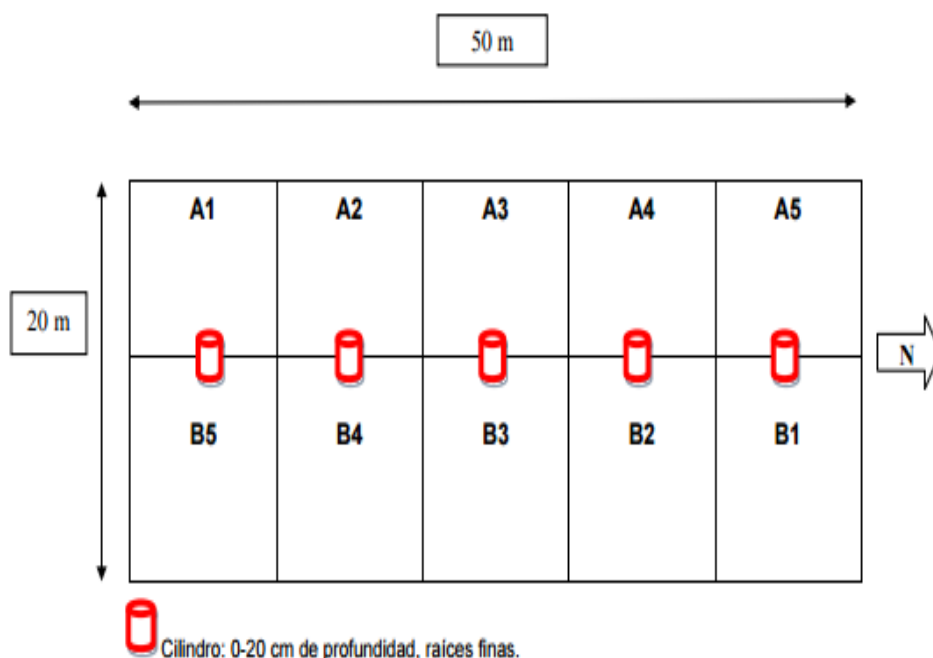


Figura 5. Diseño de toma de las sub-muestras de raíces finas en las parcelas de muestreo

3.4.5. Muestreo de biomasa aérea

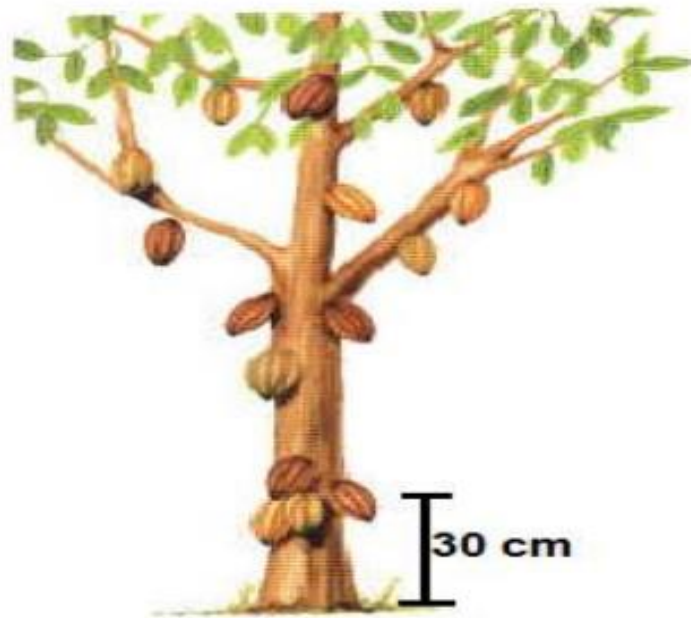


Figura 6. Medición de la longitud de circunferencia (L_c) del árbol de cacao a 30 cm del suelo

Para determinar el diámetro de cada árbol de cacao se midió la circunferencia del tronco de todos los árboles a una altura de 30 cm del suelo, para esto se utilizó una cinta métrica, para luego dividirlo por π y obtener el diámetro (d_{30}).

– Estimación de la altura del cacao

Para la estimación de la altura de cacao se utilizó una vara de 4 metros. Posteriormente se registraron los datos (Figura 7).

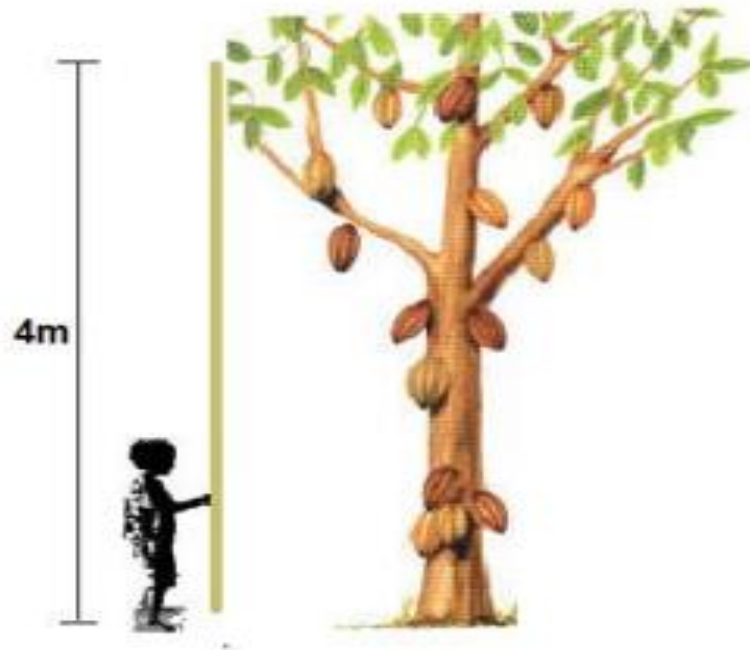


Figura 7. Medición de la altura del árbol de cacao

Medición de altura y circunferencia de árboles de sombra y cacao, la circunferencia de los árboles de sombra fue medido con la corteza, a la altura al pecho (1.3 m), y los arboles de cacao a una altura de 0.30 m del suelo, la medición fue realizada con una cinta métrica, luego fue tomada la altura de cada árbol de sombra y cacao, la altura de los árboles de sombra fue medida por medio de un clinómetro y una cinta diamétrica (obteniendo ángulos y distancia), y la altura de los árboles de cacao fue medida directamente utilizando una cinta diamétrica y una barra larga, estas mediciones fueron realizadas en cada una de las 10 celdas y sub-parcelas de la red de estudio.

Para determinar la altura de cada árbol se utilizó la siguiente fórmula:

$$H = \text{Tang.}(X) * D$$

Dónde:

H = Altura (m)

Tang. (X) = Tangente del ángulo en grados

D = Distancia (m) o separación dentro de la persona que toma la medida y el árbol medido.

- Estimación de la biomasa y carbono aéreo en las plantaciones de cacao.

Para la estimación de la biomasa aérea se utilizó la ecuación logarítmica recomendada por ANDRADE et al. (2008).

$$BA(\text{Kg/árbol}) = 10^{(-1.625 + 2.63 \times \log(d_{30}))}$$

Dónde:

BA = Biomasa arbórea arriba del suelo (kg/árbol)

D₃₀ = Diámetro del tronco a 30 cm de altura

a) Determinación de la biomasa absoluta

Para la determinación de la biomasa absoluta se utilizó la siguiente ecuación:

$$BA(\text{Kg}/\text{árbol}) = 10^{(-1.625 + 2.63 \times \log(d_{30}))}$$

Dónde:

BA_i = Biomasa arbórea en Kg/árbol

BA = Biomasa arbórea en kg/árbol

SBA = Desviación estándar de la biomasa arbórea

t = prueba de t (t=1.96 nivel de confianza 95%)

b) Conversión de la biomasa por unidad de área

Se calculó la biomasa vegetal por parcela, sumando las biomásas de todos los árboles medidos y registrados en las parcelas de 1ha.

$$BV(\text{tn/ha}) = (\sum_{i=1}^n BA_i / \text{Area}) / 1000$$

$$BV(\text{tn/ha}) = (BA_1 + BA_2 + \dots + BA_n) / 1000$$

Dónde:

BV = Biomasa vegetal total en tn/ha

BA = Biomasa arbórea en kilogramos

Factor 1000 = conversión de kg a t/d)

c) Estimación de carbono aéreo

Para la estimación del carbono se utilizó el factor establecido por el IPCC (1996) de 0.5.

$$CBV \text{ (t/ha)} = BVT \times 0.5$$

Dónde:

CBV = Carbono en la biomasa vegetal

BVT = Biomasa vegetal total

0.5 = Constante

- Método indirecto para determinar la biomasa aérea

Luego de que se obtuvieron las medidas de circunferencia y altura de los árboles de sombra y cacao que se encontrasen en las parcelas de muestreo de la red experimental de estudio, se procedió a determinar el diámetro por medio de la medición obtenida en la circunferencia ($\text{Circunferencia}/\pi = \text{Diámetro}$) y cuando se presentase el caso donde existiera dos o más tallos por árbol medido el diámetro real fue determinado por medio de la fórmula de Diámetro Cuadrático Medio

$$(\text{DCM}) = \sqrt{(D1)^2 + (D2)^2 + (D3)^2 + \dots + (D\infty)^2}$$

Cuando se obtuvo el diámetro de todos los árboles de cada parcela de muestreo, se procedió a estimar la biomasa aérea por especie, utilizando el método indirecto el cual consta en la utilización de una serie de ecuaciones alométricas, las cuales se basan en las dimensiones básicas de un árbol (Dap y altura) y que fueron elaboradas en función del tipo de vegetación y especie de estudio. El valor total de la biomasa obtenida en kilogramos por parcela se dividió dentro de 1,000 kilogramos para obtener la cantidad en toneladas. El total de toneladas de biomasa aérea por parcela, se multiplico por 0.5 para obtener la cantidad de carbono por parcela (el factor 0.5 utilizado para obtener carbono se debió a que en promedio la materia vegetal contiene un 50% de carbono, una vez se ha removido el agua (MACDICKEN, 1997). Para estimar la cantidad de carbono por metro cuadrado, se utilizó el total de carbono estimado por parcela, dividido 1,000 metros cuadrados, posteriormente, la cantidad de carbono por metro cuadrado se multiplicó por 10,000 m² para obtener la cantidad de carbono por hectárea. La cantidad de carbono estimada por cada parcela de muestreo (1,000 m²) de donde se obtuvo t C/m². Luego se multiplico por 10,000 m² /ha dando como resultado total t C/ha de árboles de sombra y cacao.

3.4.6. Muestreo de necromasa

Se consideró necromasa a las ramas, frutos o otras partes de los árboles que estén secos o en proceso de pudrición, con un diámetro mayor a 1 cm. Se recolectó toda la necromasa de cada sub-parcela (10 x 10 metros de cada sub parcela) y se pesó en campo, obteniendo así el peso húmedo.

Luego se mezcló toda la necromasa (homogenizado), se secó a temperatura ambiente y se llevó al laboratorio en donde se determinó el peso seco, el contenido de carbono y se extrapoló a la muestra total. En los casos donde se encontró necromasa de troncos muy grandes que no se pudieron pesar en campo entonces se procedió a medirlos para estimar el volumen y se tomó una muestra con el cilindro de volumen conocido y así se determinó la cantidad de materia seca que estos poseían, y luego se analizaron estas muestras en el laboratorio para obtener la cantidad de carbono que estas poseían.

3.4.7. Muestras de hojarasca, raíces finas y necromasa

- Preparación de las muestras para el envío al laboratorio

Para realizar el análisis químico de las muestras en el laboratorio, fue necesario secar las muestras en condiciones ambientales durante un mes (26°C temperatura media anual presente en el área de estudio).

Luego del proceso de secado al ambiente, se procedió a preparar la muestra representativa /parcela de muestreo, donde:

Muestra representativa de hojarasca: 250 gramos.

Muestra representativa de raíces finas: 30 gramos.

Muestra representativa de necromasa: El total de material que se obtuvo de la extracción de la muestra tomada con el cilindro, de los troncos y árboles caídos o en procesos de descomposición.

Posteriormente la cantidad de material que constituía la muestra representativa fue introducida en bolsas de nylon, creando de esta forma un ambiente hermético a la muestra, con el objetivo de evitar que la humedad perdida durante el proceso de secado al ambiente se vuelva a recuperar.

En el laboratorio las muestras fueron secadas al horno durante 48 horas a una temperatura de 65°C, con lo cual se determinó la humedad total de cada una de las muestras representativas/parcela de muestreo. Para obtener el valor de la biomasa de las muestras, se determinó el valor del contenido de humedad de la siguiente manera:

$$C.H . = (P_{hs} - P_{ss}) / P_{hs},$$

Dónde:

C.H = Contenido de Humedad.

P_{hs} = Peso húmedo del suelo.

P_{ss} = Peso seco del suelo.

Con el valor del contenido de humedad se procedió a calcular la proporción del peso húmedo, que correspondía a la biomasa de las muestras:

$$Y = P_{ht} - (P_{ht} * CH), \text{ donde:}$$

Y = Biomasa en gramos.

P_{ht} = Peso húmedo total en gramos.

CH = Contenido de Humedad.

Los valores obtenidos se dividió dentro de 1,000,000 para obtener toneladas. Este valor en toneladas se multiplicó por el contenido de carbono (%) de cada una de las muestras, lo que dio como resultado toneladas de carbono fijado. Las toneladas de carbono se dividirán dentro del total de metros muestreados (1000 m^2). Esta operación dio t C/m^2 y luego al multiplicarlo por $10,000 \text{ m}^2$ se obtuvo como resultado final t C/ha .

Carbono en el suelo (t C/ha) = $\text{CC} * \text{Da} * \text{P}$, donde:

P = Profundidad de muestreo (cm)

C = Contenido de Carbono (%)

Da = Densidad aparente (gr/cm^3)

Para estimar la densidad aparente se determinara por el método del cilindro, donde introduciremos un cilindro metálico al suelo para extraer una muestra de volumen (502.66 cm^3) y secado al horno a 105°C por 72 horas, para determinar su peso seco (ms).

3.5. Tipo de investigación

El trabajo correspondió al tipo de diseño de investigación no experimental, debido a que el estudio tiene como objeto describir las relaciones entre dos o más variables en un momento determinado, en función de la relación causa – efecto (causales), el diseño será no experimental transectoriales correlacionales - causales (HERNÁNDEZ *et al.*, 2006).

Correlacionales - causales

Se recolectan datos y se describe relación

$$(X_1 = Y_1)$$

Se recolectan datos y se describe relación

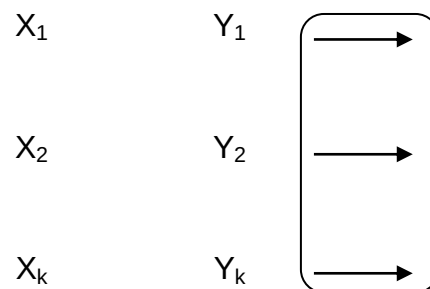
$$(X_2 = Y_2)$$

Se recolectan datos y se describe relación

$$(X_3 = Y_3)$$

Tiempo único

El interés es la relación entre variables, sea relación causal



3.5.1. Unidades exploratorias (UE)

Para el estudio se consideraran tres (03) unidades exploratorias: sistema agroforestal ubicados a más de 540 m.s.n.m; sistemas agroforestal ubicados a más de 900 m.s.n.m; y sistema agroforestal ubicados a menos de 540 m.s.n.m

3.5.2. Variables independientes

Las variables independientes son las tres unidades exploratorias en estudio: Sistema agroforestal ubicado a más de 900 m.s.n.m, sistema agroforestal ubicado a más de 540 m.s.n.m, y un sistema agroforestal ubicado a menos de 540 m.s.n.m.

3.5.3. Variables dependientes

Las variables en el presente trabajo de investigación son: Contenido de carbono orgánico: suelo, Hojarasca, raíces finas, biomasa aérea y necromasa.

3.6. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron aplicando estadística descriptiva en un inicio para evaluar su comportamiento entre las tres unidades exploratorias: Sistema agroforestal ubicado a más de 900 m.s.n.m, sistema agroforestal ubicado a más de 540 m.s.n.m, y un sistema agroforestal ubicado a menos de 540 m.s.n.m. Para encontrar diferencias estadísticas entre las tres unidades exploratorias con respecto a las variables dependientes se utilizó la prueba Tukey para la inferencia basadas en dos muestras. Para describir los resultados se utilizaron cuadros y graficas de barras descriptivas.

IV. RESULTADOS

4.1. Evaluación de la cantidad de carbono almacenado en los diferentes componentes de un sistema agroforestales de cacao: Suelo, raíces finas y gruesas, hojarasca, necromasa y biomasa aérea en tres niveles altitudinales.

El carbono almacenado en cada componente de estudio (biomasa aérea, suelo, raíces finas y gruesas, hojarasca y necromasa >10cm) y la proporción del total que representan fueron muy diferentes. Tal como se describe a continuación:

4.1.1. Carbono orgánico en la hojarasca

Para la prueba Tukey existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa (p -valor < 0.0001) entre las medias ajustadas del almacenamiento de carbono orgánico en la hojarasca de los sistemas agroforestales de cacao en estudio. En la presente investigación, según los datos obtenidos de acuerdo a la estimación de la cantidad de carbono almacenado en la hojarasca, se muestra que en la parcela ubicada en el caserío Corvina, existe una mayor tendencia a almacenar mayores cantidades de carbono (32.75 t/ha) en los SAF de cacao que se encuentran ubicados a

menor altitud con terrenos generalmente planos o con poca pendiente (<5%), sin embargo, a medida que se incrementa la altitud la tasa de fijación del carbono orgánico en la hojarasca disminuye (14.90 t/ha) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Total de carbono orgánico almacenado en la hojarasca de los SAFs

Caserío	COH (t/ha) ($\bar{x} \pm E.E$)
Alto Cuchara	14.90 $\pm$ 2.17 a
Los Cedros	24.85 $\pm$ 2.35 b
Corvina	32.75 $\pm$ 1.68 c
p-valor	<0.0001
C.V. (%)	28.40

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey.

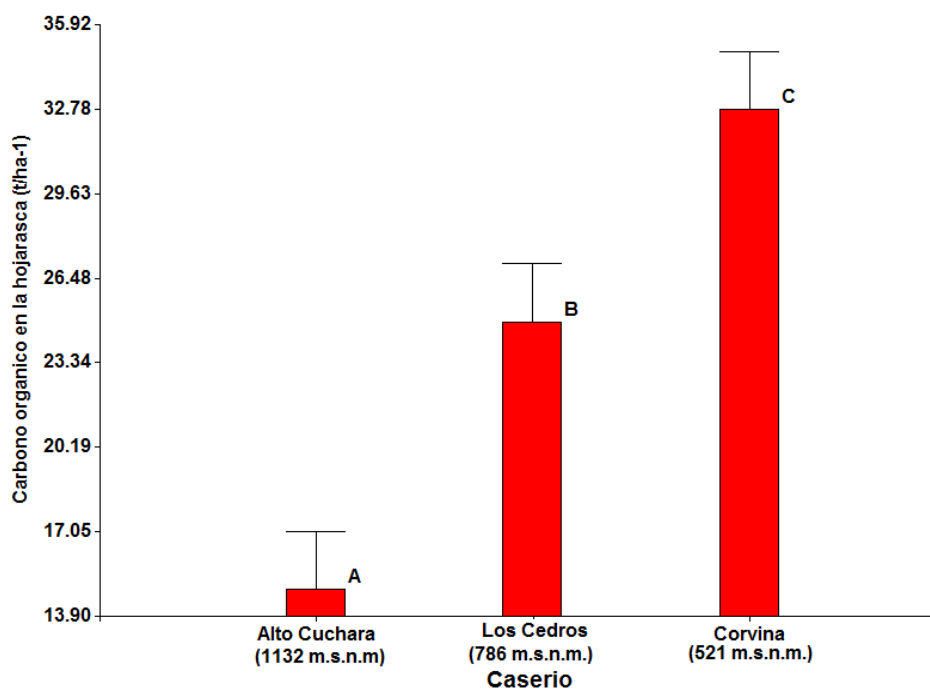


Figura 8. Almacenamiento de carbono orgánico (t/ha) en la hojarasca de los sistemas agroforestales en estudio

4.1.2. Carbono orgánico almacenado en la biomasa aérea

Para la prueba Tukey existe razones suficientes para aceptar alta diferencia significativa ($p\text{-valor} = <0.0001$), entre las medias ajustadas del almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales en estudio. De los datos obtenidos para la prueba Tukey el sistema agroforestal de cacao ubicado en el caserío Corvina presenta mayor tendencia a almacenar carbono orgánico en la biomasa aérea (66.73 t/ha), por otro lado el sistema agroforestal de cacao ubicado en el caserío Alto Cuchara almacena 47.70 t/ha siendo el que presenta menor tendencia de almacenamiento de carbono orgánico (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cantidad de carbono orgánico almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales en estudio

Caserío	Carbono orgánico almacenado (t/ha) ($\bar{X} \pm E.E$)
Alto Cuchara	47.70 $\pm$ 2.31 a
Los Cedros	55.50 $\pm$ 2.56 b
Corvina	66.73 $\pm$ 2.63 c
p-valor	<0.0001
C.V. (%)	12.89

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey.

De los datos observados para la prueba estadística existen tres grupos bien diferenciados, encontrándose un primer grupo con altos contenidos de almacenamiento de carbono orgánica en la biomasa aérea del sistema agroforestal de cacao ubicado en el caserío Corvina, quien presenta menor altitud, sin embargo a media que se incrementa el nivel altitudinal, el almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa aérea tiende a decrecer notablemente (significativo para la prueba estadística) (Figura 9).

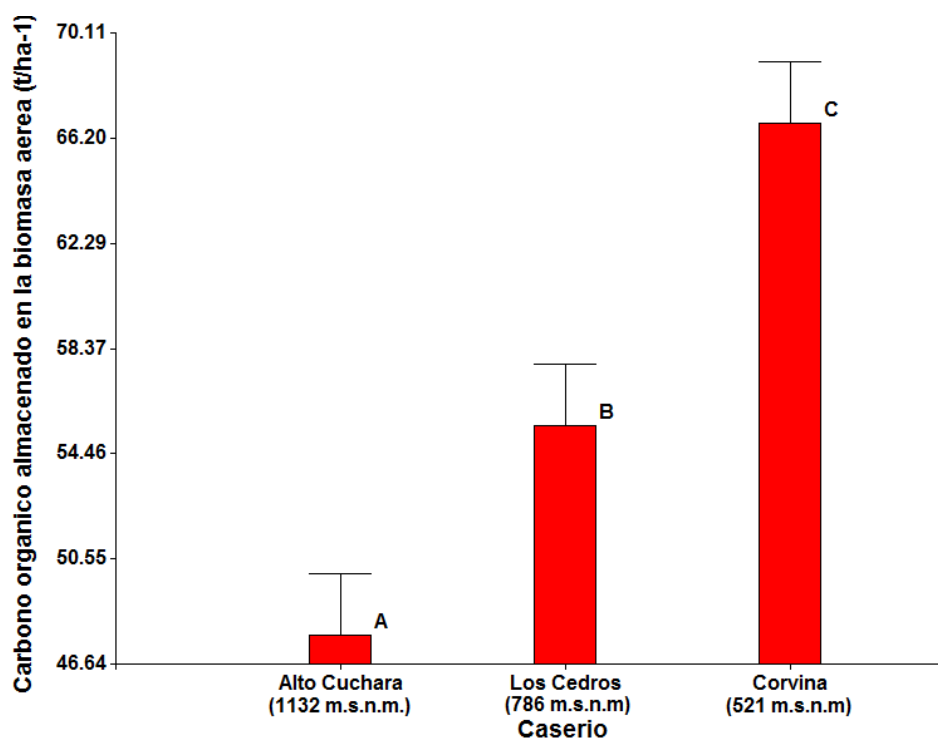


Figura 9. Almacenamiento de carbono orgánico (t/ha) en la hojarasca de los sistemas agroforestales en estudio.

4.1.3. Carbono orgánico almacenado en la necromasa

Para la prueba Tukey no existe diferencias significativa (p -valor=0.2183) entre las medias ajustadas del almacenamiento de carbono

orgánico en la necromasa de los sistemas agroforestales de cacao en estudio. Según los datos obtenidos de acuerdo a la estimación de la cantidad de carbono almacenado en la fracción necromasa se muestra que no existe estadísticamente diferencia significativa a un nivel de significancia del 95% respecto al almacenamiento de carbono orgánico; sin embargo a pesar de ello se observa una tendencia con mayor almacenamiento en el sistema agroforestal de cacao ubicado en el caserío Corvina, por otra parte, este comportamiento no guarda relación respecto a la nivel altitudinal, evidenciándose que para la prueba estadística las medias ajustadas indican que el almacenamiento de carbono orgánico en la fracción necromasa no es directamente o inversamente proporcional respecto al nivel altitudinal; además de la prueba de medias se obtiene que los datos observados presenta un coeficiente de variabilidad de 11.49 %, lo que indica que son homogéneos o poco distantes respecto a su media (Cuadro 5).

Cuadro 5. Total de carbono orgánico almacenado en la necromasa

Caserío	COS (t/ha) ($\bar{x} \pm E.E$)
Alto Cuchara	1.08 $\pm$ 0.21 a
Los Cedros	0.86 $\pm$ 0.18 a
Corvina	1.31 $\pm$ 0.22 a
p-valor	0.2183
C.V. (%)	11.49

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey.

Los sistemas agroforestales de cacao de los caseríos Los Cedros, Alto Cuchara y Corvina almacenaron 1.08, 0.86 y 1.31 t/ha respectivamente de carbono orgánico en la necromasa, sin embargo estas cantidades no indican una relación directa respecto al nivel altitudinal (Figura 10).

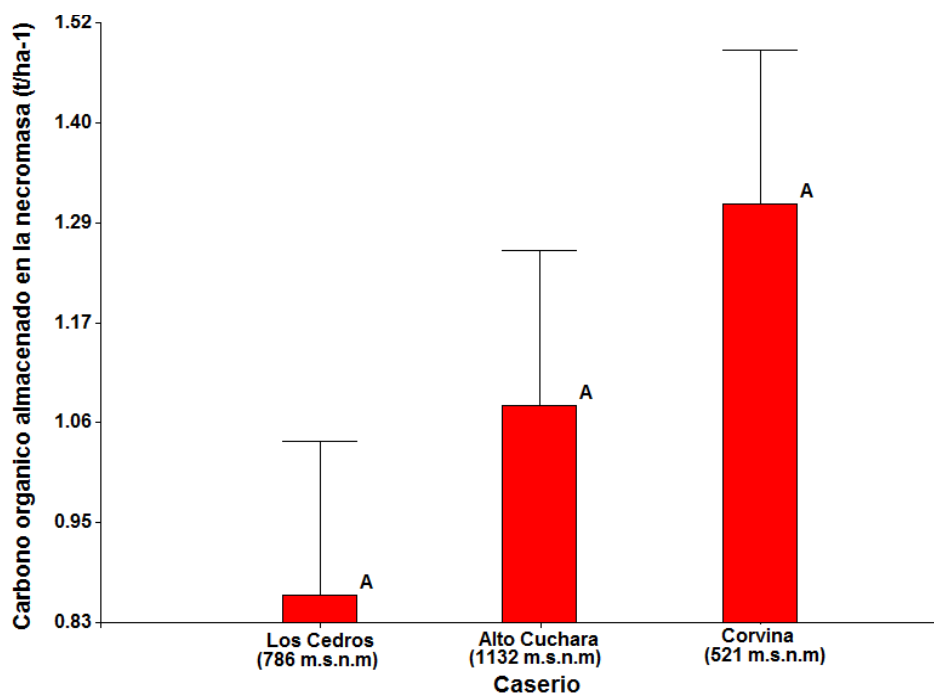


Figura 10. Almacenamiento de carbono orgánico (t/ha) en la necromasa

4.1.4. Carbono orgánico almacenado en la biomasa radicular

Aun nivel de significancia del 95% para el comparador estadístico (prueba tukey) existe alta diferencia significativa ($p\text{-valor} = 0.0001$) entre las medias ajustadas respecto a la variable almacenamiento de carbono orgánica en la fracción de la biomasa radicular de los sistemas agroforestales de cacao en estudio. De las observaciones obtenidas respecto al almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa radicular se tiene que: El sistema agroforestales de cacao ubicado en el caserío Corvina presenta mayor tasa de

fijación de carbono orgánico en su fracción radicular (14.81 t/ha), sin embargo para el sistema agroforestal ubicado en el caserío Los Cedros se almacena 0.86 t/ha, y finalmente para el sistema agroforestal de cacao ubicado en el caserío Alto Cuchara se almacena 6.10 t/ha (Cuadro 6).

Cuadro 6. Total de carbono orgánico almacenado en la biomasa radicular

Caserío	Carbono orgánico (t/ha) ($\bar{x} \pm E.E$)
Alto Cuchara	6.10 $\pm$ 0.94 a
Los Cedros	8.91 $\pm$ 0.67 a
Corvina	14.87 $\pm$ 0.59 b
p-valor	0.0001
C.V. (%)	21.18

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey.

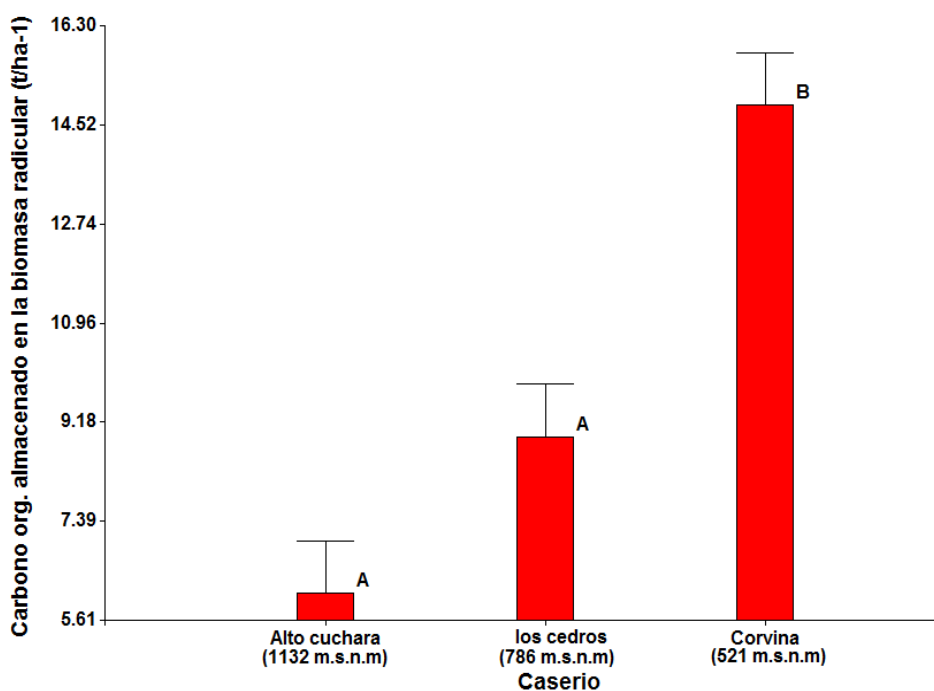


Figura 11. Almacenamiento de carbono orgánico (t/ha) en la biomasa radicular

4.1.5. Carbono orgánico almacenado en el suelo

Para la prueba Tukey existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa (p -valor <0.0001) respecto al almacenamiento de carbono orgánico en el suelo de los sistemas agroforestales de cacao en estudio. En la presente investigación, según los datos obtenidos de acuerdo a la estimación de la cantidad de carbono almacenado en el suelo, se muestra que en la parcela ubicada en el caserío Corvina, existe una mayor tendencia a almacenar mayores cantidades de carbono (35.61 t/ha) en los sistemas agroforestales de cacao que se encuentran ubicados a menor altitud, sin embargo, a medida que se incrementa la altitud la tasa de fijación del carbono orgánico en el suelo tiende a disminuir (13.30 t/ha), así mismo, la prueba estadística indica que los datos observados presentan un coeficiente de variabilidad de 10.48% lo que indica que son datos poco dispersos o muy homogéneos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Total de carbono orgánico almacenado en el suelo de los sistemas agroforestales en estudio

Caserío	COS (t/ha) ($\bar{x} \pm E.E$)
Alto Cuchara	13.30 $\pm$ 1.16 a
Los Cedros	25.25 $\pm$ 1.46 b
Corvina	35.61 $\pm$ 1.21 c
p-valor	<0.0001
C.V. (%)	10.48

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey.

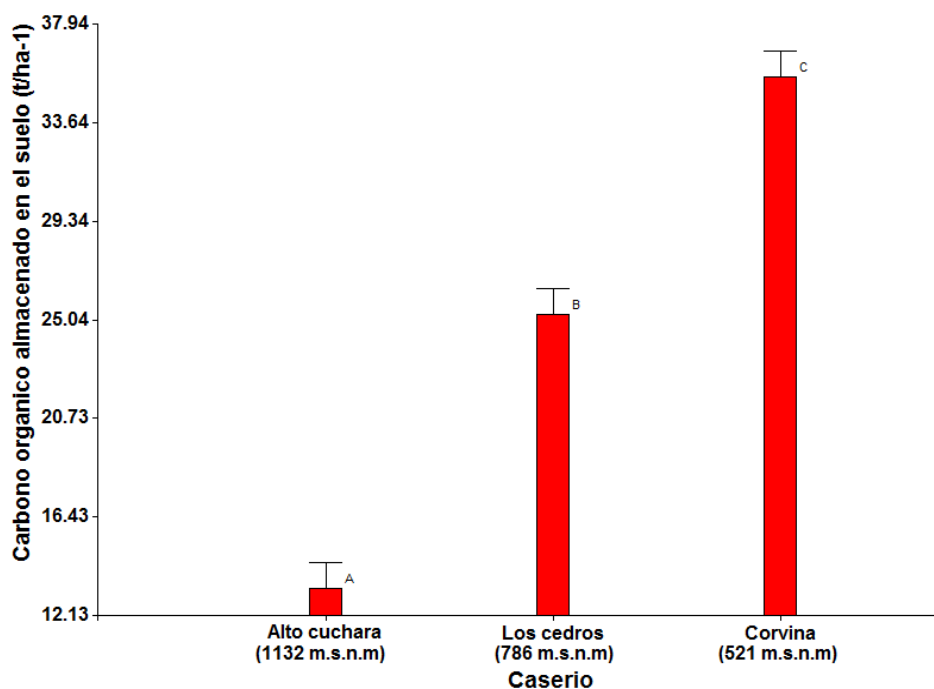


Figura 12. Almacenamiento de carbono orgánico (t/ha) en la biomasa radicular de los sectores en estudio.

4.2. Evaluación del total de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de cacao respecto al nivel altitudinal

Los componentes de los sistemas agroforestales de cacao que almacenaron la mayor cantidad de carbono fueron la biomasa aérea, hojarasca y el suelo, sin embargo la necromasa y la biomasa radicular fueron las que menos cantidad de carbono aportaron pues en conjunto almacenaron menos del 9% del total. El sistema agroforestal de cacao del caserío Alto Cuchara almacenó 83.08 t/ha de carbono orgánico total, sin embargo el sistema agroforestal de cacao del caserío Los Cedros almacenó 115.37 t/ha finalmente el sistema agroforestal del caserío Corvina almaceno 151.27 t/ha De carbono

orgánico total, siendo este último el que mayor capacidad de almacenamiento presente (Cuadro 8).

Cuadro 8. Total de carbono orgánico almacenado en el suelo de los sistemas agroforestales en estudio

Sistema agroforestal de cacao						
Fracción	Alto Cuchara	%	Los Cedros	%	Corvina	%
Hojarasca	14.9	17.9	24.85	21.5	32.75	21.6
Biomasa aérea	47.7	57.4	55.5	48.1	66.73	44.1
Necromasa	1.08	1.30	0.86	0.75	1.31	0.87
Biomasa radicular	6.1	7.34	8.91	7.72	14.87	9.83
Suelo	13.3	16.	25.25	21.8	35.61	23.5
Total	83.08	100	115.37	100	151.27	100

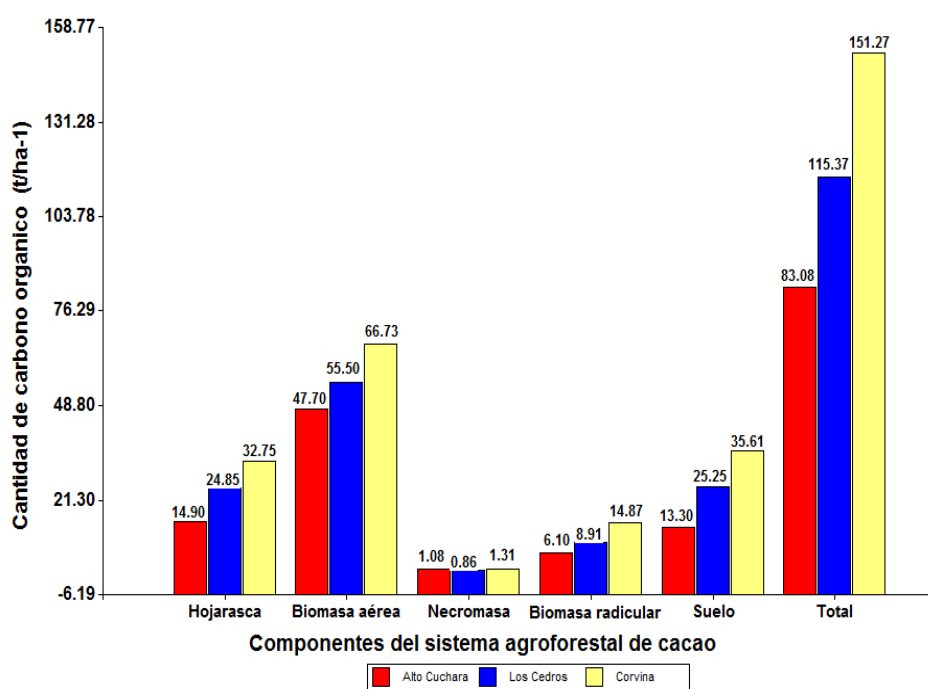


Figura 13. Total de almacenamiento de carbono orgánico (t/ha) en los SAFs

V. DISCUSIÓN

5.1. Evaluación de la cantidad de carbono almacenado en los diferentes componentes de un sistema agroforestales de cacao: Suelo, raíces finas y gruesas, hojarasca, necromasa y biomasa aérea en tres niveles altitudinales.

5.1.1. Carbono orgánico en la hojarasca

Para la prueba Tukey existe razones suficientes para aceptar diferencia significativa entre las medias del almacenamiento de carbono orgánico en la hojarasca de los sistemas agroforestales de cacao en estudio. La parcela agroforestal del caserío Corvina ubicada a 521 m.s.n.m, presenta mayor tendencia a almacenar mayores cantidades de carbono (32.75 t/ha) en los SAF de cacao, sin embargo, a medida que se incrementa la altitud (1132 m.s.n.) la tasa de fijación del carbono orgánico en la hojarasca disminuye (14.90 t/ha). BRINGAS (2010) determinó que el carbono orgánico almacenado en un sistema agroforestal de cacao con laurel de 9, 10 y 11 años fue de 2.8; 5.1 y 2.6 t/ha y en un bosque secundario de 9, 10 y 11 años fue 5.2; 5.3 y 6.9 t/ha. La *Inga edulis* por su crecimiento rápido, copa amplia (relativamente abierta) le confiere el ideotipo de especie de sombrío de cultivos como el cacao, con los que no compite por la luz ni nutrientes, siendo una especie ideal por su abundante producción de biomasa, ya que sus hojas caen durante todo

el año aportando abundante materia orgánica al suelo, Así mismo, debido al gran aporte de hojarasca que se da por parte del cacao, se refleja mayores cantidades de carbono orgánico en la hojarasca, respecto al sistema agroforestal de cacao con laurel. Valores similares encontró CONCHA *et al.* (2007) quien refiere que en sistemas agroforestales de cacao con Pachiza halló de 4 t ha hasta 9.97 t/ha de carbono orgánica en la hojarasca. Esto debido al reducido aporte de hojarasca por parte de la especie forestal. Por su parte RAMOS (2003) corrobora lo mencionado indicando que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo y estado del bosque, recalcando que el almacenamiento de carbono en ecosistemas forestales son principalmente por la vegetación quien es encargada de incorporar el carbono atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Respecto a la hipótesis planteada en la presente investigación de que la altitud afecta positivamente en el almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao, de los datos observados estadísticamente se observa que a medida que se incrementa la altitud (de 521 a 1132 m.s.n.m), las cantidades de carbono orgánico en la hojarasca tiende a disminuir.

Por su parte DEAUBENMIRE y PRUSSO (1963) discrepa nuestros resultados indicando que un incremento de la temperatura no resulta siempre en una velocidad de descomposición mayor, probablemente debido a la interacción de la temperatura con otros factores ambientales, entre ellos la humedad. Sin embargo BABBAR (1983) refiere que en el suelo la liberación de CO₂, se duplica cuando la temperatura aumenta 100°C, corroborando nuestros

resultados debido a que en menor altitud la temperatura ambiental es mayor que en mayor altitud.

5.1.2. Carbono orgánico almacenado en la biomasa aérea

Para la prueba Tukey existe alta diferencia significativa entre las medias ajustadas del almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales en estudio. De los datos obtenidos el sistema agroforestal de cacao ubicado en el caserío Corvina (521 m.s.n.m) presenta mayor tendencia a almacenar carbono orgánico en la biomasa aérea (66.73 t/ha), por otro lado el sistema agroforestal de cacao ubicado en el caserío Alto Cuchara (1132 m.s.n.m) almacena 47.70 t/ha siendo el que presenta menor tendencia de almacenamiento de carbono orgánico. De ello se deduce que a medida que se incrementa el nivel altitudinal, el almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa aérea tiende a decrecer notablemente (significativo para la prueba estadística). VILLOGAS (2014) encontró que el carbono en la biomasa aérea fue superior para el sistema agroforestal de 10 años con 104.03 t c/ha y menor para los sistemas agroforestales de 8 y 6 años con 69.76, 68.40 t c/ha respectivamente. De acuerdo al tiempo de instalación el cultivo de cacao lleva instalado 5 años, por lo que nuestros datos guardan relación con los datos recopilados por el autor. BRINGAS (2010) por su parte corrobora nuestros datos al determinar cantidades de carbono orgánico almacenado en un sistema agroforestal de cacao con laurel de 9, 10 y 11 años fue de 47; 62.6 y 80 t/ha y en un bosque secundario de 9, 10 y 11 años fue 21.6; 69.3 y 94.7 t/ha. CONCHA *et al.* (2007) evaluaron la biomasa aérea en

seis diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) asociado con especies forestales maderables y frutales; El estudio se realizó en las provincias de San Martín y Mariscal Cáceres. Los sistemas agroforestales estimados presentaron edades de 5, 12 y 20 años, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12.09 t/ha hasta 35.5 t ha, mientras la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos. Estas cantidades son similares a los encontrados en nuestra investigación. Del mismo modo HERRERA (2010) tuvo valores similares de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao clon CCN-51 en diferentes edades con guaba o bolaina, de 28,81 a 90,49 t C/ha en la biomasa aérea. A pesar de ello, se observa que a medida que se incrementa el nivel altitudinal el carbono orgánico almacenado en la biomasa aérea tiende a disminuir, este efecto pueda deberse al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis y parámetros ambientales. Por su parte HONORIO y BAKER (2010) refieren que los valores de biomasa no son similares en cualquier lugar, sino que varían sustancialmente de acuerdo a las condiciones ambientales y físicas de cada zona. En este caso el factor nivel altitudinal afecta negativamente en el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de un sistema agroforestal.

5.1.3. Carbono orgánico almacenado en la necromasa

Para la prueba Tukey no existe diferencias significativa entre las medias ajustadas del almacenamiento de carbono orgánico en la necromasa de los sistemas agroforestales de cacao en estudio. Sin embargo a pesar de

ello se observa una tendencia con mayor almacenamiento en el sistema agroforestal de cacao ubicado en el caserío Corvina, por otra parte, este comportamiento no guarda relación respecto a la nivel altitudinal, evidenciándose que para la prueba estadística las medias ajustadas indican que el almacenamiento de carbono orgánico en la fracción necromasa no es directamente o inversamente proporcional respecto al nivel altitudinal. LINDNER (2010) por su parte determino que en sistemas agroforestales de cacao establecidos a una altitud de 412 m.s.n.m se almacenaron 0.3 t/ha de carbono orgánico en la fracción necromasa. A pesar de que para la prueba estadística no existió diferencia significativa respecto al almacenamiento de carbono orgánico en relación con el nivel altitudinal, los valores encontrados por el autor se encuentra por debajo de los rangos hallados en nuestra investigación (0.86 a 1.08 t/ha).

5.1.4. Carbono orgánico almacenado en la biomasa radicular

Para el comparador estadístico (prueba tukey) existe alta diferencia significativa entre las medias ajustadas respecto a la variable almacenamiento de carbono orgánica en la fracción de la biomasa radicular de los sistemas agroforestales de cacao en estudio. El sistema agroforestales de cacao ubicado en el caserío Corvina (521 m.s.n.m) presenta mayor tasa de fijación de carbono orgánico en su fracción radicular (14.81 t/ha), sin embargo a medida que se incrementa el nivel altitudinal el almacenamiento de carbono orgánico tiende a disminuir, almacenándose 0.86 t/ha para el sistema agroforestal ubicado en el caserío Los Cedros (786 m.s.n.m) y 6.10 t/ha para el sistema

agroforestal de cacao ubicado en el caserío Alto Cuchara (1132 m.s.n.m). Por su parte LINDNER (2010) determino que en sistemas agroforestales de cacao establecidos a una altitud de 412 m.s.n.m se almacenaron 10.7 t/ha de carbono orgánico en la fracción biomasa radicular. En tal sentido los datos obtenidos por el autor corroboran a los resultados de nuestra investigación, presentando una relación directa del almacenamiento de carbono respecto al nivel altitudinal, se observándose que a medida que se incrementa el nivel altitudinal la cantidad de carbono orgánico tiende a disminuir.

5.1.5. Carbono orgánico almacenado en el suelo

Para la prueba Tukey existe razones suficientes para aceptar diferencia significativa respecto al almacenamiento de carbono orgánico en el suelo de los sistemas agroforestales de cacao en estudio. Por su parte, la parcela agroforestal de cacao ubicada en el caserío Corvina (521 m.s.n.m) presenta mayor tendencia a almacenar mayor cantidad de carbono (35.61 t/ha), sin embargo, a medida que se incrementa el nivel altitudinal la altitud la tasa de fijación del carbono orgánico en el suelo tiende a disminuir (13.30 t/ha). VILLOGAS (2014) encontró que el carbono total almacenado en el suelo de los sistemas agroforestales de 10, 8, 6 años fue 62.95, 62.46 y 73.73 t c/ha respectivamente. Los rangos encontrados en nuestra investigación son similares a los encontrados por el autor. Sin embargo de acuerdo a nuestra investigación la posición altitudinal de las parcelas han influencia en la cantida de almacenamiento de carbono orgánico, esto se refleja con la alta diferencia estadística entre las unidades (parcelas agroforestales) en estudio. Tal como lo

refiere INGRAM y FERNÁNDEZ (1999), citado por la FAO (2000), y ACUÑA y OVIEDO, (2001); indicando que los niveles del almacenamiento de carbono en el suelo están controlados por factores de reducción entre los cuales están las pérdidas directas por erosión, lixiviación y por las causas del manejo de residuos de las cosechas que puedan limitar la cantidad de carbono que entran en el suelo, sin embargo es importante considerar los parámetros ambientales, posición geográfica y nivel altitudinal, siendo este último un factor importante que influyen en parámetros como la temperatura, precipitación, entre otros.

5.2. Evaluación del total de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de cacao respecto al nivel altitudinal

Los componentes de los sistemas agroforestales de cacao que almacenaron la mayor cantidad de carbono fueron la biomasa aérea, hojarasca y el suelo, sin embargo la necromasa y la biomasa radicular fueron las que menos cantidad de carbono aportaron pues en conjunto almacenaron menos del 9% del total. El sistema agroforestal de cacao del caserío Alto Cuchara almacenó 83.08 t/ha de carbono orgánico total, el sistema agroforestal de cacao del caserío Los Cedros almacenó 115.37 t/ha y el sistema agroforestal del caserío Corvina almaceno 151.27 t/ha de carbono orgánico total, siendo este último el que mayor capacidad de almacenamiento, de ello se deduce que a menor nivel altitudinal el almacenamiento de carbono orgánico en los componentes del sistema agroforestal de cacao es mayor, decreciendo a medida que se incrementa el nivel altitudinal. Por su parte SEGURA y KANNINEN (2002) refieren que los sistemas forestales y agroforestales (SAF)

pueden almacenar un promedio 95 t/ha en zonas tropicales. Siendo estos valores menores a los encontrados en nuestro estudio, sin embargo es posible que los valores encontrados por el autor hayan sufrido efectos debido a la ubicación geográfica (altitud) donde se realizó la investigación. Tal como se reflejan en nuestra investigación encontrándose mayores del componente total de carbono orgánico en sistemas agroforestales ubicados en menor altitud. LINDNER (2010) refiere que los sistemas agroforestales de cacao establecidos a una altitud de 412 m.s.n.m en promedio almacenan 91.45 t C/ha. Los valores encontrados por el autor contradicen a los resultados obtenidos en nuestra investigación, este comportamiento se puede atribuir al tipo de cobertura usado como sombra para el cacao, siendo la *Inga edulis* una especie ideal por su abundante producción de biomasa, ya que sus hojas caen durante todo el año aportando abundante materia orgánica al suelo.

VI. CONCLUSIONES

1. El nivel altitudinal solo afectó en el almacenamiento de carbono orgánico en las fracciones hojarasca, biomasa aérea, biomasa radicular y en el suelo de los sistemas agroforestales, siendo mayor el almacenamiento en la parcela agroforestal ubicada en el caserío Corvina (521 m.s.n.m) sin embargo a medida que el nivel altitudinal incrementa, la tasa de almacenamiento tiende a disminuir. Por otra parte respecto a la fracción necromasa no existió diferencia significativa.
2. Se determinó que el nivel altitudinal afecta en la tasa de fijación y almacenamiento de carbono orgánico en los componentes de un sistema agroforestal de cacao, existiendo una tendencia inversamente proporcional del nivel altitudinal respecto al carbono orgánico total.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios dirigidos a la generación de ecuaciones alométricas para algunas especies forestales utilizadas como dosel de sombra.
2. Realizar estudios enfocados para generar una estrategia para que los pequeños productores de cacao puedan acceder a mecanismos alternativos de pagos por servicios ambientales que ofrecen los sistemas agroforestales de cacao.
3. Realizar el estudio del almacenamiento de carbono orgánico, con variables de evaluación concernientes a parámetros ambientales (temperatura, precipitación, intensidad de luz, etc) y su relación con los parámetros físico y químicos del suelo.
4. En posteriores trabajos en captura de carbono orgánico, incrementar el número de repeticiones de las muestras obtenidas y observadas en la metodología de ICRAF (2009), para obtener mejores resultados y reducir el margen de error en la investigación, con la finalidad de incrementar el nivel de confiabilidad.

**“STORAGE AND FIXING RATES OF BIOMASS AND CARBON AT
DIFFERENT LEVELS IN AGROFORESTRY SYSTEMS ALTITUDINAL
COCOA DISTRICT JOSÉ CRESPO Y CASTILLO”**

VIII. ABSTRACT

The research was conducted in three (03) agroforestry plots (*Theobroma cacao* associated with *Inga edulis*), politically located in the villages: Los Cedros, Corvina and Alto Spoon, District José Crespo y Castillo, Leoncio Prado province, Huánuco region, with the In order to evaluate organic carbon storage in agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao* - *Inga edulis*) in the system components: soil, root biomass, necromass, biomass and litter in different altitude levels. The methodology used for the sampling process in the field of fractions study was conducted based on the research protocol CATIE (Tropical Agricultural Research and Higher Education). It was determined that the storage of organic carbon in the litter fractions, biomass, root biomass and soil agroforestry systems is greater in the village Corvina (521 m.s.n.m) but as the altitudinal level increases, the rate of storage tends to decrease. Moreover regarding necromass fraction is not affected by the altitude factor level. Likewise, it was determined that the altitudinal level affects the rate of fixation and storage of organic carbon in the components of a cocoa agroforestry system, there is an inverse trend altitudinal level to the total organic carbon.

Keywords: Storage, fixation rate, organic carbon, soil, biomass, altitudinal level.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACUÑA. R., OVIEDO, P. 2001. Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wild-fire in a Mediterranean pine forest. *Catena*. 44 pp.
- ANDRADE, H. 2007. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc: Turrialba, CR, CATIE. 70 p.
- ANDRADE, H. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc: Turrialba, CR, CATIE. 70 p.
- ALEGRE, J., AREVALO, L., RICSE, A. 2002. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonia peruana. ICRAF/INIA. Perú.
- ALBRECHT, K; KANDJI, L. 2003. Highlights Data from GHG Green House Gas Emissions.
- ALPIZAR, W. 1997. Proceso metodológico para la cuantificación de carbono de la biomasa en pie en bosque natural y sus estimaciones de no emisión y fijación. Costa Rica, Oficina Costarricense de Implementación Conjunta. 76 p.

- ÁVILA, L. MENESES. L. CORTES, J. 2001. Efecto de las propiedades físicas del suelo sobre la distribución de las raíces del mango (*Mangifera indica* L.) Turrialba 29 (2) 122 p.
- ARISTIZABAL, J; GUERRA, A. 2002. La Captura de Carbono Ante el Cambio Climático. Madera y Bosques.
- BABBAR, M. 2004. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agriculturalmanagement regimes. *Soil Biology & Biochemistry*. 45 p.
- BRINGAS, H. 2010. Estimación de carbono almacenado en un sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) comparado con un 56 bosque secundario de tres edades. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 100p.
- BROWN, S. 1997. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. In .Congreso Forestal Mundial (1997, TR). Turquía, Ministerio Forestal. 107 p.
- BROWN, S; LUGO, A. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon. *Inter-ciencia* 17 p.
- CONCHA, YARDA, T; PEREZ, T. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en San Martín, Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima Perú. 8p.

- COTTA, T; ORIZON, L; REN, R. 2006. Soil Fertility limits carbon sequestration by forest ecosystem in a CO₂ enriched atmosphere, *Nature*. 11.21
- CUELLAR, N; ROSA, H; GONZÁLEZ, M. 1999. Los servicios ambientales del agro: el caso del café de sombra en El Salvador. *Prisma* 34:1-16. 2
9. Dixon, R. 1995. Sistemas agroforestales y gases invernadero. *Agroforestería en las Américas* 2(7): 22 p.
- DEAUBENMIRE, R. PRUSSO, T. 1963. International standardization of soil quality measurements. In *Soil and plant analysis in sustainable agriculture and environment*. Eds. Hood, TM; Jones, Jr, JB. 864 p.
- DE LA CRUZ. B. 2014. Almacenamiento de carbono orgánico en suelos del cultivo de cacao, en los sectores Puente Pérez, Naranjillo y Supte San Jorge, provincia Leoncio Prado, región Huánuco. Tesis para optar el título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables mención Conservación de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 89 p.
- FAO, IT. 2000. Cambio climático y seguridad alimentaria. Roma. Italia. 24 p.
- FISHER, M; TRUJILLO, W. 1999. Fijación de carbono en pastos tropicales en sabanas de suelos ácidos neo-tropicales. In *Seminario Internacional de intensificación de la Ganadería Centroamericana: beneficios económicos y ambientales* (1999, Turrialba, CR). Turrialba, Costa Rica, FAO / CATIE / SIDE. 135 p.

- FREITAS, A. L; OTAROLA, A. E; DEL CASTILLO, T. D; LINARES, B. C; MARTINEZ, D. P; MALCA, S.G. 2006. Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en 57 la reserva nacional Pacaya Samiria, Loreto- Perú. Documento técnico N^a 29. Iquitos- Perú. 59 p.
- GAYOSO A, J; GUERRA C, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque (CL)* 26(2): 33 p.
- HERRERA, A. J. 2010. Estimación de la biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51 de diferentes edades en la provincia de Leoncio Prado. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 95p.
- HALL, D; RAO, K. 1994. *Photosynthesis*. 5 ed. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 89 p.
- HINOSTROZA. E. 2012. Cuantificación del carbono en la biomasa aérea de tres diferentes usos de la tierra en la cuenca de aguaytia sectores: Irazola, Curimaná y campo verde-Región Ucayali.
- HOEN, H; SOLBERG, B. 1994. Potential and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural management. *Forest Science*. 40(3):429 p.

- HONORIO, G. BAKER, J. 2010. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Flora, CB. 90 p.
- HOLDRIGE (1993), Mapa Ecológico del Perú – INRENA (1995)
- INE (Instituto Nacional de Ecología, Mx). 2005. México (en línea). *Revista El Carbono* no. 3:11-18. Consultado 16 de mar 2009]. Disponible en <http://www.ine.gob.mx/>. Documento pdf. p.
- IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change, UK). 1990. The supplementary report to the IPCC scientific assessment. Cambridge University Press. 127 p.
- KIRKLUND, B. 1990. Como pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. *Unasylva* no. 163 p.
- LAPEYRE, Z.T. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú In: *Ecología Aplicada* 3(1,2): Pp 35-44.
- LINDER, A. 2010. Almacenamiento y fijación de Carbono del Sistema Agroforestal Cacao (*Theobroma cacao* L) y Laurel (*Cordia alliodora*) (Ruíz y Pavón) Oken en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica. 11.20

- MACDIKEN, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, Winrock International Institute for Agricultural Development. 45 p.
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2001. Bosques latifoliados del sur-occidente. Guatemala. 44 p.
- MOURA-COSTA, P. 2001. La convención sobre el clima y el mercado de las contrapartes de las emisiones de carbono basadas en las actividades forestales. *Unasylva* 52(206):34 p.
- ORDOÑEZ, J. 1999. Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. México, Instituto Nacional de Ecología. 81 p.
- ORREGO, S; VALLE, J. 2001. Existencia y tasa, de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosque primario y secundario de Colombia. In Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales (2001, CL). Valdivia, Chile. 31 p.
- ORTIZ, G. y RIASCOS, C. 2006. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao *Theobroma cacao* y laurel *Cordia alliodora* en la reserva indígena de Talamanca, Universidad de Nariño, Costa Rica. 87p.
- PARDÉ, M. 1980. Forest Biomass Forestry products abstract: review article. *Commonwealth Forestry Bureau* 3(8):165 p.

- PEAH, 2012. Manual de Formulación de proyecto (Asistencia técnica personalizada) Formulación de proyectos – Dirección de estudios. 30 de abril del 2012. 35 p.
- PNUMA, AR. 1998. La lucha contra el cambio climático: El compromiso del Parlamento Latinoamericano. Buenos Aires, Argentina. 174 p. (Serie de Ciudadanía Ambiental). 368p.
- RAMOS, R. 2003. Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 112 p.
- RUIZ, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Mantiguás, Nicaragua. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 106 p.
- RIOS, A, J. 2007. Almacenamiento de carbono y valoración económica en sistemas de uso de tierra comparados con el cultivo de coca (*Erytroxylon coca* L.) en el distrito de José Crespo y Castillo, Perú. 125 p.
- TROUVE. E., QUIROGA, A., BONO, A. 1994. Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. La Pampa, Argentina. 162 p.

- SÁNCHEZ, J; DUBÓN, A. 1994. Establecimiento y manejo de cacao con sombra: guía técnica para el extensionista forestal. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 82 p. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 10). 122p.
- SEGURA, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costaricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis Lic. Cs. For. Heredia, Costa Rica, CATIE. 83 p.
- SEGURA, M., KANNINEN, M. 2002. Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. In Orozco, L; Brumer, C. eds. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. CATIE. p. 202-212. (Serie Técnica, Manual Técnico N° 50).
- SIFEM (Dirección Nacional de Políticas de Seguridad y Protección Civil, AR). 2000. Cambio climático (en línea). Argentina. Consultado 8 mayo 2009. Disponible en <http://www.proteccioncivil.gob.ar/calentamiento.html>
- SOMARRIBA, E; BEER, J. 1986. Dimensiones, volúmenes y crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 23 p. (Boletín Técnico no 16). 63 p.
- VILLOGAS, V. 2014. Almacenamiento de carbon en sistemas agroforestales (SAF) con cacao (*Theobroma cacao*) en produccion. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo – U.N.A.S. Tingo María, Perú. 96 p.

ANEXO

Anexo 1. Actividades de campo



Figura 14. Propietario de la parcela agroforestal del caserío Los Cedros.



Figura 15. Parcela agroforestal de cacao del caserío Corvina.



Figura 16. Determinación del volumen de los cilindros muestreadores



Figura 17. Extracción de muestra de suelo (Densidad aparente)



Figura 18. Extracción de muestra de hojarasca



Figura 19. Extracción de muestras de suelo



Figura 20. Extracción de muestra de necromasa



Figura 21. Extracción de muestra de necromasa

Anexo 2. Actividades de laboratorio



Figura 22. Pesado de muestras de suelo



Figura 23. Determinación de materia orgánica del suelo



Figura 24. Extracción de muestra de hojarasca



Figura 25. Determinación de materia orgánica