

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**DETERMINACIÓN DE CARBONO Y BIOMASA ARBÓREA, HERBÁCEA Y DE
HOJARASCA EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO Y ÁRBOLES
MADERABLES EN TRES SITIOS AL NOROESTE DE CATACAMAS, OLANCHO**

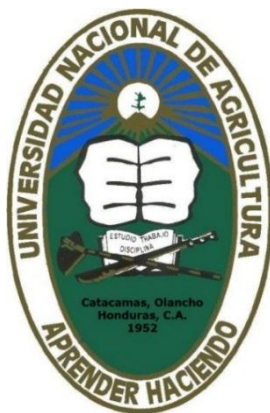
POR

SEYDA MARÍA ANDRADE GONZALES

TESIS

**PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE



CATACAMAS

OLANCHO

JULIO, 2016

**DETERMINACIÓN DE CARBONO Y BIOMASA ARBÓREA, HERBÁCEA Y DE
HOJARASCA EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO Y ÁRBOLES
MADERABLES EN TRES SITIOS AL NOROESTE DE CATACAMAS, OLANCHO**

POR

SEYDA MARIA ANDRADE GONZALES

OSCAR FERREIRA, M.Sc.

Asesor Principal

TESIS

PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

CATACAMAS

OLANCHO

JUNIO 2016

DEDICATORIA

A DIOS

Por darme la vida, persistencia, sabiduría y la fuerza para poder afrontar los retos y desafíos de la mejor manera.

A MIS MADRES

Dionisia Gonzales por brindarme todo el apoyo, por darme fuerzas y enseñarme a que puedo lograr lo que me propongo aunque no está conmigo físicamente siempre la llevo en mi mente y corazón, **Gabino Andrade** por darme su apoyo, gracias al apoyo que usted me brindó he podido llegar hasta aquí. De lo más profundo de mi corazón les digo que los amo, gracias por sus sabios consejos y su apoyo en todo momento, este triunfo es para ustedes.

A MI HERMANA

Denia Gonzales

A TÍ

Por compartir estos momentos de apoyo que más me necesitado, por los buenos y malos momentos que hemos pasado juntos, no olvides que te quiero GAGL.

AGRADECIMIENTO

A DIOS

Por darme la fuerza, perseverancia, inteligencia y sabiduría para poder cumplir todo lo que me he propuesto, gracias Dios por ser fiel y ayudarme a salir a delante.

A MI ALMA MATER

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA por haberme acogido en estos últimos cuatro años y permitirme culminar con éxito mis estudios universitarios.

A LA APROSACAO

Ya que fue por ellos que obtuve el apoyo para poder llevar a cabo esta investigación, especialmente al Ing. Rafael Izaguirre por haberme acompañado a todas las giras de campo.

AL DEPARTAMENTO ACADEMÍCO DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE DE LA UNA

Agradezco a todos los docentes y demás personal que labora en este departamento que de una u otra manera fueron un pilar fundamental en mi proceso de formación profesional.

A MIS ASESORES DE LA PPS

Agradezco a cada uno de mis asesores por darme el apoyo y compartir sus amplios conocimientos conmigo, gracias por sus consejos que han sido y seguirán siendo de mucho provecho, gracias a él, M.Sc. Oscar Ferreira, M.Sc. Erlin Escoto y M.Sc. Ramón Canaca.

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTO	ii
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE ANEXO	viii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivos General	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Cambio climático	4
3.2 ¿Cómo resolver el problema de emisiones?	6
3.3 Captura de carbono: un proceso vital para la sustento de la vida	6
3.4 La fijación del carbono	8
3.5 Sistemas Agroforestales	9
3.6 Método para calcular biomasa	10
3.6.1 Método directo	11
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	12
4.1 Ubicación del estudio	12
4.2 Materiales y Equipo	13
4.3 Método de investigación	13
4.4.2 Fórmula de Smalian	15
4.4.3 Determinación del volumen del cilindro	16
4.4.5 Determinación de carbono acumulado en la madera de los árboles	16

4.5 Técnica indirecta	17
4.5.1 Biomasa arbórea	17
4.5.4 Biomasa arbustiva y herbácea	18
4.5.6 Biomasa de hojarasca	20
4.5.7 Protocolo para calcular carbono	20
VI. CONCLUSIONES	35
VII. RECOMENDACIONES	36
V. BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS	40

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Ubicación geográfica de la zona de estudio de sistemas agroforestales en zona de influencia del Parque Nacional Patuca.....	42
Figura 2: Esquema para calcular el volumen del árbol con la fórmula de Smalian (Aguilar 2010).....	45
Figura 3: Esquema para calcular el volumen en la última sección de los árboles con la fórmula del cono (Aguilar 2010).....	44
Figura 4: Diseño de las parcelas para la evaluación de los diferentes componentes de la biomasa vegetal (Aguilar 2010).....	47
Figura 5: Recolección de biomasa arbórea en sistemas agroforestales de cacao en Río Tinto.....	48
Figura 6: Recolección de la biomasa arbórea y herbácea en sistemas agroforestales de Cuyamel.....	49
Figura 7. Establecimiento de parcelas de muestreo para la medición de árboles maderables y cacao.....	49
Figura 8: Cuadrantes de 1m x 1m y 0.5m x 0.5m para la determinación de sotobosque (hojarasca y biomasa herbácea) (Aguilar 2010).....	50
Figura 9. Volumen promedio por especie en los sistemas agroforestales evaluados en Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel.....	52
Figura 10. Carbono acumulado en los sistemas agroforestales con edades de 4 y 2 años en Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel.....	53
Figura 11. Carbono acumulado por categoría (cacao, maderables y sombra) en los sistemas agroforestales de Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel.....	55
Figura 12. Carbono acumulado en los sistemas agroforestales con edades de 2 y 4 años de los productores de Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel	56
Figura 13. Carbono acumulado por especies en el sistema agroforestal con edad de dos años de Leonardo Padilla en Río Tinto.....	57

Figura 14. Carbono acumulado por especies presentes en el sistema agroforestal con edades de cuatro años de Leonardo Euceda en Río Blanco.....	58
Figura 16. Carbono acumulado por especies presentes en el sistema agroforestal con cuatro años de Leonardo Euceda de Río Blanco.....	60
Figura 17. Carbono acumulado de las especies del sistema agroforestal con edad de dos años Santiago Cerna en Río Tinto.....	60
Figura 18. Carbono total en los sistemas agroforestales incluidos en el estudio en Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel.....	61
Figura 19. Biomasa arbórea en los sistemas agroforestales evaluados con 4 a 3 años de edad en Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel.....	62
Figura 20. Biomasa arbustiva y herbácea evaluada en los sistemas agroforestales de 3 a 2 años de edad Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel.....	63
Figura 21. Biomasa de hojarasca en los sistemas agroforestales evaluados con cuatro y tres años de edad Río Tinto, Río Blanco.....	63
Figura 22. Biomasa arbustiva, arbórea y hojarasca acumulada en Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel.....	64
Figura 23. Biomasa vegetal total acumulada en cada sistema agroforestales con edades de cuatro a tres años de Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel.....	64

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Formulario para el registro de árboles con DAP \geq 10 cm o circunferencia \geq 31,4 cm.....	21
Cuadro 2: Número total de árboles y por clase de diámetro en la parcela temporal de muestreo.....	22
Cuadro 3. Estimación rápida del carbono almacenado (t/ha) en sistemas agroforestales con cacao en Talamanca, Costa Rica.....	22
Cuadro 4. Clasificación del nivel de carbono por sistema en fincas de Talamanca, Costa Rica.....	22

LISTA DE ANEXO

	Pagina
Anexo 1. Medición de variables dasométricas.....	41
Anexo 2. Obtención de muestras para biomasa herbácea y hojarasca.....	42

Andrade Gonzales, CG. 2016. Determinación de carbono y biomasa arbórea, herbácea y de hojarasca en sistemas agroforestales con cacao y árboles maderables en tres sitios al noroeste de Catacamas, Olancho. Tesis Lic. Recursos Naturales y Ambiente. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Olancho, Honduras. 54 pág.

RESUMEN

La presente investigación consistió en la determinación del carbono acumulado en la biomasa arbórea de árboles maderables y de sombra como guama (*Inga sp.*), caoba del pacífico (*Swietenia humilis*) y cacao (*Teobroma cacao*). Se realizó en Cuyamel, Olancho, en la zona de influencia del Parque Nacional Patuca, en donde se evaluaron 5 fincas ubicadas en 3 comunidades de la región de Catacamas Olancho. Se trabajó en 5 fincas con sistemas agroforestales. Se midió el diámetro a la altura de la base, el diámetro a los 50 cm a partir de la base y la altura total de todos los árboles dentro de la parcela de muestreo para determinar el volumen de cada árbol, utilizando las fórmulas de volumen de Smalian y del cono. Se elaboraron tablas de volumen y se determinaron el factor de forma y la gravedad específica para cada una de las especies y sistemas de producción. Se trabajó con sistemas agroforestales que incluyeron especies de cacao, se midieron parcelas de 10x10 y se tomó una sub parcela para calcular la biomasa arbórea y el carbono acumulado en la misma. El sector que presentó los niveles más altos de almacenamiento de carbono en su biomasa arbórea fue Río Tinto 3.23 t ha⁻¹ en promedio, seguido de Río Blanco el cual presenta una cantidad de carbono almacenado de 2.57 t ha⁻¹ y el sector que mostró la menor cantidad de almacenamiento de carbono fue Cuyamel con 0.707 t ha⁻¹.

Palabras claves: Gravedad específica de madera, Parque Nacional Patuca, *Teobroma cacao*, Smalian, variables dasométricas y volumen arbóreo

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales en este momento son una alternativa viable para el productor y el ambiente, ya que de esta manera establecen mejor sus parcelas de tierra, distribuyendo ampliamente sus cultivos, logrando mayor éxito con las plantaciones forestales y al mismo tiempo aportando un servicio ambiental importante, tal como lo es la captura de carbono en la madera de los árboles, como un medio de mitigación al cambio climático a través de la reducción de los gases de efecto invernadero.

Debido a la problemática mundial y sus posibles efectos sobre las generaciones actuales y futuras y sobre los recursos naturales, es que la mitigación del cambio climático se ha convertido en un reto fundamental para la economía y la ciencia dedicada a la conservación del medio ambiente. Una forma de mitigar el cambio climático es la reducción de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera mediante el establecimiento de sistemas agroforestales (SAF) capaces de capturar el CO₂ de la atmósfera y almacenarlo en la biomasa aérea y subterránea y en el suelo, donde se almacena por largos periodos de tiempo.

El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera de la tierra es una preocupación mundial y se considera como uno de los 6 principales gases que intervienen en el efecto invernadero (GEI) el cual está contribuyendo en mayor proporción al cambio climático (IPCC 2000). En los últimos 200 años los incrementos del (CO₂) en la atmósfera han sido de 280 a 375 ppm, y continua aumentando a una tasa promedio superior a 1.5 ppm por año (ASB 2005). Las plantas utilizan (CO₂) y liberan O₂ durante el proceso de la fotosíntesis; así mismo, almacenan componentes de carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que se les debe considerar como reservas naturales de carbono. Por otro lado, es conocido que la capacidad de los ecosistemas agroforestales (asociación de árboles con otros cultivos, arbustos, herbáceas o pastos) para almacenar carbono en forma de biomasa aérea, varía en función de la edad, diámetro, altura de los componentes arbóreos como la densidad de población de cada estrato y por comunidad vegetal (Alegre *et al.* 2000).

Aunque la importancia de los SAF para mitigar el cambio climático es reconocida, las investigaciones realizadas con respecto a captura de carbono en agroforestería siguen siendo pocas, en comparación con otros usos de la tierra como bosques y plantaciones forestales (Andrade e Ibrahim 2003). A partir del protocolo de Kyoto, se establecieron compromisos vinculantes de reducción de las emisiones de los GEI por parte de los países industrializados, empleando el mecanismo de flexibilidad existente; siendo uno de ellos el proyecto llamado Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que a través de los cuales se podrían incentivar las plantaciones agroforestales y forestales con fines de captura de carbono (CONAM 2001).

Este estudio surge como la respuesta a la necesidad de información relacionada a plantaciones forestales, como un medio para mitigar los efectos de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Hoy en día este tipo de estudios son importantes ya que con ellos se puede considerar el valor que tiene el hecho de plantar árboles y la protección a los mismos, siendo las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales alternativas factibles para contrarrestar parte de las emisiones de gases desplazados a la atmósfera.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivos General

Cuantificar el carbono y biomasa arbórea, herbácea y de la hojarasca en sistemas agroforestales con cacao en tres sitios: Río Blanco, Río Tinto y Cuyamel, al noroeste del municipio de Catacamas, en la zona de influencia del Parque Nacional Patuca

2.2 Objetivos Específicos

- a. Determinar las variables dasométricas: DAP, DAB, altura total y volumen, en sistemas agroforestales de cacao y árboles maderables en tres sitios en la zona de influencia del Parque Nacional Patuca

- b. Cuantificar la biomasa herbácea, de la hojarasca y arbórea acumulada en sistemas agroforestales de cacao y árboles maderables en tres sitios en la zona de influencia del Parque Nacional Patuca

- c. Estimar el carbono acumulado en sistemas agroforestales de cacao y árboles maderables en tres sitios en la zona de influencia del Parque Nacional Patuca

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Cambio climático

El cambio climático es una serie de alteraciones al planeta causados por el hombre, que incluyen el aumento en la temperatura, cambios en los patrones de lluvia y el incremento en los niveles del mar. La emisión de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, derivado del uso de combustibles fósiles (petróleo y sus derivados) y de la deforestación y degradación de suelos, es la principal causa de estos cambios en el clima del planeta (Segura *et al.* 2001).

Según Proforest (2011) el Cambio Climático es causado por un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. La deforestación, las quemas y el consumo masivo de combustibles fósiles con fines industriales, comerciales y residenciales emiten gases a la atmósfera que hacen que el aire se caliente y cambie drásticamente el clima mundial. El dióxido de carbono, el metano, los óxidos de nitrógeno y otros gases contribuyen al calentamiento de la atmósfera, por eso se les conoce como gases de efecto invernadero (GEI). Todas las plantas, incluyendo árboles y otras plantas del bosque, usan la fotosíntesis para absorber CO₂ y convertirlo en los diferentes compuestos orgánicos que constituyen la materia vegetal como la madera, la corteza y las hojas. Este proceso elimina CO₂ de la atmósfera.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y otros estiman que hasta 25% de toda la absorción de CO₂ de la atmósfera la realizan los bosques. Cuando los bosques u otros ecosistemas sufren perturbaciones y las plantas mueren, la materia vegetal se descompone o se quema y el CO₂ se libera a la atmósfera. El IPCC estima que 10-20% de todo el CO₂ liberado proviene de cambios de uso del suelo, y en particular de la degradación y pérdida de bosques tropicales.

Según Corral *et al.* (2006), las evidencias de los efectos negativos que causan en el clima local y mundial la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, constituyen temas relevantes del Protocolo de Kyoto y de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). Las acciones orientadas al control de emisiones y flujos de carbono; así como, la estimación del potencial de fijación de los sistemas agroforestales en los sistemas contables de los ciclos de carbono son importantes. Los árboles, base de los sistemas agroforestales, juegan un papel esencial en el ciclo global del carbono, porque cuando una planta crece, progresivamente acumula CO₂ y lo convierte en biomasa.

Los bosques constituyen un enorme reservorio de carbono. Por tanto, el conservar el carbono de los bosques existentes es crucial para reducir al menos la tasa con que se emite en forma de CO₂ puede disminuir significativamente las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Al mismo tiempo, el aumentar la cantidad de CO₂ absorbida por los bosques mediante plantaciones de árboles o áreas reforestadas puede acelerar la absorción de CO₂, y reducir así la concentración total de (GEI) en la atmósfera.

Se estima que los bosques almacenan más de 4.500 gigatoneladas (Gton) de carbono, lo cual supera las 2.400 Gton de carbono estimadas en las remanentes reservas de petróleo y las más de 3.000 Gton de carbono actualmente retenidas en la atmósfera. El mundo debe dar máxima prioridad a la conservación de este inmenso reservorio. (IPCC) estima que las emisiones causadas por el cambio de uso del suelo en el sector forestal actualmente representan el 17% de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual supera las emisiones globales del sector de transporte (UICN 2009).

La reducción de las emisiones provenientes de los bosques es crucial para frenar el cambio climático. En 2007, el (IPCC) estimó que el sector forestal y otros sectores que tienen un impacto en el uso de las tierras por causa de la deforestación, la degradación de los bosques y otros cambios en dichas áreas representa aproximadamente 17% de las emisiones de GEI, o aproximadamente 5.8 Gt de equivalentes a bióxido de carbono (CO₂) al año (IPCC 2007).

Según Sánchez (2005) los impactos del cambio climático global en las economías de los países son tan severos que el acelerado crecimiento demográfico a nivel mundial ocasiona un aumento en la demanda de los combustibles fósiles y una acelerada explotación de los recursos naturales. Las emisiones dióxido de carbono (CO₂) están aumentando la concentración de CO₂ y otros gases en la atmósfera y de tal magnitud, que los gobiernos han firmado protocolos y convenciones para regular las emisiones y mitigar los impactos acumulados y actuales de las acciones humanas sobre los (GEI) .Considera que existe un amplio apoyo por parte de países en desarrollo y desarrollados, así como de la comunidad de manejo forestal para incluir la Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación (REDD) (Rainforest Alliance 2009).

3.2 ¿Cómo resolver el problema de emisiones?

En términos generales, las políticas de control de emisiones se enfocan a que el problema no empeore, pero no a reparar el daño causado al ambiente. Reparar dicho daño puede significar tener que reducir la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero a niveles preindustriales, para lo cual se necesitan políticas que utilicen mecanismos sustentables que eviten la emisión de estos gases y que destruyan o capturen el exceso en almacenes naturales (Vargas *et al.* 2007). Considerando que existe un amplio apoyo por parte de países en desarrollo y desarrollados, así como de la comunidad de manejo forestal para incluir la Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación (REDD) (Rainforest Alliance 2009).

3.3 Captura de carbono: un proceso vital para la sustento de la vida

Según De la Vega (2007) la captura de carbono se realiza únicamente durante el desarrollo de los árboles. Los árboles absorben dióxido de carbono CO₂ atmosférico junto a otros elementos en suelos y aire para convertirlos en madera. La cantidad de CO₂ que un árbol captura durante un año, consiste sólo en el pequeño incremento anual de la biomasa en el árbol multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono.

Por su parte Vargas *et al.* (2007) considera que cuando se habla de captura de carbono, se refiere a uno de los muchos valores de uso indirecto del ecosistema, también conocidas como funciones ecológicas. Los mecanismos para la captura de carbono que son viables actualmente se enfocan solo en un subproceso del ciclo del carbono en la naturaleza: la captura terrestre, y específicamente en la captura de carbono de ecosistemas boscosos.

Gran parte del aumento de este gas en la atmósfera se debe, entre otras cosas a la destrucción de los grandes bosques del mundo y aún más a la falta de políticas y conocimientos que incentiven el establecimiento de plantaciones como rellenos (basureros) del CO₂ atmosférico (Alba 2006). El volumen de las emisiones de CO₂ se ha incrementado 3.5 veces en los últimos 50 años por el uso de combustibles fósiles, la producción de cemento y el cambio de uso del suelo (Alegre y Cassel 1996; Brown 1996; IPCC 2001).

Las plantas, a través de la fotosíntesis, absorben el dióxido de carbono de la atmósfera y lo fijan como carbono en su biomasa (madera, hojas, ramas, raíces). La cantidad de días que este carbono permanece en la biomasa vegetal depende del ciclo de vida de las plantas. Es así como los árboles y demás especies leñosas pueden almacenar el carbono por muchos días en su madera. Es por esto que los sistemas agroforestales pueden ser una opción económica y ecológica para disminuir el cambio climático, ya que al tener mayor cantidad de árboles en un área determinada, los árboles captarán más dióxido de carbono (Segura 2009).

Para proponer estrategias viables dirigidas a la mitigación del cambio climático es imprescindible, por un lado, conocer la dinámica del CO₂ en los ecosistemas forestales y, por otra, las modificaciones a los flujos de CO₂ derivadas de los patrones de cambio de uso de suelo. Los estudios de laboratorio sobre el índice de crecimiento y productividad de plantas que crecen en ambiente con niveles elevados de CO₂ han documentado: aumento de los índices de fotosíntesis, reducción de la necesidad de las plantas a usar agua, mayor absorción de carbono y aumento en la actividad microbiológica del suelo. Esto produce mayores índices de fijación de nitrógeno, que a su vez estimulan el crecimiento (Cielsa 1996).

Se ha estimado que el carbono en la biomasa de los bosques primarios y secundarios varía entre 60 y 230 y entre 25 y 190 t/ha, respectivamente, y que el carbono en el suelo puede variar entre 60 y 115 t/ha.

Sin embargo la captura de CO₂ se realiza únicamente durante el desarrollo de los árboles, después de varios años, cuando los árboles han llegado a su madurez total, capturan únicamente pequeñas cantidades de CO₂ necesarias para su respiración y la de los suelos, por lo tanto, no es importante cuanto carbono el árbol captura inmediatamente, sino cuánto carbono captura durante toda su vida (Brown *et al.* 1997).

La cantidad de carbono almacenado se relaciona con la capacidad del bosque de mantener cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual está en función a su heterogeneidad, condiciones de clima y suelo. Se asume que el 45% de la biomasa vegetal seca es carbono. Existe en los bosques una acumulación de carbono que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar de 150 y 382 t/ha, el carbono almacenado varía entre 67,5 a 171 t/ha (Alegre *et al.* 2001)

Los bosques naturales son los principales secuestradores de dióxido de carbono, pero existen otras alternativas de uso de la tierra como los sistemas agroforestales o la reforestación planificada, pasturas bien manejadas con sistemas silvopastoriles, que pueden secuestrar en promedio 95 toneladas de carbono por hectárea en 15 años, además de proporcionar bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que se deforesten de 5 a 20 hectáreas manejadas con sistemas tradicionales (Arévalo *et al.* 2003).

3.4 La fijación del carbono

Según Fundación Chile (s.f.) la función que desempeñan los bosques en la fijación o captura del carbono atmosférico es un tema de interés creciente en el debate ambiental y una preocupación en el mundo científico que trata los problemas ambientales. Se estima que de los 7.100 millones de toneladas anuales de carbono que se emiten a la atmósfera, aproximadamente 5.500 millones de toneladas provienen de la combustión de combustibles fósiles (petróleo, bencina, parafina y gas), y 1.600 millones.

Es decir, cerca de un 25% del total de la quema de bosques y residuos agrícolas, de las erupciones volcánicas y de la fermentación entérica del ganado. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% de flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie de la tierra. Por ello, los SAF pueden compensar las crecientes emisiones de CO₂ en dos formas.

Desde un punto de vista ambiental, y especialmente desde la perspectiva del cambio climático, el valor de la existencia de grandes superficies de bosques naturales y plantaciones radica justamente en su capacidad de compensar o mitigar el efecto provocado por las emisiones de carbono. Visualiza a los bosques como un medio para mitigar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), considerados los causantes del cambio climático, particularmente el dióxido de carbono (CO₂), el gas con mayor participación y que se fija a través del proceso de fotosíntesis. Así, para contrarrestar las emisiones de carbono (C), un número creciente de empresas y agencias de gobierno de diferentes países (Guerra. *et al.* 2001).

3.5 Sistemas Agroforestales

De acuerdo con Winjum *et al.* (2009) los sistemas forestales y agroforestales (SAF) pueden funcionar como sumideros de CO₂. En el subsistema biosfera, la cubierta vegetal remueve CO₂ desde la atmósfera a través de la fotosíntesis, el carbono se almacena en el follaje, fuste, sistema radicular, pero se concentra en el tejido de la madera del tronco; a su vez, se produce el flujo y salida de carbono del sistema (Margaleff 1997; Manso 1998; Mendizábal 2007 y Ciesla 1995).

El establecimiento de plantaciones de rápido crecimiento es la manera más efectiva de reducir el contenido de anhídrido carbónico de la atmósfera. Además de capturar carbono en forma efectiva, las plantaciones proveen la madera o biomasa necesaria para la producción de una variedad de productos, aliviando la presión de demanda sobre los bosques naturales, por su parte, si bien los bosques naturales no capturan anualmente tanto carbono como las plantaciones, sirven como grandes depósitos o sumideros del mismo.

El papel de la fotosíntesis es de sobra conocido por quienes realizan actividades de evaluación relativas al crecimiento de las plantas, ya que mediante este proceso los árboles capturan y almacenan carbono en sus tejidos, dado que el CO₂ es el principal gas que contribuye al calentamiento global (Medrano 2000; Hernández *et al.* 2008).

Conchai *et al.* (2007) evaluaron la biomasa aérea en seis diferentes sistemas agroforestales de cacao de 5 a 12 años asociado con especies forestales maderables y frutales, reportando la captura de carbono en cada sistema agroforestal que varía desde 26.2 t/ha para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 45.07 t/ha del sistema agroforestal de Pachiza de 12 años.

Asimismo, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12.09 t/ha hasta 35.5 t/ha, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t/ha hasta 9.97 t/ha; mientras la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos.

Los sistemas agroforestales de 12 y 20 años representaron 66.7% de los sistemas que presentan reservas de carbono por encima de las 40 t/ha, mientras que los sistemas de 5 años se encuentran con reservas de carbono por debajo de las 30 t/ha. De la misma forma Arce *et al.* (2006), realizaron estudios que indican que el SAF con cacao acumuló más carbono que los demás sistemas, superando en 52 y 55% a los SAF con banano (36.50, 24.00 y 23,05 t/ha, respectivamente).

3.6 Método para calcular biomasa

Según Segura y Kanninen (2002) para estimar la biomasa sobre el suelo se pueden emplear dos métodos: 1) las técnicas directas o destructivas, y 2) las técnicas indirectas. Las técnicas destructivas incluyen mediciones en campo, cosecha y toma de muestras de la totalidad de la vegetación, teniendo en cuenta algunos criterios de evaluación. Las técnicas indirectas para estimar biomasa, se encuentra el uso de modelos de biomasa específicos para cada especie, donde los valores de inventarios forestales como diámetro (DAP) y altura se transforman a términos de biomasa con la ayuda de modelos generales.

3.6.1 Método directo

Se utilizará la técnica directa para calcular biomasa de los árboles con el objetivo de comparar los resultados obtenidos mediante ésta y la técnica indirecta, siendo esta última utilizada en Perú, por lo tanto se evaluará su aplicabilidad en estas zonas y así poder determinar que técnica es recomendable utilizar para esta región.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en las áreas de Río Blanco ubicado en Latitud $15^{\circ} 02' 00''$ N y Longitud $85^{\circ} 47' 00''$ O, Cuyamel con coordenadas $14^{\circ}43'2''$ N y $85^{\circ}29'35''$ O, Poncaya con coordenadas $14^{\circ} 22' 88''$ N y $85^{\circ} 39' 0''$ O, Rio Tinto con coordenadas $14^{\circ} 55' 88''$ N y $85^{\circ} 42' 0''$ O en el municipio de Catacamas, Olancho, zonas de influencia del Parque Nacional Patuca (PNP) El clima es tropical húmedo, con una precipitación promedio de 2565 mm/año. La temperatura oscila alrededor de los 25°C (COHECO 2000) (Figura 1).

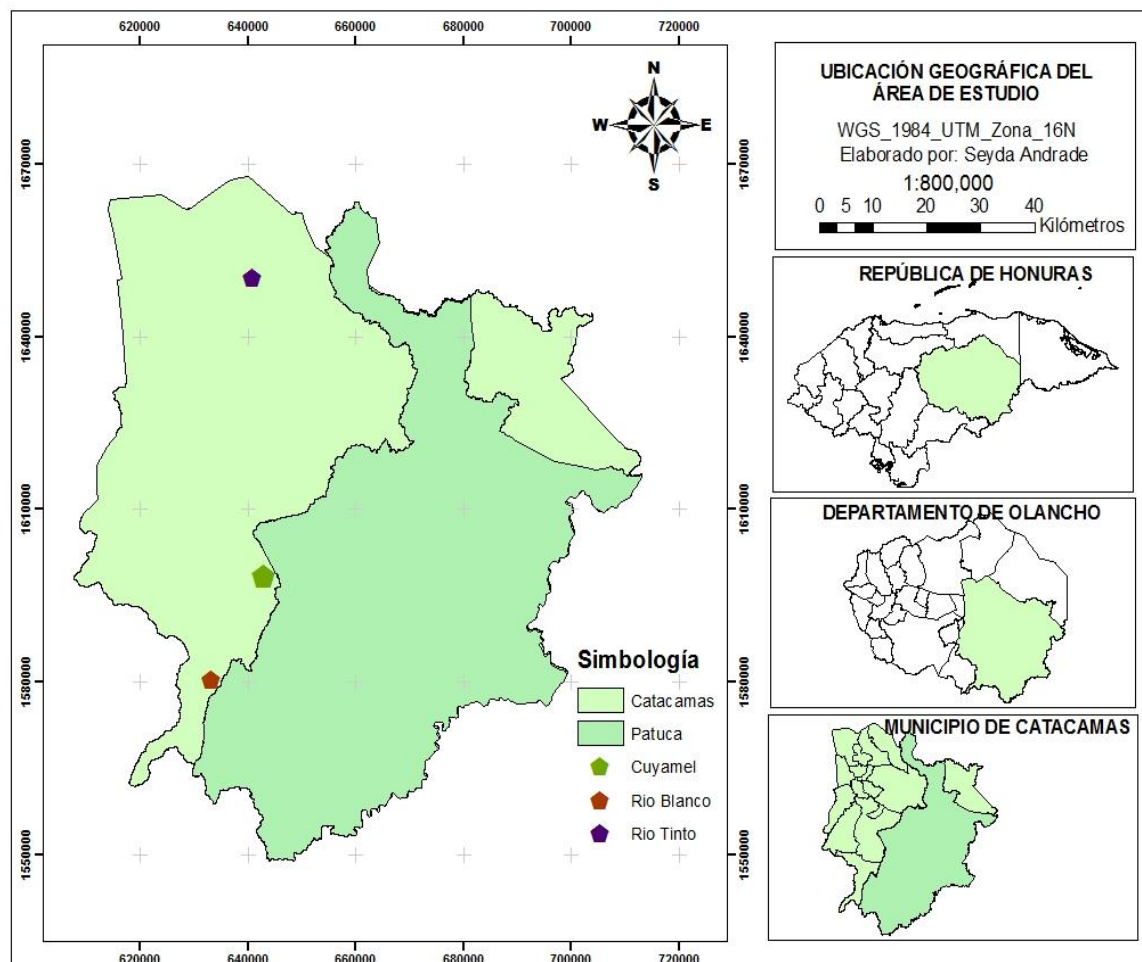


Figura 1: Ubicación geográfica de la zona de estudio de sistemas agroforestales en zona de influencia del Parque Nacional Patuca

Los meses más lluviosos son junio, julio y agosto (350-450 mm/mes), y los más secos son marzo y abril (alrededor de 50 mm/mes). Según el sistema de Holdridge se reconocen dos zonas de vida en el PNP. El bosque tropical húmedo prevalece es la zona de vida que prevalece y es donde se ha constituido la zona de uso múltiple por parte de los habitantes del lugar. El bosque sub-tropical muy húmedo presenta una estructura estratificada, con árboles altos perennifolios con gambas, gran abundancia y diversidad de palmas, helechos arborescentes, bejucos y lianas (Moreno 1998).

4.2 Materiales y Equipo

En la etapa de reconocimiento de la zona y Georreferenciación en el cual se utilizó un GPS marca DNR Garmin® recorriendo cada una de las fincas. En la etapa de toma de datos en el cual se utilizó una cinta métrica de 50 m, se utilizará para trazar la línea de medición del radio y longitud de cada parcela, machete para el corte de los arbustos y hierbas, Cinta diamétrica de 1.60 m: se utilizara para medir el diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles adultos que se encuentren en la parcela.

En la etapa de procesamiento y análisis de datos se utilizó un tablero y libreta de campo, en los que se tomó nota de los datos que se recolectaron, se utilizó balanza analítica, para pesar las muestras de madera recolectadas, luego se hizo uso del laboratorio donde se utilizó el horno para el secado de las muestras posteriormente se trabajó en tabulación de los datos en el cual se hizo uso de una hoja de cálculo de Excel® 2013.

4.3 Método de investigación

Se realizó la toma de datos para luego hacer comparaciones tanto de carbono acumulado como de biomasa arbórea en cada una de las 5 fincas que fueron muestreadas, al mismo tiempo se hizo uso del método deductivo y por tanto de la investigación cuantitativa ya que se midió y se tomaron datos y estos fueron analizados estadísticamente. Ya que las técnicas son acciones precisas para poder llevar a cabo el método, se utilizó dos tipos de técnicas (directa e indirecta), y estas se subdividen en:

Determinación de volumen de los arboles donde se usó la fórmula de Smalian, fórmula del cono y factor de forma, carbono acumulado en la madera de los arboles (técnica directa); biomasa arbórea, biomasa arbustiva y herbácea, biomasa de hojarasca (técnica indirecta).

4.4.1 Determinación de volumen de los árboles

La metodología que se utilizó para determinar el volumen de los árboles es la utilizada por Sánchez (2005) citado por Aguilar (2010). Los parámetros a medir en cada árbol y parcela que hicieron: diámetro a la base del árbol y el diámetro a los 50 cm de altura. En casos en que los árboles que estén dentro de la parcela sean adultos, se les midió el DAP (diámetro de altura al pecho, a 1.3 metros de altura del suelo) y altura total. En otros casos donde los árboles midan más de tres metros de alto, la segunda medición del diámetro será tomada a un metro después de la base y las dos alturas obtenidas fueron sumadas para dar la longitud total del árbol.

En los casos en que los árboles midieran menos de 50 cm de altura, se les midió un solo diámetro, el de la base y una sola altura, para utilizar la fórmula del cono. En el caso que los árboles tuvieran más de 50 cm de altura, se medirán dos longitudes (a los 50 cm y el resto de la altura) y dos diámetros (a la base y a los 50 cm del árbol), mientras que en árboles mayores de tres metros la primera medición de altura será a un metro (Figuras 2 y 3).

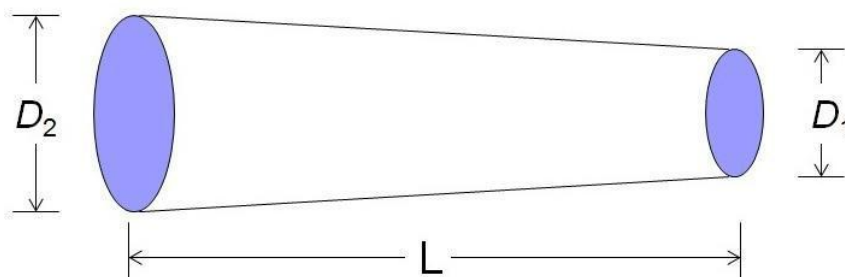


Figura 2: Esquema para calcular el volumen del árbol con la fórmula de Smalian (Aguilar 2010)

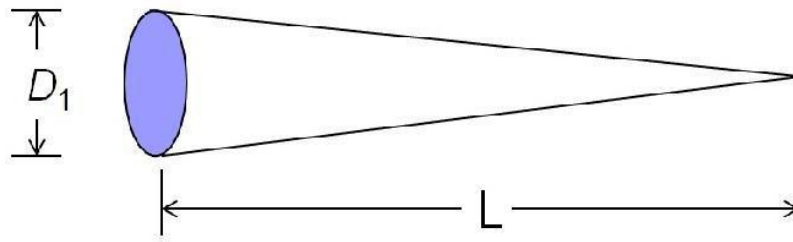


Figura 3: Esquema para calcular el volumen en la última sección de los árboles con la fórmula del cono (Aguilar 2010)

4.4.2 Fórmula de Smalian

$$V = 0.00003927 * (D1^2 + D2^2) * L$$

Donde:

V = volumen del árbol cm³

D1 = diámetro inferior en centímetros (cm)

D2 = diámetro superior en centímetros (cm)

L = largo de la troza (altura total de la pieza) en metros (m).

4.4.3 Fórmula del cono

Es utilizada en árboles con altura menor a 50 cm; y en la última pieza de los árboles mayores a 50 cm.

$$V = (0.7854 * D1^2 * L) / 3$$

Donde:

V = volumen del árbol cm³

D1 = diámetro inferior en centímetros (cm)

L = largo de la troza (altura total de la pieza) en metros (m)

4.4.4 Ecuación para el cálculo del factor de forma (FF)

Determinación del factor de forma

$$FF = \frac{Vol \text{ árbol}}{Vol \text{ cilindro}}$$

Donde:

FF = factor de forma

Vol árbol = volumen del árbol (m³)

Vol cilindro = volumen del cilindro (m³)

4.4.3 Determinación del volumen del cilindro

$$Vol \text{ cil} = \pi * \left(\frac{\left(\frac{DAB}{2} \right)}{100} \right)^2 * \left(\frac{A}{100} \right)$$

Donde:

Vol cil = volumen del cilindro (m³)

DAB = diámetro a la altura de la base (cm)

A = altura total del árbol (cm)

4.4.5 Determinación de carbono acumulado en la madera de los árboles

Para la determinación del carbono acumulado en cada uno de los sistemas agroforestales se usó la sumatoria del volumen acumulado en la madera de los árboles dentro de la parcela de muestreo (volumen total por especie y por sistema). Posteriormente ese volumen total por especie se multiplicó por la gravedad específica. La gravedad específica a utilizar fue la calculada en el estudio realizado por Aguilar en el año 2010, al ser datos de la misma zona de estudio correspondiente a esa especie.

4.5 Técnica indirecta

La metodología seguida para el presente trabajo, corresponde a lo establecido por Arévalo *et al.* (2003) donde, para determinar la biomasa vegetal aérea total se utilizó la ecuación:

$$BVT(t/ha) = (BAVT + BAH + Bh)$$

Donde:

BVT = Biomasa vegetal total (t/ha)

BAVT = Biomasa arbórea vegetal total (t/ha)

BAH = Biomasa arbustiva y herbácea (t/ha)

Bh = Biomasa de la hojarasca, materia seca (t/ha)

4.5.1 Biomasa arbórea

Cuando los árboles oscilan entre 2.5 y 30 cm de diámetro. Se marcaron parcelas de 4 x 25 m en las que se midió la altura (H) y diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles vivos, parados (Anexo 2). Cuando había ramificaciones por debajo de 1,3 m. (DAP), se medirá su diámetro a esa altura. Si los árboles superaban los 30 cm de diámetro, se tomaron las mismas medidas, además de extrapolar la parcela a 5 x 100 m superpuesta a la primera (Figura 5).

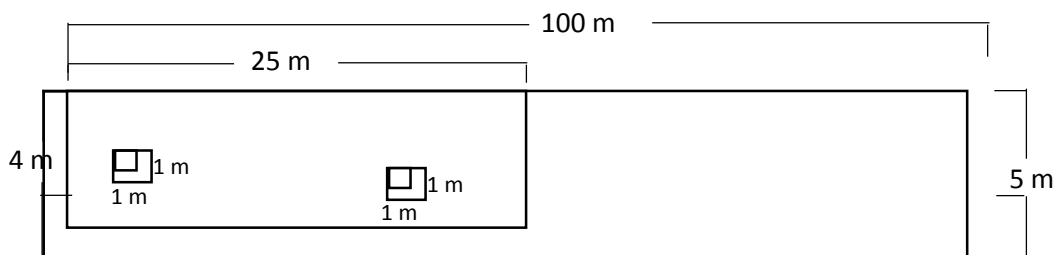


Figura 4: Diseño de las parcelas para la evaluación de los diferentes componentes de la biomasa vegetal (Aguilar 2010).

4.5.2 Fórmula para calcular la biomasa de los árboles

$$BA = 0.1184 \times (DAP)^{2.53}$$

Donde:

BA = Biomasa arbórea (kg/árbol)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)



Figura 5: Recolección de biomasa arbórea en sistemas agroforestales de cacao en Río Tinto

4.5.3 Fórmula para calcular la cantidad de biomasa por hectárea

Se sumó la biomasa de todos los árboles medidos y registrados (BTAV) tanto en la parcela de 4 m x 25 m o 5 m x 100 m.

$$\text{BAVT (t/ha)} = \text{BTAV} \times 0.1 \quad \text{ó} \quad \text{BAVT (t/ha)} = \text{BTAV} \times 0.2$$

Donde:

BAVT = Biomasa arbórea vegetal total (t/ha)

BTAV = Biomasa total (kg) en la parcela de 4 m x 25 m

0.1 = Factor de conversión en la parcela de 4 m x 25 m

0.2 = Factor de conversión en la parcela de 5 m x 100 m

4.5.4 Biomasa arbustiva y herbácea

La biomasa arbustiva y herbácea se determinó por muestreo directo, cortando la vegetación a nivel del suelo y se registró el peso fresco total por metro cuadrado, eligiendo al azar dos cuadrantes de 1 x 1 m en cada una de las subparcelas de 4 x 25 m o de 5 x 100 m, según el caso (Figura 5).

En estas se cortó toda biomasa epigea procedente de arbustos menores a 2.5 cm de diámetro y la biomasa herbácea. Se obtuvo el peso fresco total y el peso fresco de una submuestra de aproximadamente 500 g, que se envió al horno hasta obtener el peso seco constante.



Figura 6: Recolección de la biomasa arbórea y herbácea en sistemas agroforestales de Cuyamel

4.5.5 Ecuación Para calcular la biomasa arbustiva y herbácea

$$BAH \text{ (t/ha)} = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.01$$

Donde:

BAH = Biomasa arbustiva/herbácea, materia seca (t/ha)

PSM = peso seco (g) de la muestra colectada

PFM = Peso fresco (g) de la muestra colectada

PFT = Peso fresco total (g) por metro cuadrado

0.01 = Factor de conversión

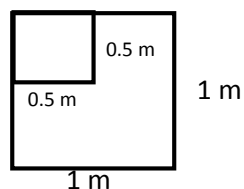


Figura 7: Cuadrantes de 1m x 1m y 0.5m x 0.5m para la determinación de sotobosque (hojarasca y biomasa herbácea) (Aguilar 2010)

4.5.6 Biomasa de hojarasca

Se recolectó y se pesó la hojarasca acumulada en los subcuadrantes de 0.5 m x 0.5 m, y de esta se tomó una submuestra de valor arbitrario, que se envió al laboratorio para el secado en el horno hasta alcanzar el peso constante.

4.5.6.1 Ecuación para determinar la biomasa de hojarasca:

$$Bh \text{ (t/ha)} = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.04$$

Donde:

Bh = Biomasa de la hojarasca, materia seca (t/ha)

PSM = Peso seco de la muestra colectada

PFM = Peso fresco de la muestra colectada

PFT = Peso fresco total por metro cuadrado

0.04 = Factor de conversión

4.5.7 Protocolo para calcular carbono

La metodología seguida para el presente trabajo, corresponde a lo establecido por Aguilar (2010) donde, para determinar el carbono con esta metodología se siguieron los siguientes pasos:

1. Se seleccionó un área en el sistema de uso de la tierra a evaluar como sistema agroforestal con cacao, con banano, plátano o charral, de tal modo que sea representativo (semejante) a todo el sistema.
2. Se estableció una parcela de muestreo cuadrado marcando con una estaca el punto central en el sitio seleccionado y midiendo 15 m de longitud (de radio) con una cinta métrica (Figura 6).

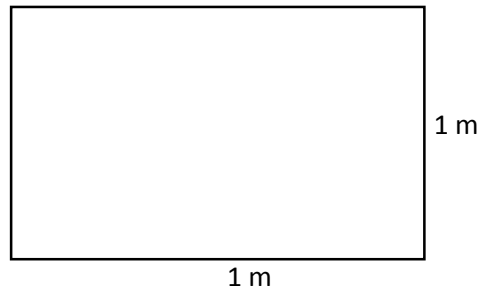


Figura 8. Establecimiento de parcelas de muestreo para la medición de árboles maderables y cacao.

3. Se midió el diámetro a la altura de pecho (DAP)

4. Se inició la medición en un punto en el límite de la parcela y se empezó a medir los árboles en el sentido de las manecillas del reloj. Se midió el DAP o circunferencia de todos los árboles y se llenó el formulario (Cuadro 1).

Se marcaron los árboles medidos con alguna señal temporal, tal como una cinta de color para evitar repetir la medición en árboles o dejar de medir algunos de ellos.

Cuadro 1. Formulario para el registro de árboles

Sistema evaluado: _____ Área estima de la Parcela: _____ ha

Árbol N°.	Especie	DAP (cm)	Diámetro (cm)	Altura de medición de DAP o Diámetro	Observaciones
1					
2					
3					

V.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Técnica para calcular biomasa

5.1.1 Técnica directa

5.1.1.1 Volumen de los arboles

En los sistemas agroforestales (SAF) evaluados durante este estudio se muestrearon algunas especies de árboles como cacao, laurel y caoba entre otros. Se calculó el volumen por hectárea ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), el volumen más alto lo presenta el cacao con $22.88 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, lo cual se debe a que la mayoría de árboles muestreados eran de esta especie. En segundo lugar se encuentra la musácea que muestra un volumen de $4.26 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, seguidamente hay otras especies que debido a su bajo número de individuos (caoba, laurel, guarumo, guama y aguacate), las cuales presentan un volumen de $3.02 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ (Figura 7).

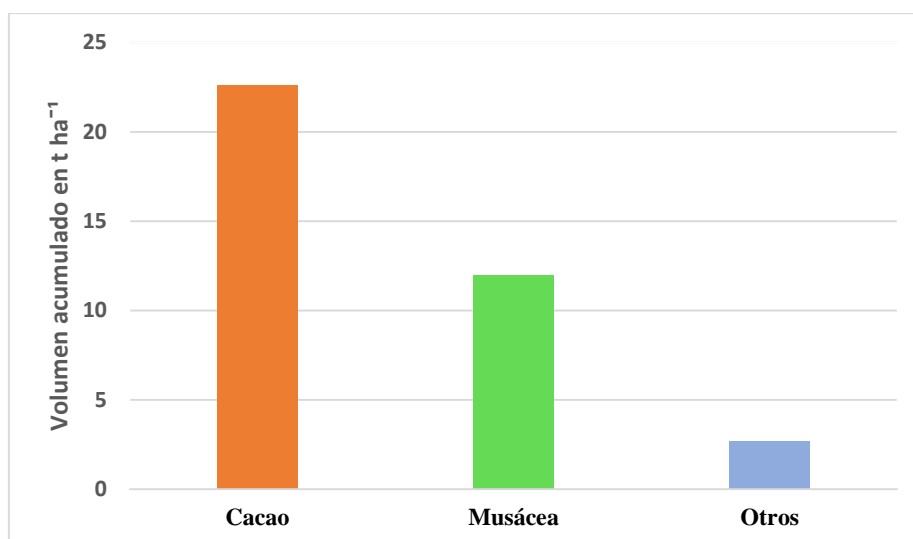


Figura 9. Volumen promedio por especie en los sistemas agroforestales evaluados en Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel

5.1.1.2 Carbono almacenado en los árboles de los sistemas agroforestales

Los resultados obtenidos del contenido de carbono almacenado en los árboles que se encuentran en los sistemas agroforestales, el cual se reporta en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$), en los tres sitios evaluados: Río Blanco, Río Tinto y Cuyamel en la zona de influencia del Parque Nacional Patuca (Figura 10).

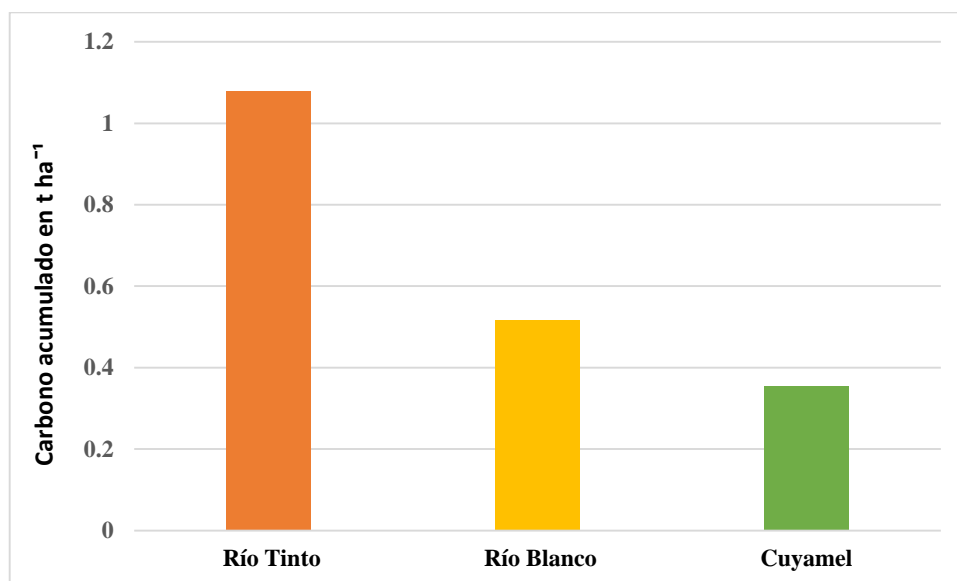


Figura 10. Carbono acumulado en los sistemas agroforestales con edades de 4 y 2 años en Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel

En los tres sectores evaluados se obtuvo que la cantidad promedio de carbono acumulado fue: Río Tinto con $1.0798\ t\ ha^{-1}$; seguido de Río Blanco con $0.5154\ t\ ha^{-1}$ y el que muestra el menor promedio almacenado de carbono es Cuyamel con $0.3535\ t\ ha^{-1}$ (Figura 10). Las variaciones o similitudes en las cantidades de carbono almacenado puede ser por distintos factores tales como: altura del árbol, edad de las plantaciones, condiciones edafológicas, entre otras.

Cabe destacar que tanto en Río Tinto fueron evaluadas 4 SAF de tres años de edad por cada sitio, mientras que en Cuyamel y Río Blanco se evaluó 1 SAF de dos años de edad, esto puede ser una razón por lo cual estos sitios presentan el menor promedio almacenado de carbono, además se observa que el carbono almacenado tiende a incrementarse con la edad de los sistemas agroforestales; tal como lo describe Alegre *et al.* (2002).

Los niveles de carbono presentan una alta dispersión entre zonas, debido a la variabilidad innata de los sistemas y que también está influenciado por la variabilidad del suelo en la que se desarrollan (Lapeyre *et al.* 2004). En dos de los tres sitios evaluados (Río Blanco y Cuyamel) no existe homogeneidad entre datos, es decir, que son heterogéneos ya que hay mucha variación entre sus resultados, al contrario en Río Tinto que a pesar de mostrar bajos niveles de almacenamiento de carbono si existe homogeneidad en sus resultados, esto de acuerdo al error estándar.

Es decir, los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan los valores más altos de acumulación de carbono; puesto que los árboles, al crecer, absorben carbono de la atmósfera y lo fijan en su madera (FONAM, 2005), así mismo Lapeyre *et al.* (2004), detalla que el almacenamiento de carbono por parte de los árboles no es uniforme a lo largo de su vida, sino que está en relación directa con su crecimiento: dado que aproximadamente el 50% de la biomasa está formada por carbono.

Según la FONAM (2005) que el potencial de almacenamiento de carbono varía considerablemente dependiendo del tipo de especies, clima, condiciones de suelo y manejo de los sistemas. Para conocer la distribución de carbono almacenado, es decir, que especies de estos sectores son las que presentan el mayor potencial de almacenamiento de carbono, por lo cual se establecieron tres categorías (cacao, maderables y especies utilizadas para sombra).

De acuerdo con los resultados obtenidos, la especie que presenta la mayor cantidad promedio almacenada de carbono en cada uno de los sitios del estudio fue el cacao con 1.1 t ha^{-1} en el sector de Río Tinto; 0.5 t ha^{-1} y 0.4 t ha^{-1} para el sector de Río Blanco y Cuyamel respectivamente. Le siguen la especie maderable (caoba) con una cantidad promedio de 0.0015 t ha^{-1} respectivamente. Por último están las especies utilizadas para sombra (guama, aguacate, guanábana, guarumo canavalea y naranjo) que presentan la menor cantidad de carbono con 1.64 t ha^{-1} para Río Tinto, 0.22 t ha^{-1} y 0.35 t ha^{-1} para Río Blanco y Cuyamel respectivamente (Figura 11).

Estas variaciones en almacenamiento de carbono quizás se deban a que en la parcela de muestreo la especie predominante fue el cacao, seguido de especies maderables y especies utilizadas para sombra, cabe destacar que las especies maderables son árboles jóvenes y con una presencia mínima de individuos por parcela, y que las especies para sombra a pesar que son árboles de mayor tamaño por su edad son utilizadas en bajas densidades ya que el cacao requiere de una cantidad específica de sombra.

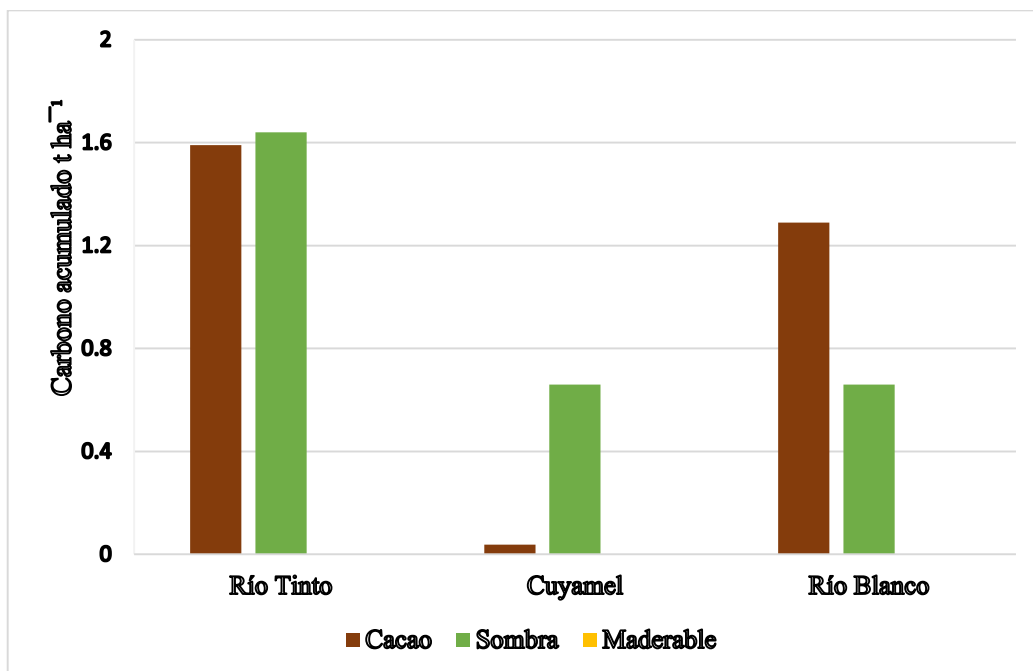


Figura 11. Carbono acumulado por categoría (cacao, maderables y sombra) en los sistemas agroforestales de Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel

Por otro lado, el carbono almacenado en los sitios evaluados es variable, incluso en sistemas de la misma edad, tal como se observa en los sistemas agroforestales (SAF) evaluados de Leonardo Padilla (2.38 t ha⁻¹), Valeriano Padilla (0.522 t ha⁻¹), Santiago Cerna (0.337 t ha⁻¹) pertenecientes a Río Tinto, así como también los SAF de Calistro Velásquez (0.3535 t ha⁻¹) de Cuyamel y Leonardo Euceda (0.5154 t ha⁻¹), de Río Blanco. Lapeyre *et al.* (2004) menciona que los niveles de carbono presentan una alta dispersión entre zona, debido a la variabilidad innata de los sistemas y que también está influenciado por la variabilidad del suelo en que se desarrollan (Figura 12).

FONAM (2005) afirma que el potencial de almacenamiento de carbono varía considerablemente dependiendo del tipo de especies, clima, condiciones de suelo y manejo de los sistemas.

Salgado (2004) manifiesta que la capacidad de captura y almacenamiento de carbono depende de las especies utilizadas, densidad de los árboles, manejo silvicultura, condiciones ecológicas, calidad de sitio y posibles fugas.

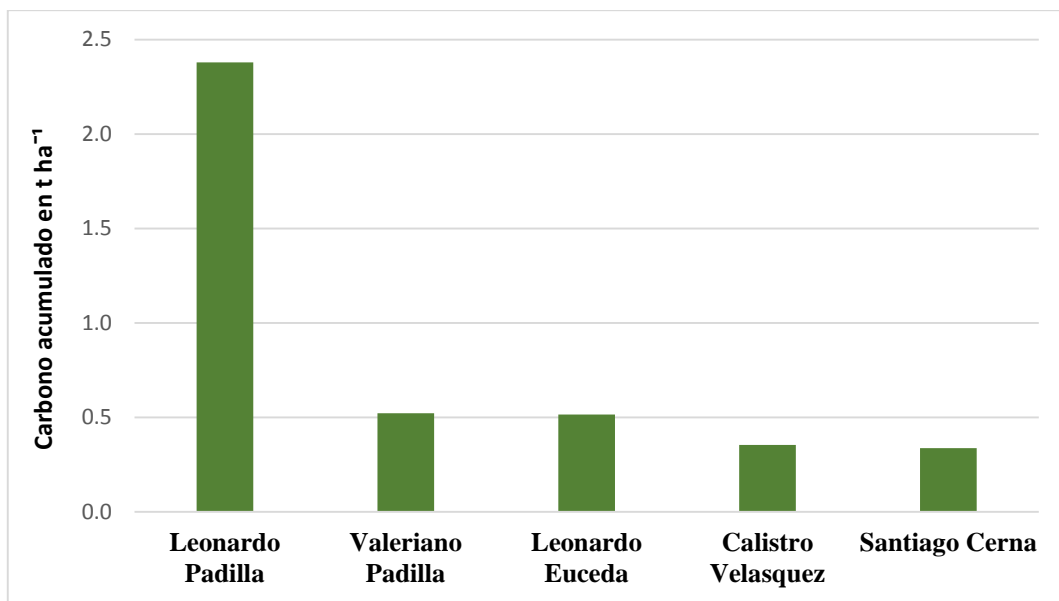


Figura 12. Carbono acumulado en los sistemas agroforestales con edades de 2 y 4 años de los productores de Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel

De los SAF evaluados el que presenta mayor cantidad de carbono almacenado (2.38 t ha⁻¹) es el de Leonardo Padilla, perteneciente a la zona de Río Tinto esto se debe a que hay especie de una edad adulta (guarumo), la especie que acumulo la mayor cantidad de carbono fue el Guarumo con (1.64 t ha⁻¹). La otra especie que se encuentran en el SAF es el cacao con (0.74 t ha⁻¹) (Figura 13).

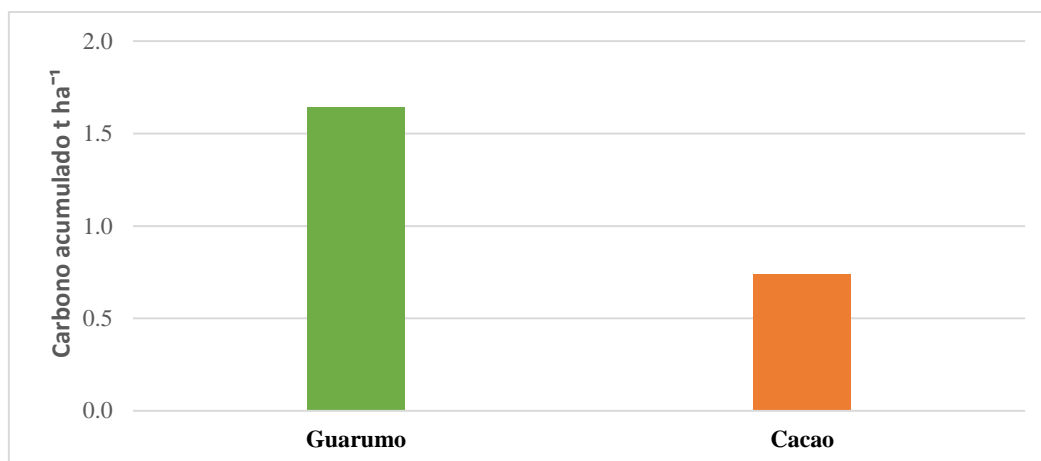


Figura 13. Carbono acumulado por especies en el sistema agroforestal con edad de dos años de Leonardo Padilla en Río Tinto

De la zona de Río Tinto los dos SAF restantes almacenaron las siguientes cantidades de carbono: Cacao (1.38 t ha^{-1}), guama (0.96 t ha^{-1}), Otro (0.20 t ha^{-1}), para el SAF de Leonardo Euceda (Figura 14).

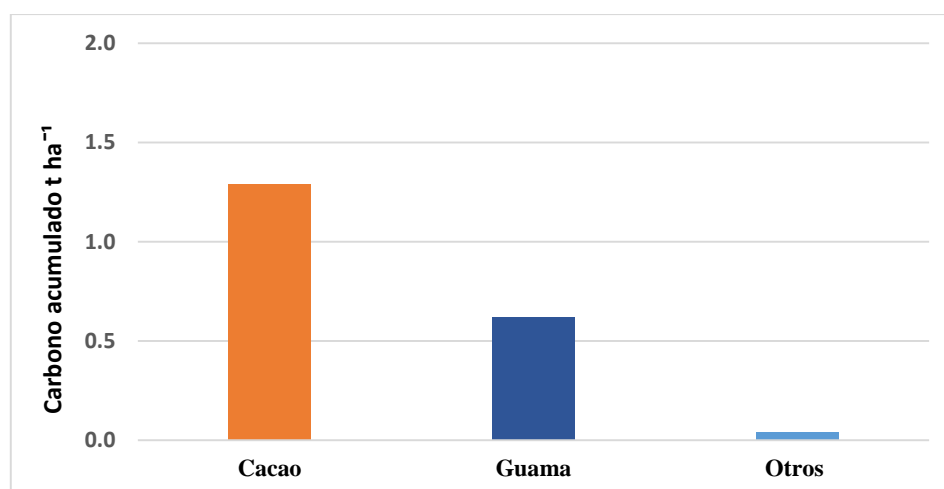


Figura 14. Carbono acumulado por especies presentes en el sistema agroforestal con edades de cuatro años de Leonardo Euceda en Río Blanco

Para el SAF de Calistro Velásquez las cantidades de carbono acumulado son de 1.68 t ha^{-1} en cacao y 1.04 t ha^{-1} en la guama. Ambos SAF (Calistro Velásquez y Leonardo Euceda) son los correspondientes a la zona de Río Tinto.

En la zona de Río Blanco el SAF de Leonardo Euceda presenta uno de los niveles bajo de carbono almacenado (0.51 t ha^{-1}), de los cinco SAF evaluados este se encuentra en el cuarto lugar de almacenamiento de carbono, solo superando al SAF de Valeriano Padilla con 0.60 t ha^{-1} de carbono, cabe destacar que el SAF de Wilfredo así como el resto de los SAF de Cuyamel tiene tres años y que el SAF de Valeriano tiene dos años.

Este sistema es el que presenta la menor cantidad de carbono acumulado en Cacao, esto se debe a que son árboles de menor diámetro en comparación con los demás SAF que tiene la misma cantidad de años, es decir, que no ha tenido un buen desarrollo, quizás esto se deba a que las condiciones edafológicas no son las óptimas para lograr un mejor desarrollo. El cacao presenta una cantidad de 0.28 t ha^{-1} , caoba con 0.04 t ha^{-1} y otras especies como el palo de hule con 0.02 t ha^{-1} de carbono almacenado (Figura 16).

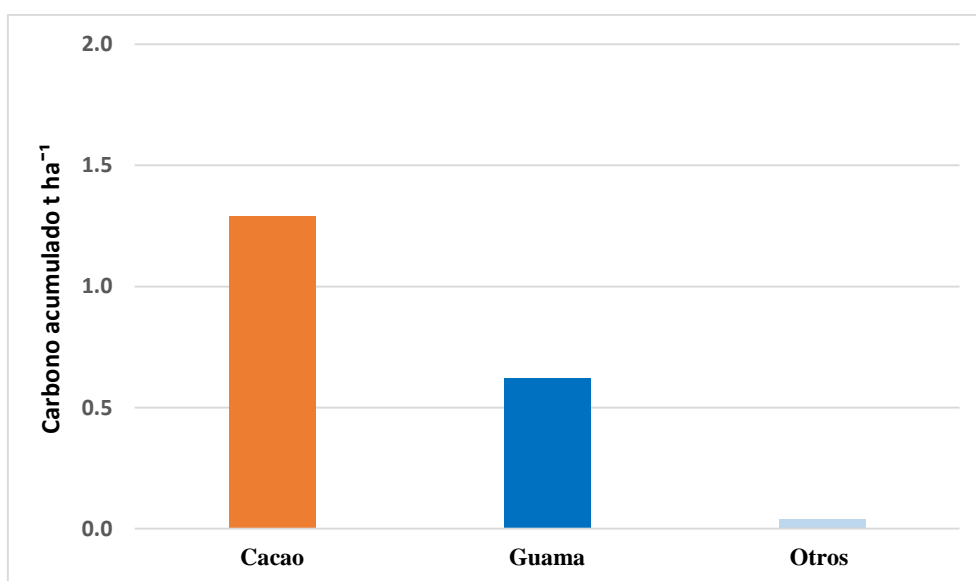


Figura 16. Carbono acumulado por especies presentes en el sistema agroforestal con cuatro años de Leonardo Euceda de Río Blanco

El último de las zonas evaluados y el que presenta el promedio más bajo de carbono acumulado es Cuyamel con una cantidad de 0.880 t ha^{-1} , solo fueron evaluados tres SAF, también que estos son los de menor edad (2 años) en comparación con los SAF de los otros dos sectores con 4 años de edad.

Los bajos niveles de almacenamiento de carbono presentados quizás se deban a los factores mencionados anteriormente, ya que los SAF evaluados en esta zona son los que presenta la menor cantidad de carbono almacenado en todo el estudio. El SAF de Calistro Velásquez (0.707 t ha^{-1}), a pesar de mostrar los menores diámetros y altura en el cacao, presenta la mayor cantidad almacenada de carbono en este sector, esto se debe a que los demás árboles que conforma el sistema son de una edad adulta y que tienen una densidad considerable dentro del sistema (Figura 17).

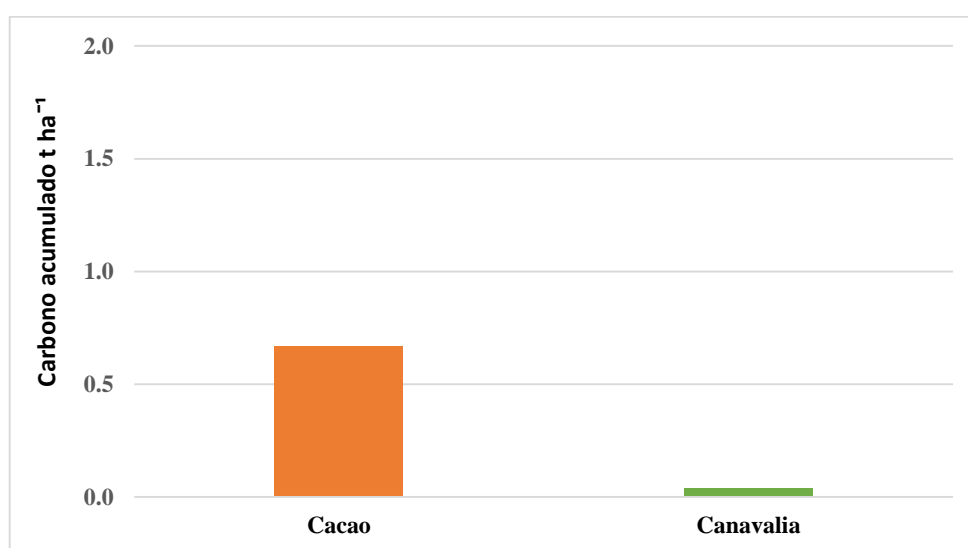


Figura 17. Carbono acumulado de las especies del sistema agroforestal con edad de dos años Santiago Cerna en Río Tinto

Fueron evaluados cinco SAF en total por los tres sectores. Según la base de datos de la APROSACAO el sector de Río Blanco es el que tiene la mayor cantidad de hectáreas plantadas SAF con una cantidad de 116.2 ha; Cuyamel tiene 57.36 ha de SAF y el que tiene la menor cantidad de SAF es Río Tinto con 52.5 ha. Al realizar los cálculos la cantidad total de carbono acumulado por cada sector es de 3.23 t ha^{-1} para el sector de Río Tinto, 2.57 t ha^{-1} y 0.70 t ha^{-1} para Cuyamel y Río Blanco respectivamente (Figura 18). La suma total de carbono almacenado en el estudio es de 856.88 t ha^{-1} .

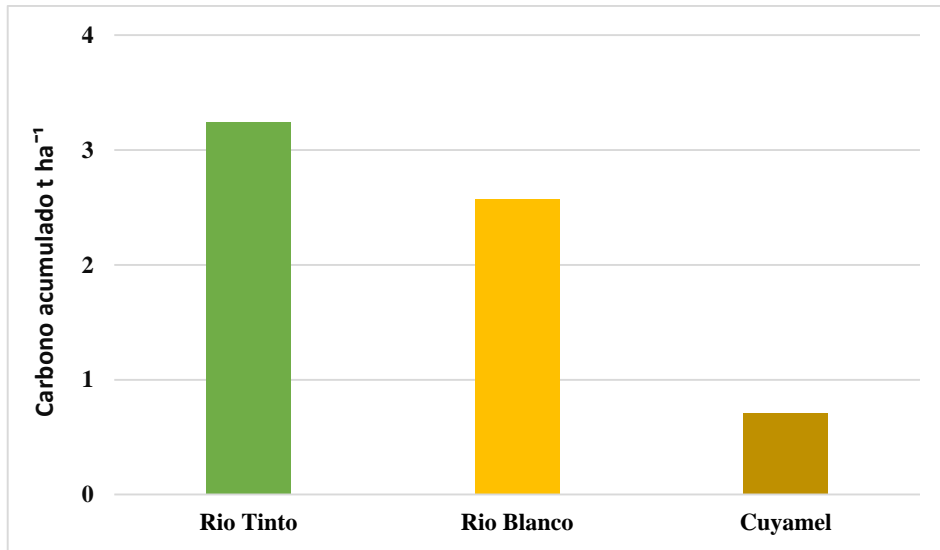


Figura 18. Carbono total en los sistemas agroforestales incluidos en el estudio en Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel

5.2 Técnica indirecta

5.2.1 Biomasa arbórea

La biomasa arbórea acumulada en los SAF de los tres sitios evaluados, determinándose que los SAF de 4 años de edad contiene un promedio de biomasa arbórea de 35.26 t ha⁻¹. Mientras que los SAF de 2 años de edad son los que poseen la menor cantidad de biomasa arbórea con 16.11 t ha⁻¹ (Figura 19).

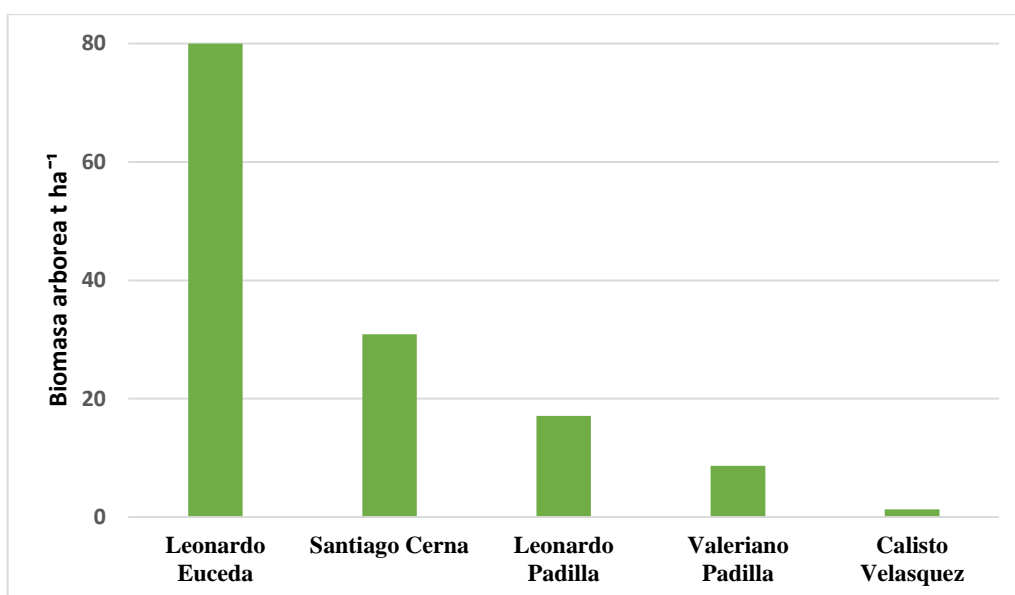


Figura 19. Biomasa arbórea en los sistemas agroforestales evaluados con 4 a 3 años de edad en Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel

El incremento de la biomasa vegetal es significativo entre los 2 y 4 años de edad, lo cual permite inferir que los árboles conforme crecen acumulan grandes cantidades de biomasa. Acosta *et al.* (2001) afirman que una vez que la vegetación se establece, el incremento de la biomasa dependerá principalmente de las condiciones edafológicas y climáticas que influirán en la tasa de rendimiento y dependiendo de la capacidad de respuesta que presentan las especies, será la capacidad de crecimiento y de captura de carbono.

5.2.2 Biomasa arbustiva y herbácea

El aporte de biomasa por parte del componente arbustivo y herbáceo es una pequeña cantidad ya que los SAF de 3 años muestran un promedio de 1.12 t ha^{-1} y los SAF de 2 años muestran una cantidad de 0.48 t ha^{-1} , esto se debe a que las hierbas y/o arbustos están formados en un 80% de agua, entonces al obtener el peso del mismo baja de manera considerable perdiendo de un 80-85% de su peso fresco. Aunque el componente arbustivo/herbáceo aporte pequeñas cantidades de biomasa no deja de ser importante ya que ayuda a fijar carbono al suelo y a mantener la humedad del mismo, también lo protege de la escorrentía en época de lluvia (Figura 20).

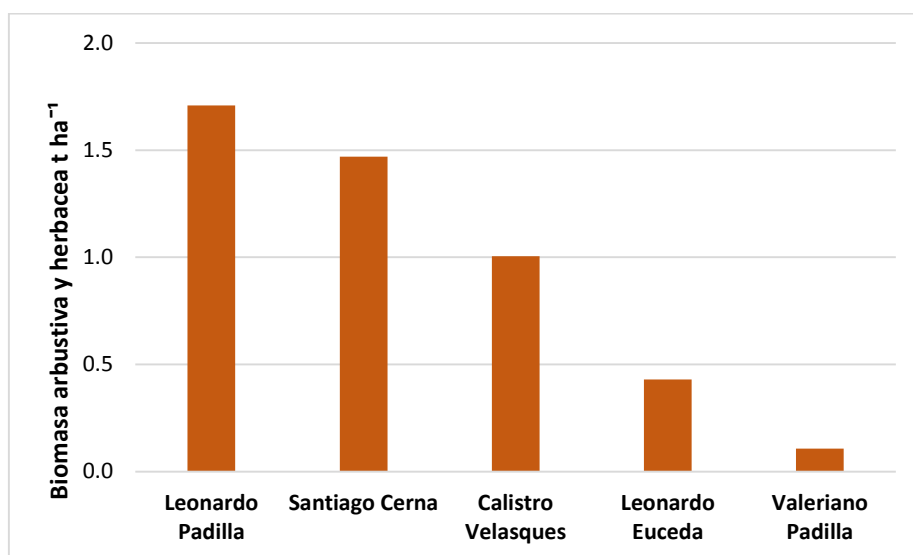


Figura 20. Biomasa arbustiva y herbácea evaluada en los sistemas agroforestales de 3 a 2 años de edad Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel

5.2.3 Biomasa de hojarasca

El componente hojarasca en todos los sectores evaluados tiende a incrementarse en los SAF de mayor edad con 27.01 t ha^{-1} . Pero aunque su aporte de biomasa es bajo, la hojarasca, ramas y restos de podas juegan un papel preponderante, puesto que, se depositan en el suelo y se van descomponiendo, formando la materia orgánica activa que, en función del tipo de suelo, la cantidad de agua y de otros nutrientes se irá convirtiendo en materia orgánica estable, capaz de almacenar el carbono (Figura 21).

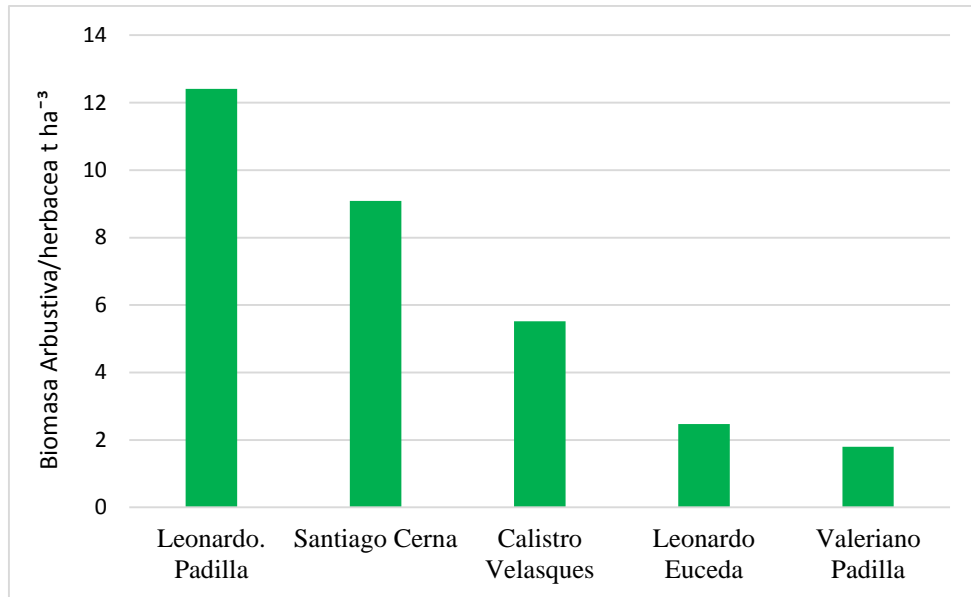


Figura 21. Biomasa de hojarasca en los sistemas agroforestales evaluados con cuatro y tres años de edad Río Tinto, Río Blanco

5.2.4 Biomasa arbórea, arbustiva y hojarasca

La biomasa arbórea, arbustiva y hojarasca acumulada en los sistemas agroforestales de los tres sitios evaluados el sector que presentó mayor cantidad de biomasa arbórea es Río Blanco 80 t ha^{-1} en comparación a Río Tinto y Cuyamel. La Biomasa de hojarasca fue la que menos se acumuló en los sitios. Al respecto, Callo *et al.* (2002) y Norberto (2006) afirman que los ecosistemas que almacenan más carbono en la biomasa vegetal son los de mayor edad, puesto que suelen preservar individuos mayores y consecuentemente más robustos y produciendo mayor acumulación de biomasa (Figura 22).

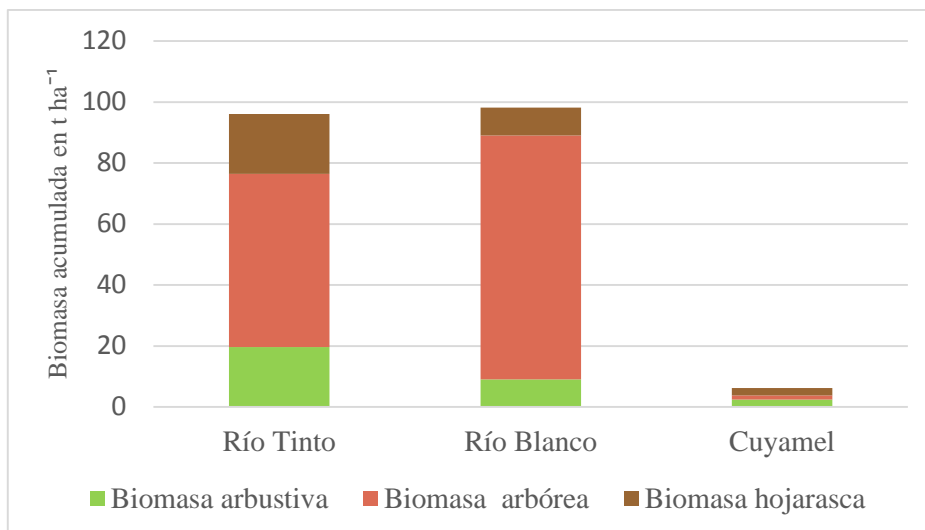


Figura 22. Biomasa arbustiva, arbórea y hojarasca acumulada en Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel

5.2.5 Biomasa vegetal total

Al hacer la sumatoria de los componentes mencionados anteriormente (biomasa arbórea, herbácea/arbustiva y biomasa de hojarasca) se obtiene la biomasa vegetal total (BVT) indicando la biomasa total por sistema y por zona. De los tres sitios evaluados el que presenta la mayor cantidad de biomasa total es Río Tinto con una cantidad de 108.82 t ha⁻¹, seguido de Río Blanco con 44.87 t ha⁻¹ y el que presenta la menor cantidad de biomasa total es Cuyamel con 1.32 t ha⁻¹ (Figura 23).

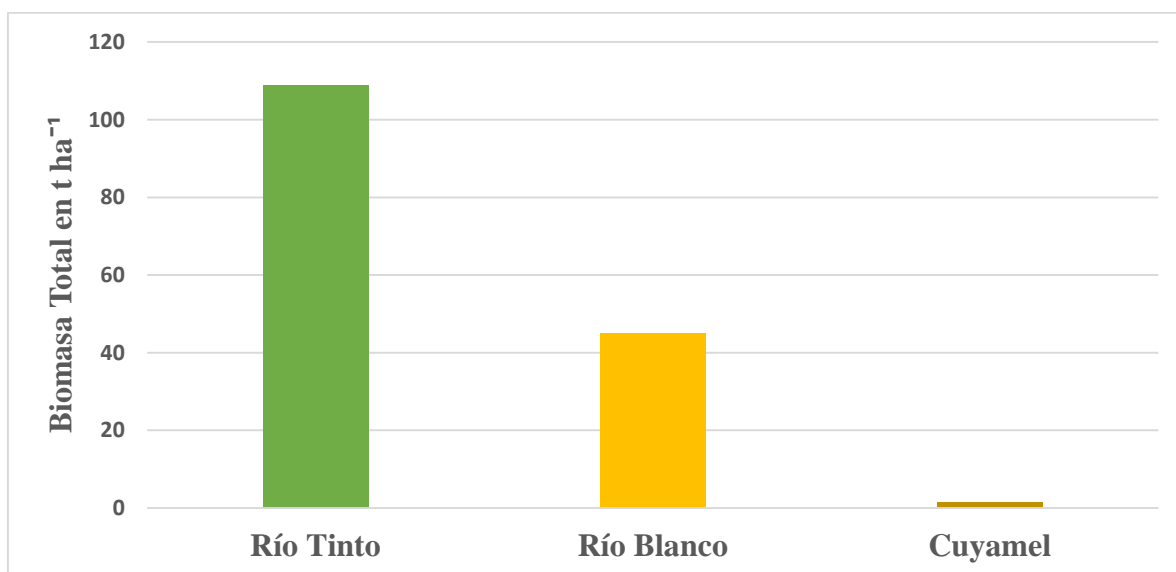


Figura 23. Biomasa vegetal total acumulada en cada sistema agroforestales con edades de cuatro a tres años de Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel

VI. CONCLUSIONES

- a. La acumulación de biomasa herbácea, hojarasca y arbórea es mayor en las zonas de Río Tinto y Río Blanco, mientras que en Cuyamel se observaron los valores más bajos, debido a la edad y el desarrollo de los sistemas agroforestales

- b. El cacao es la especie que reflejó mayor biomasa y carbono acumulado en los sistemas agroforestales estudiados en Río Tinto, Río Blanco y Cuyamel, mientras que los árboles maderables presentaron los valores más bajos

- c. La biomasa arbórea obtuvo mayor acumulación de biomasa y carbono que la presentada por la hojarasca y la herbácea

VII. RECOMENDACIONES

- a. Se le recomienda a APROSACAO dar incentivos y brindar mayor asistencia técnica, orientada a los sistemas agroforestales, el adecuado manejo silvicultural de los árboles maderables y a mejorar la productividad de los suelos

- b. Los productores deben comprometerse a mejorar sus áreas de sistemas agroforestales, plantando más árboles maderables, combinando especies arbóreas, realizando frecuentemente las actividades de mantenimiento de árboles, como podas, y la fertilización necesaria, teniendo en cuenta los requerimientos de fertilización del cultivo

- c. La Universidad Nacional de Agricultura debe dar un seguimiento a los estudios realizados en la temática de sistemas agroforestales, estableciendo líneas de investigación y convenios con los productores e instituciones relacionadas con esta temática

- d. Se recomienda a las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales apoyar y gestionar procesos de incentivos a plantaciones forestales, como los bonos de carbono e incluir a estos productores de Cuyamel, Río Blanco y Río Tinto en las iniciativas, para lograr un mayor establecimiento de arboles maderables

V. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, M; Etchevers, D; Monreal, C; Quednow, K; Hidalgo, C. 2001. Un método para la medición del carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Aguilar Medina, JD. 2010. Determinación del carbono acumulado y volumen de la biomasa arbórea en sistemas agroforestales y silvopastoriles en Cuyamel, Olancho, Honduras. Tesis Lic. RR.NN. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Honduras, C.A. 67 p.

Alegre, J; Cassel, K. 1996. Dynamics of soil physical properties under alternative systems to slash-and-burn. *Agric. Ecosyst. Env.* 58: 39-48.

Arce, N; Ortiz, E; Villalobos, M; Cordero, S. 2006. Existencias de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano de fincas indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica. <http://www.worldcocoafoundation.org/scientificresearch/researchlibrary/documents/Arce2008.pdf>.

Alegre, J; Ricse, A; Arévalo, L; Barbarán, J; Palm, C. 2000. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo. 12: 8-9.

Arévalo, L; Alegre, J; Palm, CH. 2003. Manual de las Reservas Totales de Carbono en los Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en Perú. Publicación de STC - CGIAR Ministerio de agricultura. Pucallpa, Perú. 24p.

Brown, S. 1996. Present and potential roles of forests in the global climate change debate. *Unasylva* 185: 3-10.

Brown, P; Cabarle, B; Livernash, R. 1997. Carbon counts: Estimating climate change mitigation in forestry projects. Estados Unidos, World Resources Institute. 25 p.

Ciesla, W. 1995. Climate change, forest and forest management: An overview. FAO Forestry. U.S.A. 217 p.

Conchai, Y; Alegre, C; Pocomucha, V. 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.

COHECO (Consultoría Hondureña en Ecodesarrollo, S. de R.L.). 2000. Prediagnóstico socioeconómico Parque Nacional Patuca y Reserva de Biosfera Tawahka Asagni – Honduras. PROBAP. Tegucigalpa. MDC, Honduras. 126p.

Gayoso, J; Guerra, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. Valvidia, Chile. 26(2): 33-38.

Guerra, J.; Scheler, B.; Guayoso, J. 2001. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial (en línea). Consultado el 28 de Octubre del 2015. Disponible en: <http://www.fiagro.org.sv/systemFiles/manincar.pdf>.

Manso, P. 1998. Cambio climático y fijación de carbono. La experiencia de Costa Rica. Ciencias Ambientales (Costa Rica) 15: 28-35.

Margaleff, R. 1997. Ecología. Planeta. Madrid, España. 229 p.

Medrano, H; Flexas, J. 2000. Fijación del dióxido de carbono y biosíntesis de fotoasimilados. In: Azcón-Bieto, J y Talón, M. (Coords.). Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill-Interamericana. Barcelona, España. pp. 173-187.

Mendizábal Hernández, J; Márquez, R; Alba Landa, H; Cruz Jiménez; Ramírez García. 2008. Cambio climático y comunidades forestales. Foresta veracruzana. 10(2):49-56.

Moreno, M., 1998. Diagnóstico agro-socioeconómico y ambiental de la subcuenca Cuyamel, Parque Nacional Patuca – Honduras. Tesis inédita. Escuela Nacional de Agricultura (ENA). 106 p.

Proforest, 2011. Vinculos FLEG-REDD. En línea. Consultado el 10 de Octubre 2015. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/euflegt/flegt_redd_bn_2_spanish_web1.pdf.

Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos. 2007. Cuarto Informe de Evaluación. En línea. Consultado el 25 Octubre 2015. Disponible en: <http://www1.ipcc.ch/>.

Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos. 2000. Land use, Land-use Change, and Forestry. Cambridge University, Press, Cambridge, UK.

Rainforest Alliance. 2009. Lineamientos para el diseño de proyectos de carbono en cafetales usando la metodología agroforestal simplificada: ¿por qué comenzar un proyecto de carbono? (en línea). Consultado el 24 de Octubre de 2015. Disponible en: www.rainforest-alliance.org/climate/.../coffee_carbon_guidance_spanish.pdf

Segura, M. 2009. Una experiencia de manejo ambiental en cacao en los territorios indígenas Bribi y Cabecar de Talamanca-Costa Rica: el caso del proyecto Captura de Carbono. Costa Rica. 1 ed. 38p.

Segura, M; Kanninen, M. 2002. Inventarios para estimar Carbono en ecosistemas forestales tropicales. Turrialba: CATIE.

MAG. 1991. Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica: sistemas agroforestales con cacao. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) (en línea). Consultado el 18 de Octubre del 2015. Disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-cacao.pdf.

Vargas, A.; Amescua, M.; Yáñez, S. 2007 La captura de carbono en bosques, una herramienta para la gestión ambiental: Captura de carbono. (En línea). Consultado el 23 de Octubre de 2015. Disponible en: www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/432/captura.html.

ANEXOS

Anexo 1. Medición de variables dasométricas



Medición del diámetro a la base de los árboles de cacao dentro de parcela de muestreo



Medición del diámetro a 1 metro del suelo en árbol de cacao



Medición de bifurcación en árbol de guama

Anexo 2. Obtención de muestras para biomasa herbácea y hojarasca



Medición de la parcela para recolectar muestra de biomasa herbácea y hojarasca



Recolección de la biomasa herbácea para luego ser pesada y obtener el peso fresco



Parcela después de haber recolectado la muestra de hierba y de hojarasca