

Secuestro de Carbono en Biomasa Aérea en Sistemas Agroforestales de Cacao y Café ubicados en la Reserva de Biosfera Sumaco

ESTUDIO TÉCNICO

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



ESTUDIO TÉCNICO



**Secuestro de Carbono en Biomasa Aérea en
Sistemas Agroforestales de Cacao y Café ubicados
en la Reserva de Biosfera Sumaco**

Estudio Técnico:

Secuestro de Carbono en Biomasa Aérea en Sistemas Agroforestales de Cacao y Café ubicados en la Reserva de Biosfera Sumaco

Responsables y Créditos

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Sra. Barbara Hess, Directora Residente

Programa GESOREN

Dr. Christian Fedlmeier, Responsable Programa, GESOREN - GIZ Ecuador
Dr. Alonso Moreno, Asesor Principal Programa, GESOREN - GIZ Ecuador

Responsables del Estudio

Luis Ordoñez, Consultor GIZ
Carla Gavilánez, GIZ
Aracely Salazar Antón, GIZ

Revisores Técnicos

Dr. Alonso Moreno, GIZ
Andres Hubenthal, GIZ
Nikolay Aguirre, Universidad Nacional de Loja

Equipo de Apoyo

Julian Andersen, GIZ
Pueblo Kichwa de Rukullacta - PKR
Asociación KALLARI

© GIZ, 2011

500 copias

Fotos: GIZ

Diseño gráfico e impresión:

Noción Imprenta
Quito-Ecuador
Tel. : (593 2) 3342205

Impreso en Ecuador

Diciembre 2011

* Desde el 1 de enero de 2011, la GIZ concentra la competencia y la larga experiencia del Deutscher Entwicklungsdienst (DED) GmbH (Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica), de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH (Cooperación Técnica Alemana) y de InWEnt – Internationale Weiterbildung und Entwicklung gGmbH (Capacitación y Desarrollo Internacional).

Este documento fue elaborado y financiado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por encargo del Ministerio de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) del Gobierno Federal de Alemania.

CONTENIDO:

Presentación	4
Capítulo 1	
Antecedentes y características de los actores y sistemas del estudio	7
Capítulo 2	
Marco teórico y ubicación del área de estudio	13
Capítulo 3	
Metodología	16
Capítulo 4	
Resultados del Estudio	27
Capítulo 5	
Resumen de la investigación	37
Lecciones aprendidas	40
Bibliografía	42



PRESENTACIÓN

En Ecuador, el Programa Gestión Sostenible de Recursos Naturales (GESOREN) de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH tiene dentro de sus mandatos trabajar por los efectos negativos del cambio climático a nivel de las zonas de intervención (dimensión local) y a nivel del Ministerio del Ambiente (dimensión nacional). Este mandato está ligado en una visión integral, donde también se tratan los temas de mejoramiento de los ingresos de las familias rurales, comercialización de productos a nivel nacional e internacional, disminución de la inequidad de género y formas de ligar mejor las actividades de producción y conservación para preservar la generación de los servicios de los ecosistemas existentes en las zonas.

El Programa ha fomentado las cadenas de valor de cacao fino de aroma y de café con pequeños productores enfocados en una producción sostenible, mejoramiento de la calidad del producto y acceso al mercado. En esta línea, y en vista que estos cultivos se manejan de manera agroforestal, se decidió analizar los potenciales de estos sistemas a la mitigación del cambio climático.

La hipótesis de trabajo se basó en que: “Las chakras (sistemas agroforestales de alta biodiversidad) podrían tener una contribución significativa a la mitigación del cambio climático, mediante la captura de carbono en cafetales y cacaotales, lo cual contribuiría a mejorar las estrategias de mercadeo y por ende el ingreso”. Con base en esta aseveración, se desarrolló esta investigación, la cual fue acordada con la Asociación Kallari y el Pueblo Kichwa de Rukullakta (PKR), organizaciones indígenas asentadas en la Reserva de Biosfera Sumaco (RBS), Provincia del Napo en la Amazonía Ecuatoriana.

Los resultados demuestran que el cultivo de cacao y café en sistemas agroforestales tienen un aporte a la fijación del carbono; los datos indican que estos sistemas son complementarios al secuestro que se logra en los bosques tropicales, por ende, es necesario el desarrollo de políticas de estado que incentiven el manejo y el no cambio de uso de suelo.

La metodología generada y el desarrollo de capacidades locales, es sin duda una de las grandes ganancias; existe complejidad para encontrar herramientas aplicables a la realidad nacional y desconocimiento sobre cómo aplicarlas. Se espera lograr un mayor entendimiento y generar discusión sobre la contribución de los sistemas agroforestales al cambio climático.

A nivel de mercado, los datos son de importancia para las empresas chocolateras y cafeteras que desean disminuir su huella de carbono o aquellas empresas que desean obtener una certificación de carbono cero. En esta línea, invitamos a los lectores y a los decisores políticos en este campo a contactarse con el Programa y profundizar la discusión y el alcance de los datos obtenidos.

Finalmente, comentar que la sociedad civil mundial observa atónita, y hasta ahora sin un camino claro de participación, la evolución de la discusión sobre los mecanismos a utilizar para la mitigación y adaptación al cambio climático. Hay estudios y propuestas, pero no hay decisiones claras. Mientras tanto el calentamiento global y el incremento de los daños por desastres naturales se incrementan.

La Dirección del Programa agradece a los dirigentes, técnicos y promotores de la Asociación Kallari y el Pueblo Kichwa de Rukullakta, por la apertura y acceso a la información, facilidades brindadas para ingresar a las zonas y acompañamiento para levantar los datos en campo. En especial en la Asociación Kallari se agradece a: Israel Jiménez, Ruth Cayapa, Elías Alvarado, Carlos Pozo y Diego Grefa y en el Pueblo Kichwa de Rukullakta a Ramiro Chimbo, Nelson Chimbo, Nelson Cerda y Mauro Chimbo.



Dr. Alonso Moreno Díaz
Asesor Principal del GESOREN
GIZ Ecuador





CAPÍTULO 1

Antecedentes y características de los actores y sistemas del estudio

1.1 Antecedentes

El objetivo del programa Gestión Sostenible de Recursos Naturales (GESOREN) es: “La población rural pobre que recibe apoyo en las regiones de intervención del programa, aplica estrategias y métodos para el manejo sostenible de los recursos naturales e incrementa sus ingresos”.

GESOREN tiene, además de la cooperación con el Ministerio del Ambiente (MAE), alianzas con otras organizaciones como el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), el Ministerio de Inclusión Social (MIES), el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), los

Gobiernos Provinciales de Napo, Orellana, Esmeraldas, Tungurahua, Zamora Chinchipe y Morona Santiago. Su grupo destinatario está constituido por las comunidades indígenas y los pequeños productores de las zonas de intervención, además de los técnicos y multiplicadores de las organizaciones de base y de las organizaciones socias. El programa tiene cuatro componentes: 1) asesoría institucional y estratégica para la conservación de los recursos naturales; 2) puesta en valor de los recursos naturales y los servicios eco sistémicos; 3) gobernanza local en el ámbito de los recursos naturales y en los eco corredores; y 4) REDD+¹ y Cambio Climático.

El componente 2 trabaja desde el inicio del programa en el fomento de cadenas de valor; centrandose especialmente en apoyar a pequeños productores de cacao fino de aroma y café a nivel nacional en la implementación de medidas para mejorar ingresos a través de producción sostenible, acceso a mercados con productos de calidad, certificación, análisis de ecosistemas y sus servicios, financiamiento ambiental y cuidado de la biodiversidad.

Paralelamente, el componente 4 tiene el mandato de trabajar los temas REDD+ y Adaptación que son parte de la agenda del Cambio Climático. La asesoría del componente 4 está dirigida a que el país pueda disponer de elementos estratégicos para la implementación de REDD+ y la adaptación.

En Ecuador la producción del cacao fino de aroma y café está vinculada a especies maderables y frutales que aportan con sombra necesaria para el sistema agroforestal.

1 Reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal en los países en desarrollo; y función de la conservación, la gestión sostenible de los bosques y el aumento de las reservas forestales de carbono en los países en desarrollo





Este tipo de cultivos contribuyen considerablemente a los ingresos de los agricultores, ayudan a la conservación de la biodiversidad, a la protección de las cuencas y fuentes de agua y a la mitigación del cambio climático a través del almacenamiento de carbono en su biomasa.

GESOREN desarrolló el presente estudio bajo la hipótesis que la implementación de los sistemas agroforestales de cacao fino de aroma y café permite el secuestro de cantidades significativas de carbono. Para los pequeños productores y/o las comunidades indígenas que implementen o protejan los sistemas agroforestales los volúmenes de carbono indicados pueden representar sus aportes a la protección del clima y eventualmente traducirse en ingresos.

1.2 Principales Actores del Estudio

1.2.1 Asociación Agro Artesanal de Bienes Agrícolas, Pecuarios y Piscícolas de Napo (Kallari)

La Asociación Agro Artesanal de Bienes Agrícolas, Pecuarios y Piscícolas de Napo (Kallari) es una organización al servicio de pequeños productores de cacao que integra a más de 2.000 familias indígenas Kichwas de 120 comunidades asentadas en el área de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera Sumaco. Su objetivo principal es apoyar a mejorar ingresos para las familias Kichwas y de este modo satisfacer sus necesidades básicas sin la tala de árboles del bosque o la venta de sus tierras.

GESOREN trabaja en el fomento de la cadena de valor de cacao fino de aroma con Kallari desde el año 2004 y contribuye a desarrollar con los pequeños agricultores y las comunidades indígenas modelos de producción sostenible. El cacao de Kallari se maneja en sistemas agrofo-

restales diversos denominados “Chakra” los cuales tienen árboles maderables, frutas exóticas, plantas medicinales de uso ancestral, especies comestibles, especies que se utilizan para la confección de artesanías, ornamentales entre otras. Los pequeños productores asociados a Kallari poseen entre 0,5 y 2 hectáreas con cultivo de cacao fino de aroma.

1.2.2 Pueblo Kichwa de Rukullacta

El Pueblo Kichwa de Rukullacta (PKR) es una organización de carácter social y privada; cuenta con una extensión territorial global de 41.888,55 hectáreas, conformada por 17 comunidades, con una población de alrededor de 5.000 personas y 2.261 socios registrados entre mujeres y hombres adultos y jóvenes.

Las comunidades que conforman el Pueblo Kichwa de Rukullacta reconocen la importancia de los recursos naturales que se encuentran en su territorio, como la base para su desarrollo económico y social. Los recursos naturales constituyen su capital natural y la base de la generación de bienes y servicios, siempre y cuando se realice en forma sostenible. GIZ trabaja en el fomento de la cadena de valor de café y cacao con el PKR desde el año 2005; los cultivos son manejados mediante tecnologías ambientalmente eficaces y complementarias al conocimiento local. En las parcelas del PKR se puede encontrar como productos principales, a más del café, el cacao nacional y la naranjilla, los productos de la chakra para consumo familiar, en cantidades mucho menores como maíz, chonta, guineo, plátano, yuca. Además del mejoramiento de la producción y productividad se buscan mejoras continuas en el acceso a los mercados, utilizando como estrategia la certificación y el establecimiento de relaciones comerciales estables.

1.3 Características e importancia de los Sistemas Agroforestales (SAF) estudiados



Los sistemas agroforestales constituyen asociaciones diversas de árboles, arbustos, cultivos agrícolas, pastos y animales. Se fundamenta en principios y formas de cultivar la tierra basada en mecanismos variables y flexibles en concordancia con objetivos y planificaciones propuestas, permitiendo al agricultor diversificar la producción en sus fincas o terrenos, obteniendo en forma asociativa madera, leña, frutos, plantas medicinales, forrajes y otros productos agrícolas (Ramírez, 2005).

La importancia de la agroforestería radica en la provisión de ingresos y alimento a los propietarios; y en la conservación de la diversidad biológica dentro de los paisajes

deforestados y fragmentados, a través del suministro de hábitats para las especies de animales y plantas, manteniendo la conexión del paisaje, haciendo las condiciones de vida del paisaje menos duras para los habitantes del bosque, disminuyendo la presión hacia los remanentes de bosque y aportando zonas de amortiguamiento hacia las zonas protegidas (Palomeque, 2009)

Los sistemas agroforestales en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Sumaco están conformados por cacao, cultivos de ciclo corto, café, plantas medicinales, además de árboles maderables y frutales que cumplen con la provisión de sombra. Los sistemas agroforestales pueden almacenar cantidades importantes de carbono, por ejemplo existen evidencias que almacenan entre 12 y 228 toneladas de carbono por hectárea (Winjun et al. 1992, Schroeder 1994, Dixon 1995).

La implementación de nuevos sistemas agroforestales en tierras con contenidos bajos en carbono y/o la conservación de coberturas ya existentes, generan efectos positivos en la mitigación del cambio climático, a través de la fijación CO₂ de la atmósfera en la biomasa de los sistemas agroforestales.

La implementación de estos sistemas también puede ser una medida de adaptación al cambio climático, en especial cuando reducen la vulnerabilidad de las poblaciones a las inundaciones, sequías y otros fenómenos generados. Adicionalmente, los SAF brindan servicios ambientales como el mantenimiento de la biodiversidad, la regulación del ciclo de agua, el control de la erosión y belleza escénica. Un estudio desarrollado por la Cooperación Holandesa de Desarrollo – SNV en el 2006 sintetiza los principales servicios ambientales que brinda el café bajo

sombra y que pueden ser valorados y compensados (Ver cuadro 1).

Cuadro 1:
Servicios Ambientales de los Ecosistemas Cafetaleros

Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimiento de agua • Regulación de aguas superficiales • Recarga de acuíferos subterráneos • Mantenimiento de humedad ambiental • Prevención y mitigación de efectos causados por falta o exceso de agua (cambio climático, vulnerabilidad climática, desertificación)
Biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> • Conservación de genes/especies /ecosistemas • Conservación de nichos y refugio de especies • Reducción de la fragmentación de hábitats • Fuentes semilleras • Conectividad • Manejo de plagas
Captura de Carbono	<ul style="list-style-type: none"> • Mitigación del cambio climático
Conservación de suelos	<ul style="list-style-type: none"> • Control de la erosión y retención de sedimentos • Conservación de la fertilidad de los suelos por biomasa
Belleza paisajística	<ul style="list-style-type: none"> • Recreación • Ecoturismo - “Agroturismo” en fincas sostenibles

Fuente: Bastidas (2006)

Para las organizaciones Kichwas la chakra, un modelo de sistema agroforestal, es un medio de gran biodiversidad en el que conviven el cacao, el café, otros cultivos como la yuca, el plátano, papa china, arroz, maní y fréjol. El manejo de este sistema de producción es manual, sin la

utilización de agroquímicos, con pocas herramientas que no ocasionan efectos negativos en el suelo, ecosistemas aledaños y fauna. En la chakra se mantiene un equilibrio en aspectos relacionados a producción, conservación y conocimiento ancestral.

“La sabiduría ancestral y el conocimiento adquirido han determinado la forma de vivir bajo un concepto de conservación de los recursos naturales y protección de la biodiversidad, buscando alternativas diferentes a los impactos negativos que ocasiona el monocultivo.”²



Los productos que genera la chakra se utilizan para alimentar a la familia, dar educación, solventar gastos de salud. La chakra es el sustento de la familia.

De este sistema se obtienen también materiales para la elaboración de artesanía, plantas y medicinas utilizadas en rituales de siembra y en el shamanismo.

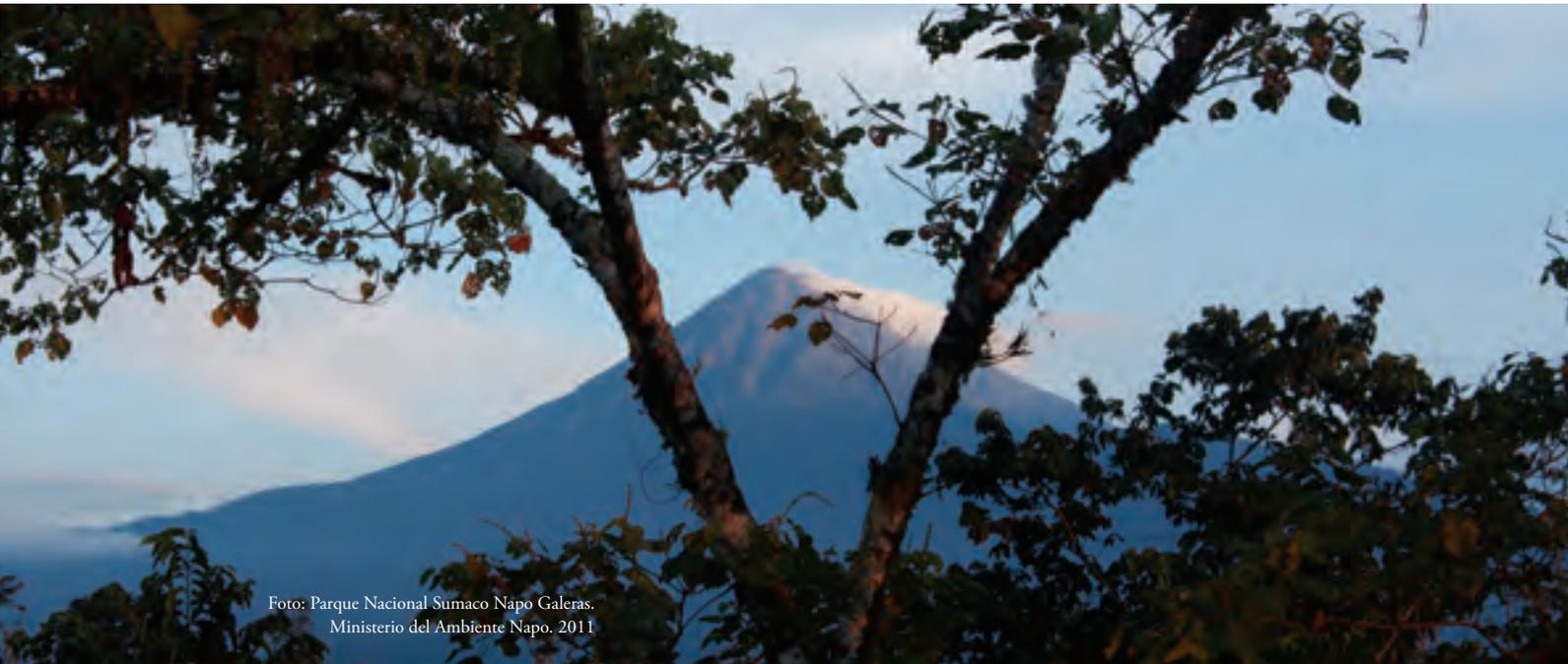


Foto: Parque Nacional Sumaco Napo Galeras.
Ministerio del Ambiente Napo, 2011

CAPÍTULO 2

Marco teórico y ubicación del área de estudio

2.1 Marco Teórico

El presente estudio se enfoca en proporcionar insumos para entender el potencial que pudieran tener los sistemas agroforestales de cacao y café en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Sumaco para recibir incentivos por conservación o para el mercado de carbono. Desde esa perspectiva se analizaron dos parámetros: i) la elegibilidad de las tierras bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y ii) los respectivos volúmenes de carbono almacenado.

El MDL es un instrumento del Protocolo de Kyoto (PK), por medio del cual los países en desarrollo pueden certificar la reducción de emisiones. Cabe indicar que hay una serie de reglas y modalidades que norman el registro de un proyecto bajo el MDL. Una de esas modalidades indica que para el sector forestal sólo son elegibles los proyectos de reforestación y forestación.

Para que un proyecto de reforestación o forestación sea elegible bajo el MDL las tierras en las que se implemente la actividad deberán haber estado desde antes de 1990 “sin bosque” y la actividad que se vaya a implementar deberá generar un “bosque”. Para poder ser anfitriones de proyectos de reforestación y forestación bajo el MDL los países deberán adoptar una definición específica de bosque que sólo tiene validez para los fines del MDL. Así, los países deberán definir valores para los siguientes parámetros:

- Cobertura mínima de copas: Entre 10% al 30%
- Área mínima de bosque: Entre 0,5 a 1 hectárea
- Altura mínima de los árboles en su madurez in situ: Entre 2 a 5 metros

El Ministerio del Ambiente, en su calidad de Autoridad Nacional designada para el MDL, decidió en su momento, adoptar una definición de bosque con los valores más altos de los rangos indicados. Así, un bosque para los fines del MDL forestal en Ecuador tiene una superficie mínima de una hectárea, dentro de la cual los árboles en su madurez in situ alcanzan una altura mínima de 5 metros y la cobertura es por lo menos el 30% (Acuerdo Ministerial 41, Registro oficial 401 del 18 de agosto del 2004).

Este tipo de definiciones, está orientado por las discusiones sobre cambio climático, ya que permite clasificar diferentes volúmenes de carbono almacenado. Así, un “no-bosque” es una formación con considerablemente

menos carbono acumulado que un “bosque”. Sin embargo, las definiciones son siempre discretivas. Los sistemas agroforestales están en el límite de estas definiciones, por lo cual un análisis más detallado es de interés.

Complementario a lo anterior, cabe indicar que los contenidos de carbono de los sistemas agroforestales aquí analizados también ayudan a determinar potenciales para el mercado de carbono. Es necesario tener en cuenta que la mera existencia de carbono no representa un valor en sí. El valor se agrega al determinar los beneficios para el clima por medio de una comparación del volumen de carbono almacenado “antes” y “después” de cualquier intervención.

En este sentido, la determinación de curvas de crecimiento del cacao y café describen el potencial que tienen esos cultivos, asociados con árboles, para secuestrar carbono a lo largo del tiempo y ayudan, así, a entender cómo la implementación de estos sistemas puede generar beneficios en relación al cambio climático. Determinar los contenidos de carbono de estos sistemas, indica la potencialidad de este tipo de uso de suelo frente a otros con bajos contenidos de carbono, por ejemplo pastizales. La evaluación del potencial debería verse complementado con un análisis temporal, lo cual significa que hay que determinar el tiempo que es requerido para alcanzar ciertos volúmenes de carbono almacenado.

Adicional a la perspectiva de incrementar las reservas de carbono, se debe considerar la conservación de los stocks existentes, principalmente de las tierras agroforestales bajo amenaza de un cambio de uso de suelo.

2.2 Ubicación del área de estudio

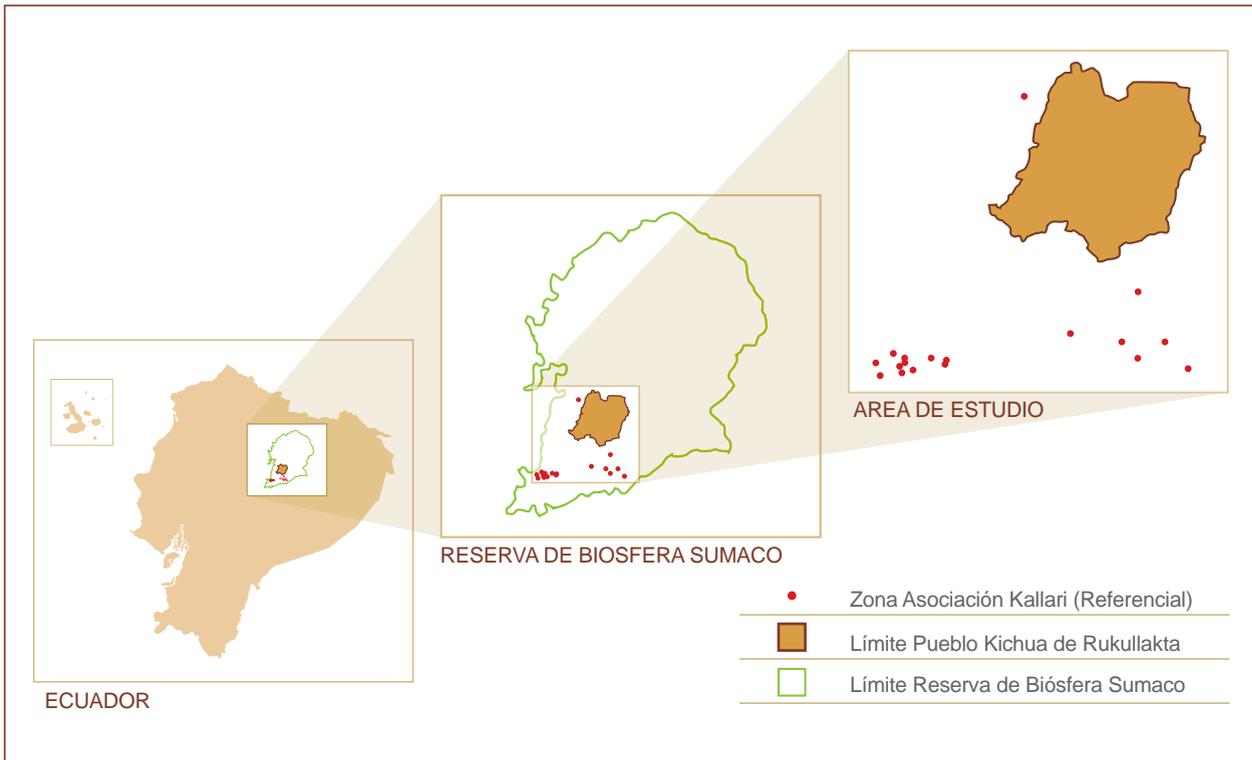
La zona de estudio está ubicada en el bosque húmedo de la región amazónica del Ecuador, en las estribaciones de los Andes, en la cuenca hidrográfica del Río Napo, Provincia de Napo, en los cantones Archidona y Tena, en los pueblos Kichwa perteneciente a la Asociación Kallari y al Pueblo Kichwa de Rukullakta (ver Figura 1).

El territorio de la Asociación Kallari está situado dentro de la Provincia del Napo en las parroquias: Ahuano, Carlos Julio Arosemena Tola, Pano, Puerto Misahualli, Puerto Napo, San Pablo de Ushpayacu, Talag y Tena (Hammel y Zawalski, 2008).

Mientras que el territorio del Pueblo Kichwa de Rukullakta se encuentra parcialmente en las parroquias de Archidona, Cotundo, San Pablo de Ushpayaku, Puerto Nisahualli y Ahuano (Ortiz, et al. 2008a).

Figura 1:

Ubicación del área de estudio





CAPÍTULO 3

Metodología

En este capítulo se presenta la metodología desarrollada en el estudio de cuantificación de carbono en los sistemas agroforestales con cacao fino de aroma y café pertenecientes a la Asociación Kallari y el Pueblo Kichwa de Rukullakta, ubicadas en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Sumaco. En la metodología se analiza la potencialidad de implementar proyectos MDL en los sistemas agroforestales con café y cacao; el desarrollo de modelos alométricos³ para las especies de cacao fino de aroma (*Theobroma cacao*), café arábica (*Coffea arabica*) y café robusta (*Coffea robusta*); y

- 3 Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el volumen, biomasa y el carbono de los árboles en función de variables de fácil medición, como el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y/o la altura total de los árboles.

la cuantificación de carbono almacenado en las especies mencionadas en función de los modelos alométricos generados.

En el caso de las especies maderables y frutales que son parte de los sistemas agroforestales en estudio no fue posible generar modelos alométricos debido a que su permanencia no tiene relación con la edad de las plantas de cacao y café. Sin embargo, con la finalidad de proporcionar un valor referencial del almacenamiento total y actual del carbono almacenado en los sistemas agroforestales estudiados, se cuantificó el carbono fijado en las especies maderables y frutales mediante ecuaciones referenciales encontradas en la literatura. Estos valores de carbono referenciales, más los valores determinados con los modelos alométricos generados nos permitió determinar la potencialidad de captura de carbono de cada sistema estudiado.

3.1 Potencialidad de implementar proyectos MDL

Siguiendo los criterios de elegibilidad de áreas para la implementación de proyectos MDL, se desarrolló un análisis preliminar de los sistemas agroforestales de café y cacao. Este análisis se realizó ubicando puntos GPS (referenciales) de las fincas en una imagen satelital Landsat del año 1986, y evaluando la elegibilidad de los puntos de referencia a través de la aplicación de los criterios definidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y asumidos por la Autoridad Nacional designada de Ecuador – MAE (enunciados anteriormente en el capítulo 2.1 referente al marco teórico).

La aplicación de estos criterios se analizó sobre la imagen satelital del año 1986 y sobre los actuales sistemas agroforestales con cacao y café seleccionados para el presente estudio. Se definieron las áreas elegibles para la implementación de potenciales proyectos MDL forestales, aquellas

que en el año 1986 no eran bosque y que actualmente se siguen conservando como no bosque. Se hicieron también observaciones directas en el campo.

3.2 Generación de modelos alométricos para cacao fino de aroma, café robusta y arábica

Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el volumen, biomasa y el carbono de los árboles en función de variables de fácil medición, como el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y/o la altura total de los árboles (Loetsch et al. 1973, Caillez 1980, Husch et al. 1982, Parresol 1999). En este sentido para los proyectos de cuantificación de carbono en bosques, plantaciones o sistemas agroforestales es fundamental la generación de modelos alométricos locales para la adecuada estimación del carbono almacenado en estos ecosistemas.

Los modelos alométricos para los sistemas agroforestales de cacao y café pertenecientes a la Asociación Kallari y al Pueblo Kichwa de Rukullakta se generaron con el siguiente procedimiento:

a) Selección de variables para generar los modelos alométricos

La selección de variables para la generación de los modelos alométricos se realizó para cada especie en estudio y de acuerdo a su disponibilidad de información tanto en la memoria de los propietarios así como en los registros de la Asociación Kallari y el Pueblo Kichwa de Rukullakta. Las variables seleccionadas fueron las siguientes:

- Edad de los árboles de cacao (2, 4, 8 y 12 años) seleccionados en fincas agroforestales de la Asociación Kallari
- Edad de los árboles de café arábica (2, 4 y 5 años)

seleccionados en diferentes fincas agroforestales del Pueblo Kichwa de Rukullakta

- Edad de los árboles de café robusta (2, 8 y 20 años) seleccionados en diferentes fincas agroforestales del Pueblo Kichwa de Rukullakta
- Diámetro basal de cada árbol a una altura del suelo de 0,30 m.
- Peso verde del fuste
- Peso verde de ramas gruesas
- Peso verde de ramas finas más hojas

La selección de la edad de los árboles de cada una de las especies utilizadas para generar los modelos alométricos estuvo en función de la información disponible, confiable y comparable. Debido a que no existe información precisa de la edad de cada uno de los sistemas agroforestales en la zona de estudio, no se pudo seleccionar rangos de edades sistemáticas.

b) Tamaño de la muestra para la generación de los modelos alométricos

El número de muestras requerido para la generación de los modelos alométricos de cada especie dependió de la varianza encontrada en la correlación del diámetro a 0,30 m. del suelo y la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea y subterránea de cada árbol. El parámetro que permitió definir el nivel de varianza y a su vez el número de muestras requerido por modelo alométrico fue el valor de correlación (R^2)⁴, donde más cercano a uno es el valor de (R^2), mayor es el nivel de confianza.

⁴ R^2 : Representa la correlación que existe entre una variable independiente y una dependiente. Esta correlación puede ser lineal, logarítmica, exponencial, entre otras; cuyo valor más alto nos indica el nivel de confianza o nivel de correlación entre las variables analizadas, siendo el valor de uno el indicador máximo de que existe una correlación del 100 % entre las variables evaluadas

En el caso del presente estudio, el nivel de confianza de la muestra se fijó como aceptable con un valor de $R^2 \geq 0,8$, con base a la experiencia en otros estudios como por ejemplo el de “Almacenamiento y Tasas de Fijación de Biomasa y Carbono en Sistemas Agroforestales de Cacao (*Theobroma cacao*) y Laurel (*Cordia alliodora*) en Changuinola Panama” (Ortiz et al. 2008 b). Bajo este parámetro el tamaño de la muestra para cacao se fijó en 23 muestras, café arábica en 10 y café robusta en 12 muestras.

c) Generación de los modelos alométricos

Los modelos alométricos para las especies en estudio fueron generados extrayendo un árbol al azar de cada una de las fincas y básicamente siguiendo el proceso que se detalla a continuación:

- Selecciones aleatorias de 23 fincas o sistemas agroforestales con cacao agrupadas en las siguientes edades: 6 fincas con edad del cacao de 2 años, 7 con edad de 4 años, 5 con edad de 8 años y 5 con edad de 12 años.
- Selección aleatoria de 10 fincas o sistemas agroforestales con café arábica agrupada en las siguientes edades: 3 fincas con edad del café arábica de 2 años, 3 con edad de 4 años y 4 con edad de 5 años.
- Selección aleatoria de 12 fincas o sistemas agroforestales con café robusta agrupada en las siguientes edades: 3 fincas con edad del café robusta de 2 años, 6 con edad de 8 años y 3 con edad de 20 años.
- Medición del diámetro del fuste de cada individuo a 0,30 m del suelo (en el caso de árboles bifurcados, a cada bifurcación se consideró como un individuo independiente).
- Cortar el árbol seleccionado y separación de la masa vegetal en compartimentos: Fuste, ramas gruesas, y ramas finas más hojas.
- Pesaje de la masa vegetal de cada uno de los compartimentos.

- Toma de una muestra para laboratorio de cada uno de los compartimentos separados.
- Pesaje de cada una de las muestras tomadas de cada compartimento, y registro del peso verde de las mismas.
- Determinación del peso seco (contenido de humedad) de cada una de las muestras. Para este caso se determinó el contenido de humedad en el laboratorio de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad de Agro (AGROCALIDAD) a través del Método Analítico Gravimétrico PEE/L-BF-03⁵.
- Determinación del contenido de carbono en cada uno de los compartimentos a través de la relación de que el 50 % de la biomasa seca es carbono (IPCC, 2004).
- Determinación del carbono total almacenado en cada árbol seleccionado a través de la suma del carbono cuantificado en cada compartimento y establecimiento de la mejor correlación entre el diámetro del fuste a 0,30 m del suelo y el carbono almacenado arriba del suelo.
- Selección de la mejor correlación entre el diámetro del fuste a 0,30 m del suelo y el contenido total de carbono arriba del suelo de cada árbol con base al valor de “R²” y a la ubicación de la línea de tendencia. En este sentido el mejor modelo alométrico fue el que presentó una correlación con un valor de “R²” superior a 0,8 (conforme ya se mencionó en la sección del tamaño de la muestra) y cuya línea de tendencia se ubicó representativamente sobre los puntos de muestreo.

5 Método Analítico Gravimétrico PEE/L-BF-03: Es un método analítico que permite determinar el contenido de humedad de una muestra a través de una balanza especializada y luego de determinar la relación entre peso húmedo y peso seco (masa sólida) de la muestra.





**Visualización de los pasos
para generación de modelos
alométricos.**

PASO 1:

Selección aleatoria de los sistemas agroforestales o fincas donde se seleccionará igualmente al azar un árbol para la generación del modelo alométrico.

PASO 2:

Medición del diámetro del fuste de cada individuo a 0,30 m del suelo.



PASO 3:

Cortar el árbol seleccionado y separación de la masa vegetal en compartimentos: Fuste, ramas gruesas, y ramas finas mas hojas.

PASO 4:

Pesaje de la masa vegetal de cada uno de los compartimentos.

PASO 5:

Toma de una muestra para laboratorio de cada uno de los compartimentos separados, y pesaje de cada una de las muestras.



En el caso de las especies maderables y frutales que proporcionan sombra a las plantas de cacao y café no se generaron modelos alométricos, la cuantificación del carbono almacenado en estas especies se realizó a través de ecuaciones genéricas encontradas en la literatura (Ver ecuaciones utilizadas en el cuadro 5)

3.3 Cuantificación de carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao fino de aroma y café arábica y robusta

Como explicado, la metodología para la cuantificación del carbono se basó en los modelos alométricos generados. El proceso seguido para la cuantificación de carbono en los sistemas agroforestales estudiados fue el siguiente:

a) Estratificación de los sistemas agroforestales en estudio

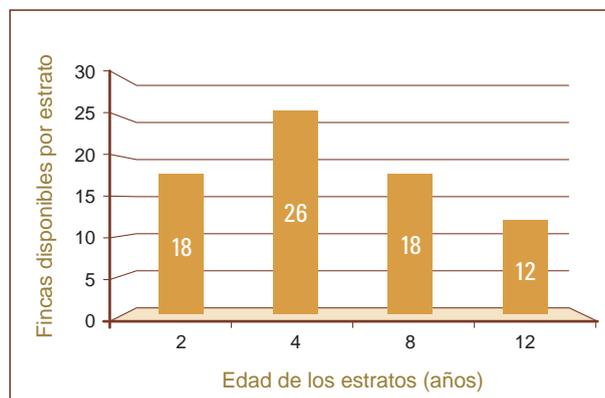
Uno de los primeros pasos en el muestreo de cuantificación de carbono es la estratificación del área de estudio con la finalidad de obtener una muestra representativa en cada una de las unidades homogéneas definidas. Para el caso de los sistemas agroforestales con cacao y café de la Asociación Kallari y el Pueblo Kichwa de Rukullakta se definieron los estratos presentes de acuerdo a 2 criterios principales:

- Tipo Sistema Agroforestal (SAF): Cacao con árboles maderables-frutales, café arábica con árboles maderables-frutales y café robusta con árboles maderables-frutales.
- Edad del sistema agroforestal de cacao y café arábica y robusta a estudiarse.

Con base a los dos lineamientos e información disponible se determinó la cantidad de fincas o sistemas agroforestales que podrían utilizarse en el estudio. Si bien

conocemos que el número de fincas pertenecientes a la Asociación Kallari y al Pueblo Kichwa de Rukullakta es mucho mayor, la muestra para el presente estudio fue reducida debido a la falta de registros precisos de la edad de las plantaciones. En muchos de los casos la información con la que se contó fue la proporcionada informal y verbalmente por los propietarios, los mismos que indican una edad del sistema agroforestal aproximada al año, y no al mes como sería lo ideal. Esto se ha podido evidenciar más en las plantaciones antiguas, ya que en las plantaciones nuevas se están registrando y georeferenciando las diferentes fincas. Con esta aclaración, se debe señalar que la cantidad total de fincas de cacao fino de aroma disponibles para el presente estudio quedó conformada de la siguiente manera:

Figura 2. Total de fincas disponibles para el muestreo por estrato para cacao fino de aroma



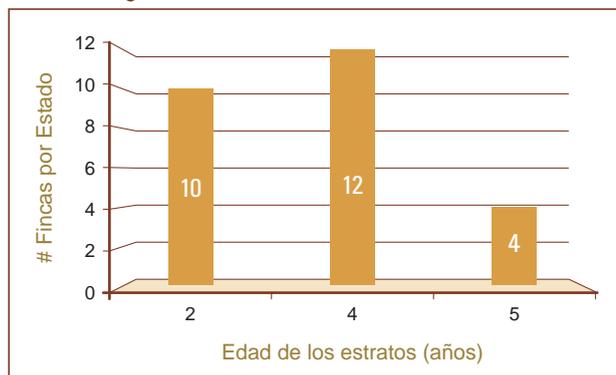
En los sistemas agroforestales de café arábica y robusta, se tuvo la misma situación, fincas con sistemas agroforestales de café que reúnen los criterios de estratificación con información precisa reducida. El total de fincas disponibles para análisis se detalla en la figura 3.

Se debe señalar, que aunque no se pudo incluir todo el universo de fincas en el estudio, este aspecto no influyó en que las fincas seleccionadas (muestra) sean suficientes para determinar el contenido de carbono con el nivel de confianza y error deseado.

Figura 3.

Total de fincas disponibles para el muestreo por estrato para café arábica y robusta

café arábica



café robusta



b) Determinación del tamaño de la muestra para la cuantificación de carbono en cada SAF estudiado

El tamaño de la muestra se determinó para cada uno de los estratos definidos dentro de cada especie en estudio, en función del total de fincas disponibles y el área basal (AB) calculada para cada parcela. El tamaño de la muestra varió en función de la varianza/desviación estándar encontrada entre muestras de un mismo estrato (a mayor varianza mayor número de muestras) para alcanzar un nivel de confianza del 95 % y un error máximo permitido del 20 %, valor tomado de la normativa forestal del Ecuador para inventarios forestales.

La ecuación utilizada para determinar el tamaño de la muestra fue la siguiente:

De acuerdo a los parámetros fijados para determinar el tamaño de la muestra, ésta fue definida para cada sistema agroforestal en estudio, conforme se presenta en los cuadros 2 al 4. En estos cuadros se puede observar que

$$n = \frac{Z^2 \frac{\alpha}{2} \sigma^2 N}{Z^2 \frac{\alpha}{2} \sigma^2 N + e^2 (N-1)}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra
 $Z \frac{\alpha}{2} = 1.96$
 σ^2 = varianza

N = número de fincas disponibles en cada estrato
 e^2 = error de estimación

Cuadro 2.

Tamaño de la muestra para cuantificación de carbono en los sistemas agroforestales de cacao.

ESTRATOS SAF CON CACAO	TOTAL DE FINCAS DISPONIBLES	NUMERO DE MUESTRAS DE CAMPO	PROMEDIO AB (cm ²)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIANZA	NUMERODE PARCELAS ESTIMADAS	ERROR DE MUESTREO (%)
ESTRATO DE 2 AÑOS	18	5	392.39	6.06	36.74	4	5
ESTRATO DE 4 AÑOS	26	3	979.38	12.37	152.91	2	15
ESTRATO DE 8 AÑOS	18	3	2685.57	10.13	102.70	3	10
ESTRATO DE 12 AÑOS	12	4	3714.53	13.72	188.35	3	15

Cuadro 3.

Tamaño de la muestra para cuantificación de carbono en los sistemas agroforestales con café arábica.

ESTRATOS SAF CON CAFÉ ARABIGA	TOTAL DE FINCAS DISPONIBLES	NUMERO DE MUESTRAS DE CAMPO	PROMEDIO AB (cm ²)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIANZA	NUMERODE PARCELAS ESTIMADAS	ERROR DE MUESTREO (%)
ESTRATO DE 2 AÑOS	10	3	154.77	17.18	295.06	2	20
ESTRATO DE 4 AÑOS	12	4	196.04	16.46	270.78	4	15
ESTRATO DE 5 AÑOS	4	3	424.05	15.58	242.83	2	15

Cuadro 4.

Tamaño de la muestra para cuantificación de carbono en los sistemas agroforestales con café robusta

ESTRATOS SAF CON CAFÉ ROBUSTA	TOTAL DE FINCAS DISPONIBLES	NUMERO DE MUESTRAS DE CAMPO	PROMEDIO AB (cm ²)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIANZA	NUMERODE PARCELAS ESTIMADAS	ERROR DE MUESTREO (%)
ESTRATO DE 2 AÑOS	14	2	113.96	13.61	185.28	2	20
ESTRATO DE 8 AÑOS	8	2	1865.48	11.70	136.79	2	15
ESTRATO DE 20 AÑOS	4	3	3111.41	31.94	1020.36	3	20

la variable determinante del tamaño de la muestra es el coeficiente de varianza, encontrándose en las muestras de un mismo estrato de café arábica (cuadro 3) un nivel de varianza más uniforme por tratarse de plantaciones jóvenes, donde los registros de la edad de cada plantación son relativamente más homogéneos.

Mientras que el sistema agroforestal con café robusta presentó una alta variación entre muestras de un mismo estrato debido a que el mismo no presenta un solo patrón de siembra y los registros de la edad de la plantación, sobre todo en las plantaciones antiguas es muy aproximado (cuadro 4).

3.4 Levantamiento de información de campo

El proceso de levantamiento de información en cada estrato fue el siguiente:

- Selección aleatoria, dentro del total de fincas disponibles identificadas para cada estrato, el número de fincas a ser muestreadas.
- Instalación en el centro aproximado de cada finca una parcela de 5 m de radio en los sistemas agroforestales con café arábica, y de 10 m de radio en los sistemas agroforestales con cacao y café robusta. Esta diferencia en el tamaño de la parcela se debió a que en café arábica la densidad de siembra de la especie es alta, calculada en 3665 árboles/ha.
- Geo-referenciación de la parcela de muestreo.
- Medición dentro de la parcela de muestreo el diámetro del fuste a 0,30 m del suelo. En los casos de que un mismo árbol presentaba varios fustes desde la base por su bifurcación (< 1,30 m de altura), se procedió a medir cada fuste como un individuo independiente.
- Instalación de una parcela adicional en fincas con sistemas agroforestales > 1 ha. En los casos donde

no se encontró suficiente número de fincas dentro de un mismo estrato, también se procedió a instalar más de una parcela en una misma finca.

- Medición del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), Altura total (HT) y Altura comercial (Hc) de las especies maderables o frutales incluidas en cada parcela de muestreo. Las especies maderables o frutales presentes en cada sistema agroforestal no corresponden a la misma edad de las plantas de café y cacao, según las versiones de los propietarios, estas especies ya se encontraban antes de la plantación de café y cacao y han sido dejadas para sombra. En este sentido las especies maderables y frutales fueron medidas únicamente con la finalidad de cuantificar los reservorios actuales de carbono en el sistema agroforestal, más no para determinar la curva de carbono del sistema.

3.5 Procesamiento de la información

La información levantada en el campo fue analizada a través de las ecuaciones alométricas generadas. En el caso de las especies maderables y frutales fue procesada a través de ecuaciones alométricas disponibles en la literatura; en algunos casos se encontró ecuaciones específicas para la especie y en otros casos se encontró ecuaciones para un grupo de especies del ecosistema en estudio. En el cuadro 5 se presenta las ecuaciones generadas y consultadas para el procesamiento de la información y la cuantificación de carbono en los ecosistemas agroforestales estudiados.

Cuadro 5.

Ecuaciones alométricas generadas y consultadas en la literatura para la cuantificación del carbono almacenado en los sistemas agroforestales con cacao, café arábica y café robusta.

ECUACIÓN ALOMÉTRICA	VALOR R ²	ESPECIE O ESPECIES	FUENTE BIBLIOGRÁFICA
$B_t = 1.0408e^{0.0736x}$	0.921	Nombre común: Cacao Nombre científico: Theobroma cacao	Generación en el presente estudio
$B_t = 93.424e^{0.208x}$	0.899	Nombre común: Café arábica Nombre científico: Coffea arabica	Generación en el presente estudio
$B_t = 242.6e^{0.1264x}$	0.917	Nombre común: Café robusta Nombre científico: Coffea robusta	Generación en el presente estudio
$B_{\text{Raíces}} = e^{(-1.06+0.88*\ln(B_t))}$	0.84	Determinación biomasa de raíces en función de la biomasa arriba del suelo, independientemente de la especie	IPCC, 2003
$B_t = 10^{(-0.51+2.08*\log(\text{dap}))}$	0.92	Nombre común: Laurel Nombre científico: Cordia alliodora	Andrade et. al., 2008
$B_t = 10^{(-1.51+2.7*\log(\text{dap}))}$	0.89	Ecuación para 49 especies de bosque secundario: Paso, Achotillo, Uvilla, Sangre de drago, Balsamo, Mate, Avio, Cacho, ceibo	Segura et. al. En preparación; en Andrade et. al., 2008
$B_t = 10^{(-1.11+2.64*\log(\text{dap}))}$	0.95	Frutales: Naranja, Chirimoya, Mandarina, Toronja, Aguacate	Segura et. al. En preparación; en Andrade et. al., 2008
$B_t = 10^{(-1.0+2.3*\log(\text{dap}))}$	0.94	Nombre común: Guaba Nombre científico: Inga sp.	Segura et al. 2006
$B_t = 21.30 - 6.95*\text{dap}+0.74*\text{dap}^2$	0.92	Ecuación para varias especies del trópico húmedo: Chuncho, Cedro,	Brown e Iverson, 1992

B_t = Biomasa arriba del suelo (kg/árbol) $B_{\text{Raíces}}$ = Biomasa de raíces (kg/árbol)



CAPÍTULO 4

Resultados del Estudio

En esta sección se presentan los resultados del estudio de cuantificación de carbono en los sistemas agroforestales de cacao y café robusta y arábica ubicados en los predios de la Asociación Kallari y Pueblo Kichwa de Rukullakta en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Sumaco. Estos resultados se basan en la potencialidad de implementación de proyectos MDL forestal; modelos alométricos generados para las especies de cacao, café arábica y café robusta; y almacenamiento de carbono en los sistemas agroforestales con las tres especies estudiadas.

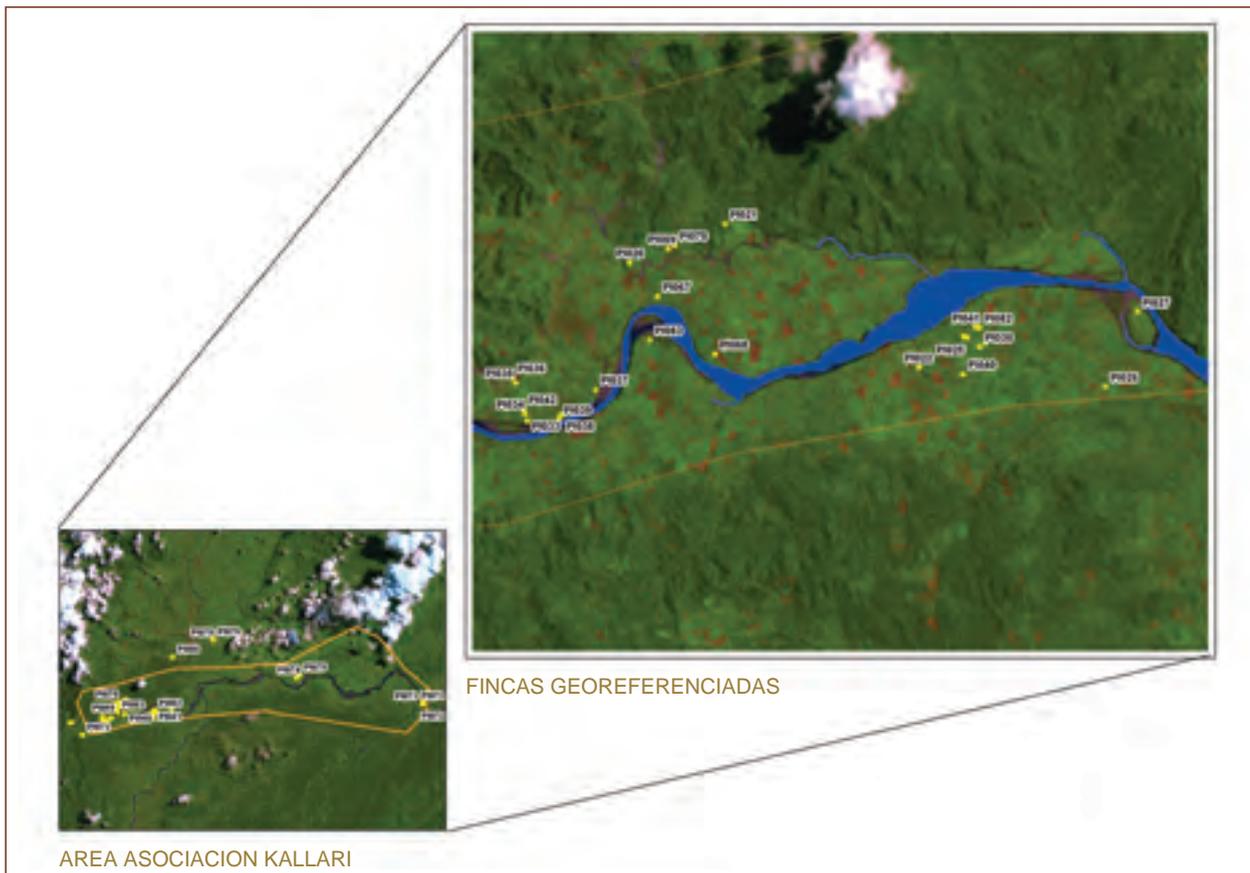
4.1 Potencialidad de implementación de proyectos MDL

La imagen Landsat de 1986 nos muestra que los actuales sistemas agroforestales de cacao, café arábica y café robusta no fueron bosque en dicho año (ver figura 4a y 4b). Esto cumple el criterio de no bosque en 1990 y

por lo tanto, muestra que estos territorios serían elegibles para actividades bajo el MDL. Sin embargo, vale precisar que éste análisis se realizó con puntos de referencia, por lo que se sugiere realizar un estudio completo de los polígonos de cada finca, ya que en una misma área se puede obtener escenarios de elegibilidad y no elegibilidad.

Figura 4a.

Ubicación de los puntos de referencia en las fincas de la Asociación Kallari, para el análisis de pre-elegibilidad de los sistemas agroforestales con cacao para proyectos MDL

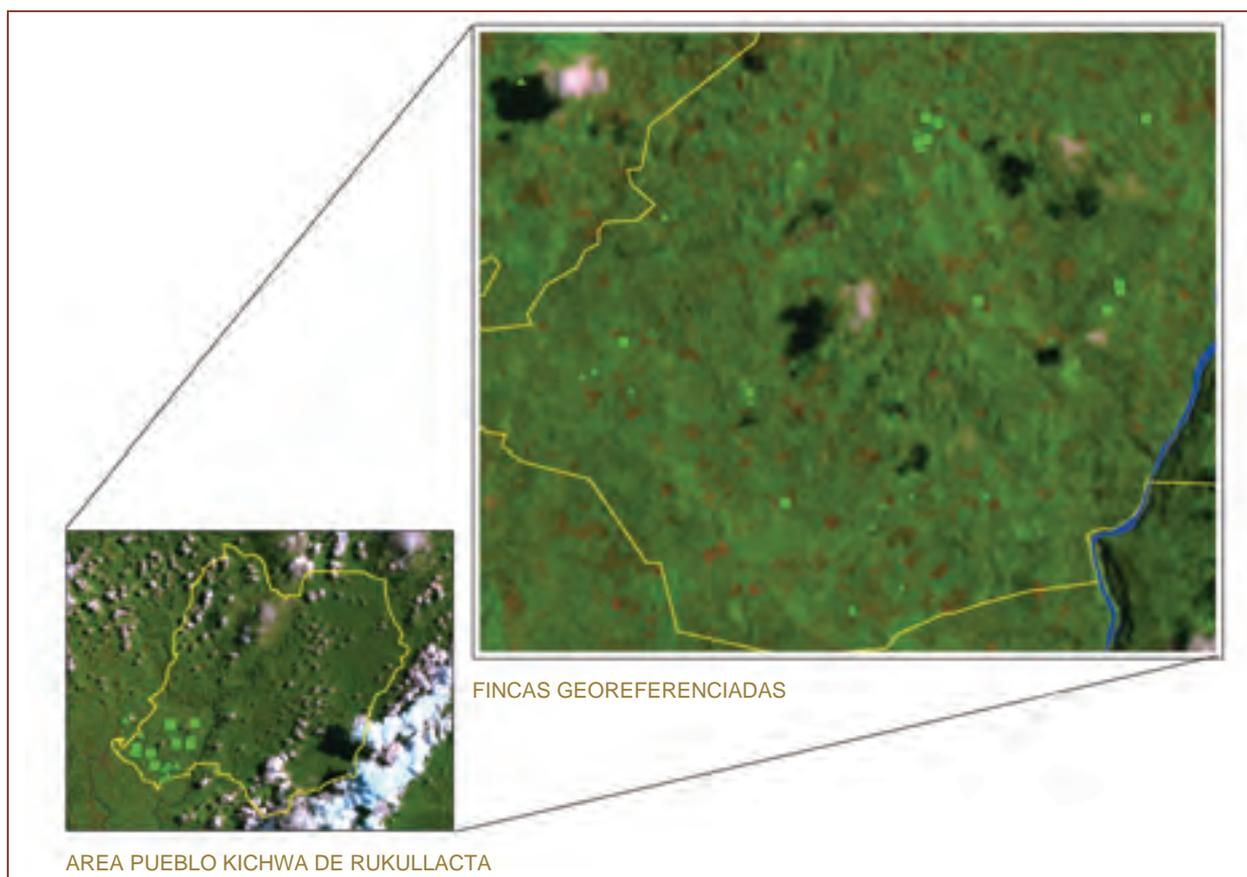


De igual forma, según el criterio relacionado a la cobertura de copas y altura actual de los sistemas agroforestales, los árboles de cacao a su edad adulta alcanzan una altura > 5 m (ver figura 5). Por lo tanto no serían elegibles para potenciales proyectos MDL. Sin embargo, esto depende del manejo, en el caso de los sistemas agroforestales de

cacao de la Asociación Kallari, se ha podido observar que las plantaciones antiguas (> 8 años) no presentan ningún tipo de manejo por lo que la altura de los árboles sobrepasan los 5 m.; no sucede así con las plantaciones nuevas donde el manejo es constante y la altura de los árboles de cacao se mantiene inferior a 5 m.

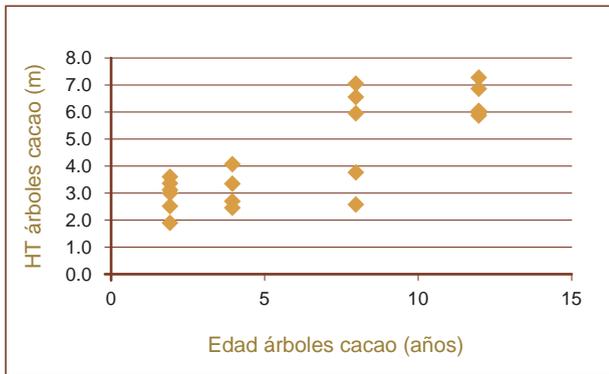
Figura 4b.

Ubicación de los puntos de referencia en las fincas del Pueblo Kichwa de Rukullakta, para el análisis de pre-elegibilidad de los sistemas agroforestales con café arábica y café robusta para la implementación de proyectos MDL



En el caso de los sistemas agroforestales con café arábica, la altura de los árboles está muy por debajo de los 5 m. (ver figura 6); mientras que en los sistemas agroforestales con café robusta los árboles con una edad mayor a 10 años alcanzan una altura mayor a 5 m. y por ende las tierras respectivas no serían elegibles para implementar actividades MDL, toda vez que por la altura del dosel de estos sistemas son considerados como bosques.

Figura 5. Altura de los árboles de cacao en la Asociación Kallari, según su edad



años alcanzan una altura mayor a 5 m. y por ende las tierras respectivas no serían elegibles para implementar actividades MDL, toda vez que por la altura del dosel de estos sistemas son considerados como bosques.

Un tercer criterio utilizado para determinar la elegibilidad de los sistemas agroforestales de cacao y café para implementar actividades MDL fue el porcentaje de cobertura del dosel mayor a 5 m. de altura, donde son elegibles los sistemas con coberturas inferiores al 30 %. Bajo este criterio se pudo determinar que los sistemas menores a 8 años y que presentan algún tipo de manejo agronómico son elegibles para la implementación de actividades MDL, ya que el porcentaje de cobertura de especies maderables que serían las que sobrepasan los 5 m. de altura no superan el 30 % de cobertura de copas como se puede ver en la fotografía de la figura 7.

Con base a los resultados de análisis general y referencial de la potencialidad de implementación de proyectos

Figura 6. Altura de los árboles de café arábica y robusta en el Pueblo Kichwa de Rukullakta

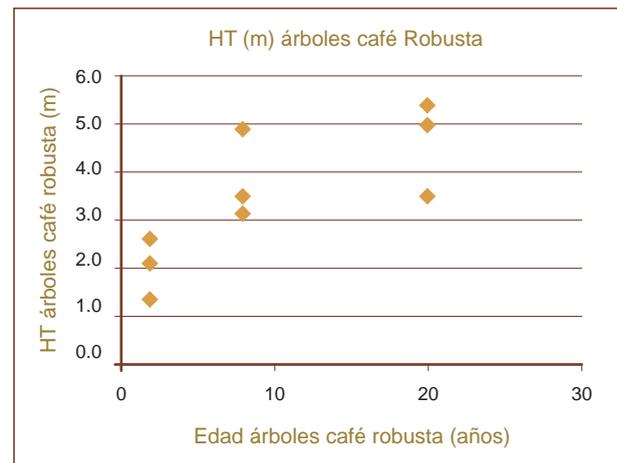
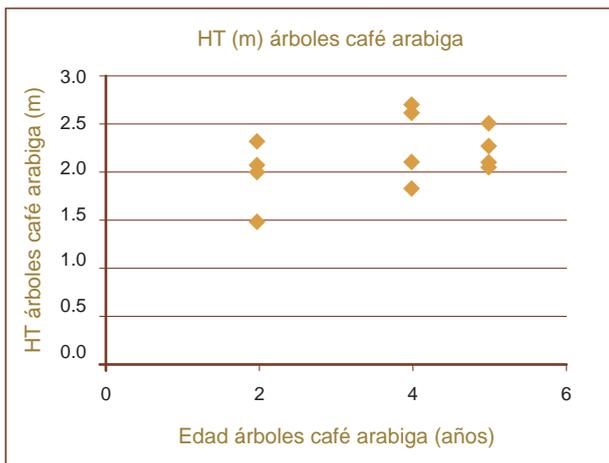


Figura 7.
Cobertura del dosel superior en café arábica



MDL en los sistemas agroforestales con cacao, café arábica y café robusta se concluye que la mayor potencialidad la tiene los sistemas con café arábica, por presentar una altura de sus árboles menor a 5 m. y porque la cobertura del dosel superior (mayor a 5 m.) no supera el 30 % de cobertura. La potencialidad de los sistemas agroforestales con cacao y café robusta está sujeta al manejo que puedan estar sometidos estos sistemas para que puedan alcanzar con el criterio de altura de los árboles menor a 5 m.

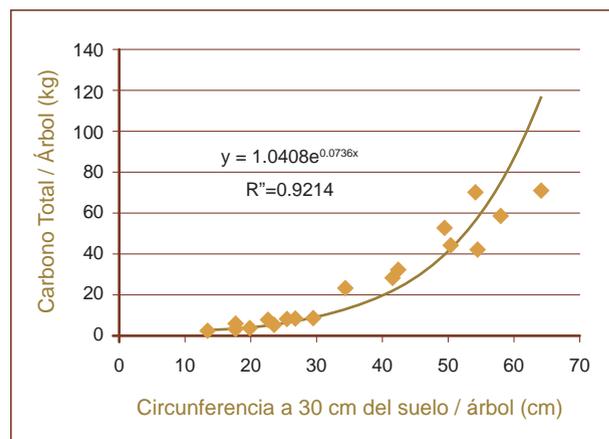
4.2 Modelos alométricos generados

Para cacao fino de aroma se analizaron tres modelos alométricos: Lineal, logarítmico y exponencial. De estos

tres, el modelo lineal presentó el coeficiente de correlación más alto ($R^2 = 0,931$). Sin embargo, se seleccionó el modelo exponencial ($R^2 = 0,921$) por ajustarse más a la distribución de las muestras en la gráfica. Este tipo de modelo también ha sido seleccionado en un estudio⁶ realizado en Changuinola, Panamá, por ser el que mejor ha estimado la cantidad de biomasa de los sistemas agroforestales con cacao en función del DAP (Ortiz et al. 2008b)

En café arábica el modelo alométrico que presentó el coeficiente de correlación (R^2) más alto fue el modelo exponencial ($R^2 = 0,899$). Al igual que en cacao, este modelo fue seleccionado por ser el que mayor se ajustaba a la distribución de las muestras en la gráfica.

Figura 8.
Modelo alométrico seleccionado para cacao fino de aroma



⁶ Almacenamiento y Tasas de Fijación de Biomasa y Carbono en Sistemas Agroforestales de Cacao (*Theobroma cacao*) y Laurel (*Cordia alliodora*) en Changuinola Panamá.

Figura 9.

Modelo y ecuación alométrica seleccionado para café arábica

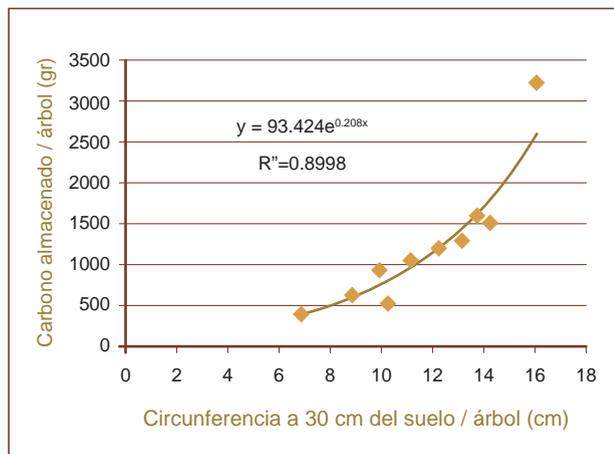
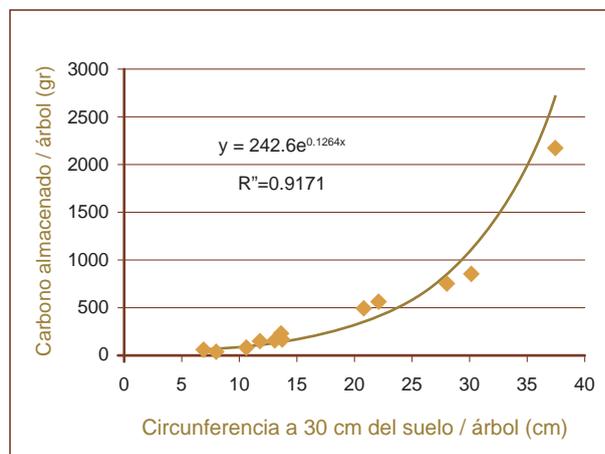


Figura 10.

Modelo y ecuación alométrica seleccionado para café robusta



De igual forma el modelo alométrico seleccionado para café robusta fue el exponencial, el mismo que presentó el mayor valor de $R^2 = 0,917$ entre los modelos analizados y la línea de tendencia más ajustada a la distribución de las muestras en la gráfica.

4.3 Carbono almacenado en los diversos sistemas agroforestales

La cuantificación del carbono en los tres tipos de sistemas agroforestales estudiados y en cada estrato definido, se realizó para cada árbol medido en los componentes sobre el suelo (biomasa aérea) y debajo del suelo (raíces). No se consideraron los componentes de sotobosque, necromasa y suelo con la finalidad de ser conservadores en los cálculos, y debido a que los sistemas agroforestales están en permanente mantenimiento (eliminación de malezas, podas, raleos, etc.). Por ende, los contenidos de carbono en estos componentes están también cambiando y en

ciertos casos, puede existir liberación del carbono almacenado.

De acuerdo a las especificaciones anteriores, en el cuadro 6 se presenta la cantidad de carbono almacenado por hectárea a diferentes edades de los árboles de cacao. El contenido total del sistema agroforestal solo se presenta como referencia debido a que se desconoce la edad de las especies maderables y frutales que acompañan con la sombra al cacao, en algunos casos las plantaciones jóvenes de cacao presentan árboles maderables muy antiguos, cuyo volumen no tiene relación con la edad de las plantas de cacao, lo cual si los consideráramos causaría una alteración en la curva de carbono.

En las plantaciones de cacao de 12 años, el aporte de las especies maderables y frutales que acompañan con sombra es de 50,34 TnC/ha. Esta cantidad no tiene una correlación con la edad de los árboles de cacao debido a

Cuadro 6.

Carbono almacenado por compartimento y por edad en árboles de cacao

Edad (años) Plantas cacao	Carbono Cacao sobre suelo TnC/ha	Carbono Cacao Raíces ⁷ (TnC/ha)	Carbono Total Cacao ⁸ (TnC/ha)
0	0.00	0.00	0.00
2	2.15	0.6795	2.83
4	5.00	1.4280	6.43
8	14.63	3.6729	18.30
12	28.17	6.5370	34.71

que las especies para la sombra ya existían antes que se realice la plantación de cacao y se desconoce su edad precisa. Además existe una alta variación entre los tamaños y edades de las especies de sombra lo cual no permite tener una correspondencia para generar una curva de carbono conjuntamente con los árboles de cacao. Bajo este contexto en la figura 11 se presenta únicamente la curva de almacenamiento de carbono del cacao fino de aroma.

Calculando el promedio de árboles de cacao en las parcelas de muestreo levantadas en los sistemas agroforestales estudiados se ha podido contabilizar una densidad de 668 árboles/ha; y una densidad promedio de árboles maderables y frutales de 159 árboles/ha. Estas densidades sobrepasan las recomendadas en sistemas agroforestales con cacao y que son de 625 árboles de cacao/ha para zonas húmedas y de 40 árboles/ha de especies leguminosas

7 Fuente de carbono estimada en función del carbono fijado sobre el suelo y a través de la siguiente ecuación:

$$B_{\text{Raíces}} = e^{(-1.06+0.88*\ln(B_s))}$$

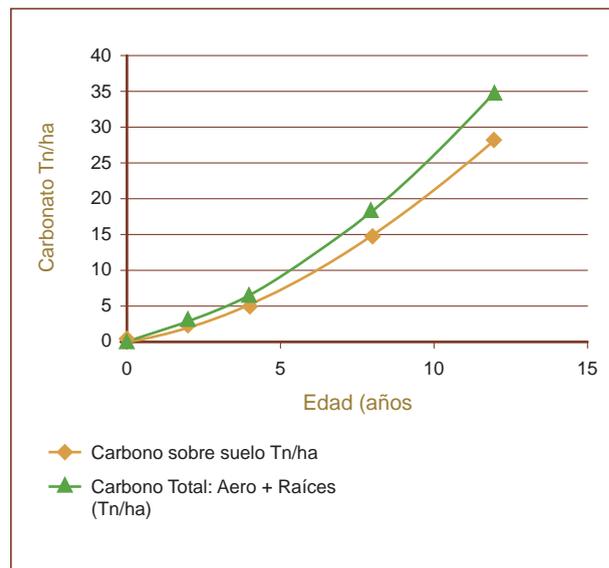
8 Desviación estándar encontrada en la estimación del carbono total según la edad: (2 años ± 0,10); (4 años ± 0,92); (8 años ± 0,81); (12 años ± 1,20)

para sombra, considerando siempre que la sombra no sobrepase el 50 %.

Si consideramos a las especies de sombra que acompañan al cacao, solo como referencia, la cantidad de carbono almacenado es de 85 TnC/ha en los sistemas agroforestales con cacao de 12 años de edad, lo cual es superior a lo registrado por Ortiz et al (2008) en sistemas agroforestales con cacao y laurel en Panamá. Esta diferencia está posiblemente relacionada al tipo de manejo de los sistemas agroforestales sobre todo en los más antiguos (mayores a 8 años) donde los árboles de cacao no presentan ningún tipo de poda, lo cual ha conducido a que algunas plantas de cacao sean verdaderos árboles, llegando a fijar solo con árboles de cacao de 12 años una cantidad aproximada de 35 TnC/ha, lo cual se aproxima a la cantidad de todo el

Figura 11.

Carbono fijado por hectárea y por edad con cacao fino de aroma



sistema agroforestal plantado y manejado en Changuinola - Panamá.

Comparando los resultados de carbono almacenado en la biomasa de los sistemas agroforestales con cacao de la zona de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera de Sumaco con otros estudios realizados en Ecuador se ha podido evidenciar una similitud. Es así que Larrea, et al., (2008), con base a información secundaria, estimó que el potencial de almacenamiento de carbono de los sistemas agroforestales con cacao es entre 70 y 80 TnC/ha; mientras que Corral et al., (2006) en un estudio realizado en el litoral ecuatoriano estimaron que los sistemas agroforestales con cacao capturan en su biomasa alrededor de 121 TnC/ha, y sumando el carbono almacenado en el suelo un total de 196 TnC/ha a la edad de 6,5 años.

Al igual que con el cacao, considerando la edad tope (5 años) encontrada en los sistemas agroforestales con café arábica, se ha contabilizado que el aporte de las especies maderables y frutales que acompañan con la sombra es de 39,57 TnC/ha⁹. Conforme ya se mencionó anteriormente, esta cantidad no tiene una correlación con la edad de los árboles de café arábica ya que las especies para la sombra ya existían antes que se realice la plantación de café.

De acuerdo a las parcelas de muestreo levantadas en los sistemas agroforestales con café arábica, se pudo calcular que este tipo de sistema agroforestal presenta una densidad de 3565 árboles de café/ha y una densidad promedio de especies maderables y frutales de 64 árboles/ha. Esta densidad de árboles de café es bastante alta y se ha en-

Cuadro 7.

Carbono almacenado por compartimento y por edad en los árboles de café arábica.

Edad (años) Plantas C. arábica	Carbono C. arábica sobre suelo TnC/ha	Carbono C. arábica Raíces ¹⁰ (TnC/ha)	Carbono Total C. arábica ¹¹ (TnC/ha)
0	0.00	0.00	0.00
2	1.95	0.624	2.57
4	2.41	0.751	3.16
5	6.03	1.684	7.71

contrado en fincas manejadas por el Consejo Cafetalero Nacional (COFENAC) y otras manejadas directamente por los propietarios. A pesar de esta alta densidad de plantas de café no se ha podido observar una recesión de copas (mortalidad) por falta de luz, ya que el hábito de crecimiento de esta especie es aparente para crecer a ésta densidad.

La curva de carbono de café arábica nos muestra una fijación relativamente baja (8 TnC/ha), incluso incluyendo el aporte de las especies de sombra (47 TnC/ha¹²) si comparamos con las obtenidas por Corral et al., (2006) en el estudio realizado en el litoral ecuatoriano en sistemas agroforestales con café arábica que es de 115 TnC/ha a nivel de biomasa y de 187 TnC/ha contabilizando también el carbono fijado en el suelo. Estas diferencias se deben principalmente a las especies de sombra, que en el caso de la zona de amortiguamiento de la RBS en

9 Desviación estándar: ±66.51

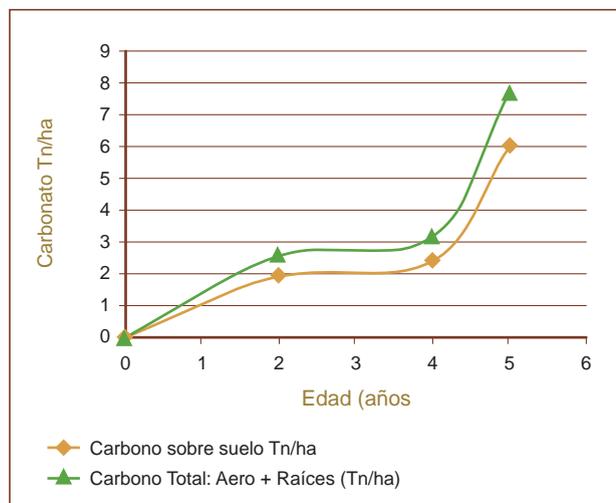
10 Fuente de carbono estimada en función del carbono fijado sobre el suelo y a través de la siguiente ecuación:

$$B_{\text{Raíces}} = e^{(-1.06+0.88 \ln(B_s))}$$

11 Desviación estándar encontrada en la estimación del carbono total según la edad: (2 años ± 0,03); (4 años ± 0,06); (5 años ± 0,09).

12 Desviación estándar: ±66,57

Figura 12.
Carbono fijado por hectárea y por edad con café arábica



su mayoría se encuentran en los márgenes de los cultivos de café. Considerando las particularidades de las especies maderables y frutales en este tipo de sistema agroforestal, en la figura 12 se presenta únicamente la curva de carbono de los árboles de café arábica.

Para el caso de café robusta se pudo calcular que la densidad del café es de 1623 árboles/ha; y de 32 árboles/ha en promedio de especies maderables y frutales. La densidad de árboles de café robusta es inferior a la presentada en los sistemas con café arábica, esto se debe a que café robusta

presenta otro hábito de crecimiento y ocupa más espacio por planta.

En el mismo contexto de la densidad por hectárea, la cantidad de carbono almacenado en los sistemas agroforestales con café robusta es inferior a aquella almacenada en los sistemas agroforestales con café arábica, debido a la significativa diferencia en la densidad de los árboles maderables y frutales, en una relación del 50 %.

Al igual que con el cacao y café arábica, considerando la edad tope (20 años) encontrada en los sistemas agroforestales con café robusta, se ha contabilizado que el aporte de las especies maderables y frutales que acompañan con la sombra es de 24,15TnC/ha¹³. Esta cantidad no tiene una correlación con la edad de los árboles de café robusta debido a que las especies para la sombra ya existían antes que se realice la plantación de café y existe una alta va-

Cuadro 8.
Carbono almacenado por compartimento y por edad en los árboles de café robusta.

Edad (años) Plantas cacao	Carbono C. robusta sobre suelo TnC/ha	Carbono C. robusta Raíces ¹⁴ (TnC/ha)	Carbono Total C. robusta ¹⁵ (TnC/ha)
0	0.00	0.00	0.00
2	0.60	0.221	0.82
8	5.94	1.662	7.60
20	10.08	2.646	12.73

13 Desviación estándar: ± 34.15

14 Fuente de carbono estimada en función del carbono fijado sobre el suelo y a través de la siguiente ecuación:

$$B_{\text{Raíces}} = e^{(-1.06 + 0.88 \cdot \ln(B_{\text{s}}))}$$

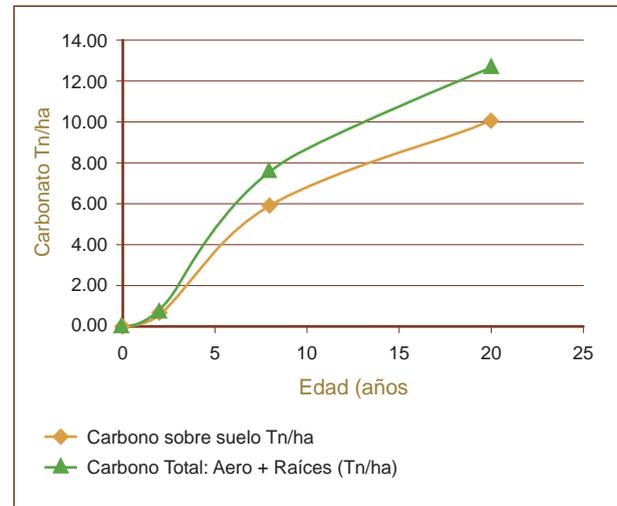
15 Desviación estándar encontrada en la estimación del carbono total según la edad: (2 años \pm 0,05); (8 años \pm 0,11); (20 años \pm 0,15).

riación entre las especies maderables presentes dentro del sistema agroforestal con café robusta.

El aporte específico de café robusta a la captura de carbono según su edad se presenta en la figura 13.

En total, sumando la fijación de carbono de las plantas de café robusta con el aporte de las especies de sombra actualmente existe una fijación de 37 TnC/ha en los sistemas agroforestales de café robusta de 20 años de edad. Este valor es referencial, al igual que los expuestos anteriormente, debido a las justificaciones presentadas en este capítulo.

Figura 13. Carbono fijado por hectárea y por edad con café robusta





CAPÍTULO 5

Resumen de la investigación

La cuantificación del carbono almacenado en los sistemas agroforestales se realizó a través de un muestreo estratificado al azar. Es decir, primeramente se definieron los estratos presentes en cada sistema agroforestal a estudiarse con la finalidad de obtener unidades homogéneas de muestreo, y en segundo lugar en cada estrato definido se determinó el número de fincas elegibles para realizar el muestreo al azar de acuerdo a los siguientes criterios:

- Tipo de cobertura o sistema agroforestal (cacao, café arábica y café robusta)
- Edad de la plantación dentro del mismo sistema agroforestal

Para la determinación del carbono almacenado en cada sistema agroforestal en estudio se generó un modelo alométrico por especie

a partir de la correlación existente entre el diámetro del fuste a 0,30 m. del suelo de cada árbol de cacao y café y el contenido total de carbono (cuantificado a través de muestras destructivas y por compartimentos: fuste, ramas, hojas y raíces).

Se realizó varios análisis de correlación y se seleccionó la mejor correlación en función del valor de “R²” y la ubicación de la línea de tendencia de cada modelo alométrico generado para cada sistema agroforestal en estudio.

Para el caso de las especies maderables y frutales, por no encontrarse una correspondencia con la edad de las plantas de cacao y café, no se pudo generar modelos alométricos, estimándose para estas especies el carbono almacenado a través de modelos alométricos genéricos encontrados en la literatura (cuadro 5)

Las ecuaciones alométricas seleccionadas han sido de tipo exponencial por ajustarse a la distribución de las muestras en la gráfica y presentar el valor más alto de “R²”. Este tipo de ecuación también ha sido seleccionada en un estudio realizado en Changuinola, Panamá, por ser la que mejor han predicho la cantidad de biomasa de los sistemas agroforestales con cacao en función del DAP (Ortiz et al. 2008)

La estimación del carbono almacenado se realizó para los componentes sobre el suelo (biomasa aérea) y debajo del suelo (raíces). La cantidad de carbono almacenado por hectárea en los sistemas agroforestales con cacao es de 35 TnC/ha solo a nivel de las plantas de cacao (a los 12 años de edad) y de 85 TnC/ha incluido las especies maderables y frutales (con un densidad de 660 árboles cacao/ha y de 159 arb/ha de especies maderables y frutales), este valor es superior a lo registrado en Costa Rica – Talamanca en sistemas agroforestales con cacao y laurel, que es de 43 y 62 TnC/ha (Ortiz et al. 2008). Esta diferencia se debe principalmente al tipo de manejo, en Ecuador, en las plantaciones estudiadas se pudo observar una falta de manejo en las plantaciones antiguas >





8 años y por ende un incremento de biomasa significativa. También la diferencia se debe a que las especies maderables no han sido plantadas, en su gran mayoría son árboles que se conservan del bosque original, y no tienen relación con la edad del cacao y tampoco presentan una distribución estándar dentro del sistema, lo cual no permitió realizar un muestreo representativo de especies maderables y frutales, por lo que se recomienda usar la cifra del carbono almacenado en especies maderables y frutales solo como referencia.

El potencial de secuestro de carbono con café arábica es de 8 TnC/ha solo con las plantas de café arábica (a los 5 años de edad) y de 47 TnC/ha incluido las especies maderables y frutales. Estos valores se obtuvieron con una densidad de 3565 árboles de café /ha y 64 árboles de especies maderables/ha. Esta densidad de las plantas de café es bastante alta y se ha encontrado principalmente en fincas manejadas por COFENAC. A pesar de este alto número de plantas no se ha podido observar una alteración o mortalidad de las copas.

En los sistemas agroforestales con café robusta el potencial de secuestro de carbono es de 13 TnC/ha solo con café robusta (a los 20 años de edad) y de 37 TnC/ha incluido las especies maderables y frutales. Estos valores se obtuvieron con una densidad de árboles de café robusta de 1623 árboles/ha y 32 árboles/ha de especies maderables y frutales.

Comparando las cifras de captura de carbono en la biomasa de los sistemas agroforestales con café arábica (47 TnC/ha) y café robusta (37 TnC/ha), estas difieren significativamente con las obtenidas por Corral et al., (2006) en el estudio realizado en el litoral ecuatoriano en sistemas agroforestales con café arábica que es de 115 TnC/ha, alcanzando hasta 187 TnC/ha con la inclusión del suelo. Estas diferencias se deben principalmente a las especies de sombra, que en el caso de la zona del presente estudio, en su mayoría se encuentran en los márgenes de los cultivos de café.



Lecciones aprendidas

En vista de que los árboles de café con manejo agrícola no sobrepasan los 2.5 metros, estas plantaciones son adecuadas para generar un proyecto MDL Forestal siempre y cuando exista una superficie mínima de 1 ha y se alcance una cobertura de por lo menos 30%. Un proyecto MDL forestal podría ser interesante al tener un rango de por lo menos 1.000 - 2.000 ha de café.

El cacao fino de aroma que se encuentra en sistemas agroforestales mayores a 12 años pudieran ser parte de una iniciativa REDD+ por tener importante contenido de carbono. Sin embargo, es necesario conocer si existe una amenaza que reduzca significativamente estos almacenes de manera permanente.

Estas dos opciones planteadas requieren ser auscultadas en su parte técnica y social. A continuación las consideraciones sociales que son relevantes para fomentar estas iniciativas

- Equilibrio entre producción y conservación: Se debería trabajar en generar compensaciones al productor por mantener almacenes de carbono sin que esta iniciativa afecte su producción.
- Mitos y verdades del secuestro de carbono: Es necesario clarificar mitos y verdades de la potencialidad de trabajar con carbono, por ejemplo posibles ingresos y captación de recursos por conservar o reforestar.
- Servicios Ambientales: Los sistemas agroforestales a más del secuestro de carbono, prestan varios servicios ambientales como belleza escénica, refugio de vida silvestre, conservación de cuencas hidrográficas entre otros. Es indispensable profundizar conceptos para que los productores puedan aprovechar los beneficios.
- Conocimiento local: Se debe trabajar en socializar y generar espacios de discusión en temas relacionados a los servicios ambientales pues la falta de conocimiento puede generar expectativas erróneas.

Finalmente las chakras en las que se produce cacao y café representan para las comunidades estudiadas un espacio donde se armoniza la producción, la tradición y la economía.



Bibliografía

- ANDRADE H., M. SEGURA, E. SOMARRIBA, M. VILLALOBOS.
Valoración Biofísica y Financiera de la Fijación de Carbono por Uso del Suelo en Fincas Cacaoteras Indígenas de Talamanca, Costa Rica. En Revista Agroforestería en las Américas No 46 2008. CATIE.
- ALVARADO E., I. JIMENEZ, P. RAMIREZ. 2010. Manual del Cacaotero Amazónico para promotores kichwas. KALLARI. Quito, Ecuador.
- BENÍTEZ V., M. LARREA, L. CARRASCO. 2005. Aporte de la Biodiversidad en Cultivos de Cacao, Aroma Amazónico, Sucumbios, Ecuador. ECOCIENCIA. Quito, Ecuador.
- BROWN S. & L. IVERSON. 1992. Biomass Estimates for Tropical Forests World Resource.
- CORRAL R., L. DUCIELA, H. MAZA. 2006. Fijación y Almacenamiento de Carbono en Sistemas Agroforestales con Café Arábica y Cacao en dos Zonas Agroecológicas del Litoral Ecuatoriano. COFENAC, UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA. Loja, Ecuador.
- HAMMEL P. & R. ZAWALSKI. 2008. Georeferenciación de las parcelas cacaoteras con certificación orgánica de la organización Kallari en la provincia de Napo. Programa GTZ - GESOREN
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for land – use change and forestry, LULUCF
- IPCC. 2004. Good Practice Guidance for LULUCF
- LARREA M., M. CASTRO, M. BUSTAMANTE. 2008. Análisis del Potencial de Captura de Carbono en Plantaciones de Cacao Fino y de Aroma de Pequeños Productores Manejadas Con Prácticas Ambientalmente Amigables. Informe Técnico. CORPEI, ECOCIENCIA, GTZ. Quito, Ecuador
- ORTIZ E., R. SIERRA, F. RODRÍGUEZ & R. CHIMBO. 2008. Plan de Manejo del Pueblo Kichwa de Rukullakta. PKR, EcoFund, Fondo Ambiental, Aves y Conservación, CESLA.
- ORTIZ A., L. RIASCOS & E. SOMARRIBA. 2008. Almacenamiento y Tasas de Fijación de Biomasa y Carbono en Sistemas Agroforestales de Cacao (*Theobroma cacao*) y Laurel (*Cordia alliodora*). En Revista Agroforestería en las Américas No 46 2008. CATIE. Costa Rica.
- PALOMEQUE E. 2009. Sistemas Agroforestales. México.
- RAMÍREZ W. 2005. Manejo de Sistemas Agroforestales.
- SEGURA M., M. KANNINEN, D. SUÁREZ. 2006. Allometric Models for Estimating Aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. Agroforestry Systems.
- SEGURA M. & H. ANDRADE. 2008. Cómo Construir Modelos Alométricos de Volumen, Biomasa o Carbono de Especies Leñosas Perennes. En Revista Agroforestería en las Américas No 46 2008. CATIE.



Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Agencia Quito
Amazonas N39-234 y Gaspar de Villarreal
Casilla 17-07-8721
Quito - Ecuador
T + 593 2 2436 333
F + 593 2 2439 907
E giz-ecuador@giz.de
I <http://www.giz.de>