UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

ESTIMACIÓN DEL CARBONO FIJADO EN EL AGROSISTEMA CAFÉ (*Coffea arabica* L.) BAJO SOMBRA, DE LA FINCA EL CASCAJAL, MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2013.

FAVIOLA JESSIBEL RECINOS JIMÉNEZ

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE DEL 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

ESTIMACIÓN DEL CARBONO FIJADO EN EL AGROSISTEMA CAFÉ (*Coffea arabica* L.) BAJO SOMBRA, DE LA FINCA EL CASCAJAL, MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2013.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

FAVIOLA JESSIBEL RECINOS JIMÉNEZ

Al conferírsele el título de

TÍTULO PROFESIONAL

En el grado académico de

LICENCIADA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

RECTOR
Dr. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
Representante de Profesores:	MSc. Edgar Arnoldo Casasola Chinchilla
Representante de Profesores:	Ph.D. Felipe Nery Agustín Hernández
Representante de Graduados:	Lic Zoot. Alberto Genesio Orellana Roldán
Representante de Estudiantes:	Br. Heidy Jeaneth Martínez Cuestas
Representante de Estudiantes:	Br. Otoniel Sagastume Escobar
Secretaria:	Licda. Marjorie Azucena González Cardona

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Coordinadora de Carrera:	M.A. Sandra Jeannette Prado Díaz

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Coordinador:	MSc. José Ramiro García Alvarez
Secretaria:	M.A. Sandra Jeannette Prado Díaz
Vocal:	MSc. Fredy Samuel López Coronado

TERNA EVALUADORA

MSc. Fredy Samuel López Coronado
Ing. Agr. Hugo David Cordón y Cordón
Ing. Químico Carlos Enrique Aguilar Rosales

Chiquimula, noviembre de 2014

Señores:
Consejo Directivo
Centro Universitario de Oriente
Ciudad de Chiquimula

Honorables Miembros

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado: **"ESTIMACIÓN DEL CARBONO FIJADO EN EL AGROSITEMA CAFÉ** (*Coffea arabica* L.) **BAJO SOMBRA DE LA FINCA EL CASCAJAL, MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2013"**, como requisito previo a optar el título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios de aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Faviola Jessibel Recinos Jiménez

REF- JRGA-GAL-04-2014
Chiquimula, noviembre de 2014.

MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
Director CUNORI
Chiquimula, Ciudad

Respetable Licenciado Galdámez:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación de la Carrera de Gestión Ambiental Local, para asesorar a la estudiante Faviola Jessibel Recinos Jiménez, en el trabajo de investigación denominado **"ESTIMACIÓN DEL CARBONO FIJADO EN EL AGROSISTEMA CAFÉ (*Coffea arabica* L.) BAJO SOMBRA, DE LA FINCA EL CASCAJAL, MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2013",** tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que he procedido a asesorar y orientar a la sustentante, sobre el contenido de dicho trabajo.

En mi opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes; razón por la cual, recomiendo la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local , en el Grado Académico de Licenciada.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MSc. José Ramiro García Alvarez
Asesor Principal

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
-CHIQUIMULA-
CARRERA GESTION AMBIENTAL

cc. Archivo

CUNORI
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE

D-TG-IGAL-104/2014

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó la estudiante **FAVIOLA JESSIBEL RECINOS JIMÉNEZ** titulado **"ESTIMACIÓN DEL CARBONO FIJADO EN EL AGROSISTEMA CAFÉ (Coffea arabica L.) BAJO SOMBRA, DE LA FINCA EL CASCAJAL, MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2013",** trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación**, previo a obtener el título de **Ingeniera en Gestión Ambiental Local** en el grado académico de Licenciada.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a once de noviembre de dos mil catorce.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Oriente
Chiquimula
Dirección

MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
DIRECTOR
CUNORI - USAC

c.c. Archivo
NWGC/ars

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS: Por permitirme culminar una meta más en mi vida, y por su infinita misericordia porque su bendición y gracia me acompaña cada día de mi vida.

A MIS PADRES: Isabel Jiménez Rodríguez y Mario Neftalí Recinos Duarte, por su amor, comprensión y apoyo incondicional, por estar a mi lado en todo momento, por cada uno de los consejos. A quien debo todo lo que soy.

A MIS HERMANOS Mario Alfredo y Ferdy, por su cariño y apoyo incondicional, porque sin su ayuda no hubiera alcanzado este sueño.

A MI SOBRINO Luis Mario con especial cariño.

A MIS ABUELITOS Felicita Rodríguez, Francisco Jiménez, Delfina Duarte y Manuel Recinos, por su cariño, consejos y apoyo, por ser parte importante de este logro y por sus bendiciones y oraciones.

A MIS TIOS Por su cariño y consejos, en especial a mi tía madrina Divi por su apoyo y amor incondicional, por ser como una madre para mí.

A MIS PRIMOS Por la gran amistad y cariño que nos une.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

Por el cariño sincero y apoyo en la culminación de este sueño, por cada uno de los recuerdos inolvidables que compartimos, en especial a Sylvana Nufio (primix), por el apoyo incondicional en cada una de las experiencias vividas en esta gran aventura.

AGRADECIMIENTOS A

A Dios, ser Supremo, por el regalo de la vida, por su infinito amor y misericordia, porque su presencia inunda mi alma y me ha protegido en cada momento, por cada una de las experiencias que me has permitido vivir, todo obra para bien.

Al Centro Universitario de Oriente CUNORI, por haberme albergado y darme la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos.

A la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, por darme las herramientas y conocimientos en mi vida profesional.

A mis asesores Ing. Agr. Ramiro García, Ing. Agr. Hugo Villafuerte e Ing. Edgar Burgos por compartir su valioso tiempo, conocimiento, apoyo y orientación para lograr este trabajo.

A finca El Cascajal que me abrió las puertas para realizar mi trabajo de graduación y por el apoyo brindado en este proceso.

A mis catedráticos por compartir sus conocimientos, sus sabias enseñanzas, por su amistad y cariño. En especial a Licda. Sandra Prado, por su apoyo y orientación.

A mis amigas Damaris Morales, Saby Carmí, Michelle Martínez, por su amistad sincera y apoyo incondicional, las quiero mucho.

A José Figueroa, Junior Morales, por su apoyo y colaboración para la ejecución de la fase de campo.

A Alcides Cabrera, Maris España, Abner Rodas, Víctor Sandoval, Rossana Chau, Salomón Miranda, por el apoyo y orientación en la realización de este trabajo. Y Todas aquellas personas que de una forma u otra, colaboraron con la realización de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

Contenido **Página**

ÍNDICE GENERAL i
ÍNDICE DE CUADROS iv
ÍNDICE DE GRÁFICAS vi
INDICE DE FIGURAS vii
RESUMEN viii
1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANTECEDENTES 3
3. DEFINICION Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA 4
4. JUSTIFICACIÓN 6
5. OBJETIVOS 8
5.1 Objetivo General 8
5.2 Objetivos específicos 8
6. MARCO TEÓRICO 9
6.1 El efecto invernadero 9
6.2 Dióxido de carbono 10
6.3 El ciclo del carbono 11
6.4 Almacenamiento de carbono 11
6.5 Biomasa y carbono 12
6.6 Sistemas agroforestales y la fijación de carbono 13
6.7 Servicios ambientales 15
6.8 Mercado de carbono 15
6.9 Compensación de carbono en café, en el mercado voluntario 17
7. MARCO REFERENCIAL 19
7.1 Ubicación del área de estudio 19
7.2 Vías de acceso 20
7.3 Extensión de la finca El Cascajal 20
7.3 Características biofísicas del área de estudio 21
7.3.1 Clima y zonas de vida 21

7.4 Recursos naturales 21
7.5 Investigaciones relacionadas con el tema 23
8. MARCO METODOLÓGICO 26
8.1 Estimación de carbono fijado en la plantación de café bajo sombra 26
8.1.1 Descripción de variables estudiadas 26
8.1.2 Actualización de uso de suelo de la finca El Cascajal 27
8.1.3 Diseño del inventario 29
8.1.4 Diseño del muestreo 30
8.1.5 Tamaño de la muestrea 31
8.1.6 Material y equipo 32
8.1.7 Estimación de biomasa en el campo 32
a) Biomasa arriba del suelo 32
b) Suelo 36
8.1.8 Análisis de laboratorio 37
a) Material vegetal 37
b) Suelo 38
8.2 Lineamientos estratégicos 38
9. RESULTADO Y DISCUCIÓN 40
9.1 Carbono fijado en el agrosistema café bajo sombra 40
9.1.1 Plantación de café de 0 a 3 años de edad 40
9.1.2 Plantación de café bajo sombra de 4 a 8 años de edad 42
9.1.3 Plantación de café bajo sombra de 9 a 15 años de edad 44
9.1.4 Plantación de café bajo sombra mayor a 15 años 47
9.1.5 Densidad de carbono fijado en la plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal 48
9.2 Lineamientos estratégicos para aprovechar el carbono fijado en las plantaciones de café bajo sombra 51
9.2.1 Proyecto de carbono en café usando la Metodología Agroforestal Simplificada de Rainforest Alliance 51
9.2.2 Implementación de acciones para el acceso a Certificación Módulo Clima para la adaptación y mitigación al cambio dentro de la Norma de Agricultura Sostenible 56

10. CONCLUSIONES 58
11. RECOMENDACIONES 59
12. BIBLIOGRAFIA 60
13. ANEXOS 64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Contenido	Página
1.	Sectores y subsectores de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	20
2.	Densidad de carbono en las áreas de estudio, línea base de carbono en cafetales, 2010	24
3.	Área de la finca El Cascajal de acuerdo al uso de suelo, 2013	27
4.	Determinación del número de parcelas muestreadas en cada estrato de la plantación de café bajo sombra, en la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	30
5.	Tamaño de Subparcela y componentes evaluados en la estimación de carbono, en la plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal , 2013	32
6.	Ecuaciones utilizadas para calcular biomasa de las plantas de café en la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	34
7.	Ecuaciones utilizadas para estimar biomasa en árboles de sombra en plantación de café, de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	36
8.	Carbono fijado en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad de 0 a 3 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2014	41

9.	Carbono fijado en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad de 4 a 8 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.	43
10.	Carbono fijado en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad de 9 a 15 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	45
11.	Carbono fijado en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad mayor de 15 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	47
12.	Densidad de carbono fijado en la plantación de café bajo sombra de la finca	49

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica	Contenido	Página
1.	Carbono fijado por variable en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad de 0 á 3 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	42
2.	Carbono fijado por variable en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad de 4 á 8 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	44
3.	Carbono fijado en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad de 9 á 15 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	46
4.	Carbono fijado por variable en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad mayor de 15 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.	48
5.	Densidad de carbono fijado en los 4 estratos de la plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.	50
6.	Contenido de carbono fijado en los 4 estratos de la plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
1.	Aumento de la concentración atmosférica global de CO_2	10
2.	Fuentes y sumideros de carbono	12
3.	Componentes de almacenamiento de carbono	13
4.	Ubicación y referencia de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula	19
5.	Mapa de uso de suelo de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	28
6.	Mapa de cobertura del cultivo de café de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	29
7.	Ubicación de las 22 parcelas muestreadas en la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	31
8.	Diseño de parcelas rectangulares anidadas para muestrear distintos componentes del sistema agroforestal de café bajo sombra, en la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	33
9.	Ilustración sobre las variables de medición para plantas de café, para estimar biomasa, finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013	34

RESUMEN

El objetivo de estudio fue estimar el carbono fijado en el sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.) bajo sombra en la finca El Cascajal, para apoyar los procesos de certificación y sostenibilidad del proceso de producción. La investigación se desarrolló en un periodo de 9 meses, dentro del área de producción de la finca la cual tiene una extensión de 654.6 ha, de las cuales 286.92 ha corresponden al cultivo de café, ubicada en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula.

Para estimar el carbono almacenado en el agrosistema café bajo sombra, se utilizó la metodología empleada por el Centro de Estudios Ambientales de la Universidad del Valle de Guatemala; para lo cual fue necesario actualizar el mapa de uso de suelo con la finalidad de conocer el área de cultivo de café. Posteriormente se establecieron las variables a estudiar como: plantas de café, árboles de sombra, suelo, hojarasca y maleza; para ello fue necesario estratificar el área con cultivo de café por rango edad, de acuerdo a esto se dividió el área en 4 estratos: plantación de café de 0 a 3 años, plantaciones de café de 4 a 8 años, plantaciones de 9 a 15 años y plantaciones mayores de 15 años. Para realizar el inventario de carbono se establecieron 22 parcelas de muestreo de 250 metros cuadrados de forma rectangular, donde se muestrearon las plantas de café, arboles de sombra, maleza, hojarasca y suelo con el propósito de estimar el carbono fijado en cada componente del agrosistema. Las muestras recolectas en el inventario fueron trasladadas y analizadas en el Laboratorio ambiental de la Carrera de Gestión Ambiental de CUNORI y el Laboratorio de Centro de Estudios Ambientales de la Universidad del Valle de Guatemala.

De acuerdo a los resultados, la densidad de carbono en el agrosistema varía de acuerdo a los diferentes estratos, la plantación de café bajo sombra de 0 a 3 años con una densidad de carbono de 69.16 tC/ha, plantaciones de 4 a 8 años 91. 24 tC/ha, plantaciones de 9 a 15 años 78.85 tC/ha, y plantaciones mayores a 15 años con una densidad de 64.24 tC/ha. El contenido total de carbono fijado en el agrosistema café bajo sombra de la finca es de 91,922.88 toneladas de carbono, siendo el suelo el componente del agrosistema que representa el mayor contenido de carbono, seguido por los árboles de sombra.

Con el objetivo de aprovechar el carbono fijado en el sistema agroforestal café bajo sombra de la finca se proponen lineamiento estratégicos, para una producción sustentable de la finca, se proponen dos lineamientos: a) implementación de proyectos de carbono en café, usando la Metodología Agroforestal Simplificada de Rainforest Alliance; y la implementación de acciones para el acceso a certificación Modulo Clima.

Con estos resultados se estima que la finca El Cascajal presenta en promedio 75 tC/Ha fijado en el agrosistema café bajo sombra, por lo cual existe el potencial de aprovechar el carbono fijado con el propósito de dar un valor agregado a la producción, por conceptos de reducción de emisión de gases de efecto invernadero.

INTRODUCCIÒN

Actualmente, los modelos climáticos indican que las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI), como metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y, en especial, las de dióxido de carbono (CO_2) han comenzado a generar importantes variaciones en el clima mundial (IPCC 2007). El uso de combustibles fósiles, el cambio en el uso del suelo son considerados a nivel mundial como las dos principales fuentes netas de CO_2 emitidas a la atmósfera.

Los bosques son el principal sumidero terrestre de CO_2. Sin embargo, los sistemas agroforestales pueden remover cantidades significativas de carbono de la atmósfera, ya que las especies arbóreas en estos sistemas pueden fijar carbono por un tiempo prolongado, principalmente en su madera y en muchos casos contribuyen a aumentar el carbono almacenado en el suelo. Los agrosistemas de café bajo sombra muestran potencial de fijación de carbono, así mismo, una alternativa para dar valor agregado a la producción mediante el pago por servicios ambientales y venta de créditos de carbono, en el mercado voluntario.

El objetivo de la investigación fue estimar el carbono fijado en el sistema agroforestal café bajo sombra de la Finca El Cascajal, ubicada en el municipio de Esquipulas, para apoyar el proceso de certificación y sostenibilidad del sistema de producción. La metodología utilizada para llevar a cabo esta investigación, se basa en el procedimiento utilizado por el Centro de Estudios Ambientales de la Universidad del Valle de Guatemala, para la estimación de carbono en agrosistemas de café, el cual consiste en dos fases: de campo y de laboratorio, para el estudio de diferentes depósitos de carbono en el agrosistema.

Para estimar el carbono fijado en el agrosistema de café bajo sombra en la finca El Cascajal, se realizó un inventario de carbono en las plantaciones de café, la cual posee una extensión de 286.92 Ha, se identificó cuatro estratos, siendo estos, plantaciones de café bajo sombra de 0 a 3 años de edad, plantaciones de 4 a 8 años de edad, plantaciones de 9 a 15 años y plantaciones mayores de 15 años de edad. Se establecieron 22 parcelas de muestreo, anidadas en subparcelas de distinto tamaño. La

parcela de 250 m^2, se utilizó para muestrear árboles de sombra, la subparcela de 25 m^2, se utilizó para la toma de datos de plantas de café y la Subparcela de 1 m^2 para hojarasca, maleza y suelo.

Según los resultados se estima que la finca El Cascajal tiene un contenido de carbono fjiado en el sistema agroforestal de café bajo sombra de 21,922.88 toneladas. En el presente estudio se proponen lineamientos estratégicos para el aprovechamiento del contenido de carbono fijado en la plantación, para una producción sustentable de la finca.

2. ANTECEDENTES

En el año 2012 se realizó el lanzamiento del proyecto “Implementación del Módulo Clima” en fincas y grupos Certificados Rainforest Alliance, financiado por Fundación Efico. El Módulo de Clima es un conjunto de normas y criterios dentro de la norma de la Red de agricultura Sostenible que ha servido como herramienta para sensibilizar a los productores de café sobre los impactos generados por el cambio climático, con la finalidad de promover la adopción de buenas prácticas agrícolas en fincas y cooperativas cafetaleras en Guatemala y Centro América para adaptarse y mitigar el cambio climático.

En el 2010 El Centro de Agricultura Tropical (CIAT) y ANACAFE firmaron un convenio de cooperación, para el proyecto Coffee Under Pressure (CUP), para el análisis espacial del cambio climático del 2020 al 2050 en la adaptabilidad del café al cambio climático en el territorio de Guatemala, con el objeto de evaluar los impactos del cambio climático en la calidad y producción del café, así mismo, predecir la futura adaptabilidad de las zonas de abastecimiento de café.

En el año 2005 Rainforest Alliance, elaboró el Programa de Certificación para la Red de Agricultura Sostenible, la cual fomenta la sostenibilidad social y ambiental de actividades agrícolas, mediante el desarrollo de normas y certificación de fincas, para logar una agricultura amigable con el medio ambiente.

La Finca el Cascajal en el año 2003 inició la implementación de prácticas sostenibles para la producción de café, que incluye aspectos agrícolas, sociales, legales, laborales, ambientales, de relaciones con la comunidad, salud y seguridad ocupacional. Actualmente está en el proceso de certificarse con el sello de Rainforest Alliance en la certificación Módulo Clima de la Red de Agricultura Sostenible, que tiene como objetivo aumentar la conciencia sobre el cambio climático y promover mejores prácticas que ayuden a los productores y a sus comunidades a adaptarse mejor a los retos de un clima cambiante.

3. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, el cambio climático global se atribuye generalmente a la concentración en la atmósfera de los llamados “gases de efecto invernadero” (GEI), como el dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4) y ozono (O_3) por arriba de los niveles históricos. Esto tiene como consecuencia un incremento en la temperatura ambiental de la tierra, que podría generar un cambio climático con alteraciones en los ciclos hídricos, sequías, inundaciones y más desastres naturales que comprometerían la existencia de vida en el planeta. Debido a su abundancia, el dióxido de carbono (CO_2) es el gas de efecto invernadero más importante producido por las actividades humanas, siendo el uso de combustibles fósiles y el cambio en el uso del suelo las principales fuentes de CO_2 emitidas a la atmosfera relacionadas con el cambio climático.

Una manera de contrarrestar la problemática del cambio climático es la disminución de la concentración de estos gases, principalmente el dióxido de carbono atmosférico, a través de su fijación y almacenamiento en ecosistemas forestales y agroforestales.

En la Finca el Cascajal, se desconoce el potencial de fijación de carbono que poseen los sistemas agroforestales, específicamente el sistema café bajo sombra. Los sistemas agroforestales tienen gran importancia en la mitigación a problemas como lo es el cambio climático, brindando servicios ambientales aun no valorados como conservación de la biodiversidad, del suelo, de fuentes de recarga hídrica, además es un componente valioso para la fijación de carbono.

El no conocer el valor ambiental que proporcionan los agrosistemas cafetaleros y las ventajas que este aporta como, obtención de múltiples productos, mejor utilización del espacio, incrementa la productividad, contribuye al mejoramiento de las condiciones del suelo, reduce el potencial de erosión del suelo, estabiliza el microclima, conservación de biodiversidad, disminución de los riesgos por pérdidas de cultivo, almacenamiento de carbono, fuentes de energía como leña; tienden a sustituir los sistemas cafetaleros por cultivos anuales más rentables, localmente, no amigables con el ambiente y con

menor potencial de almacenamiento de CO_2. Ocasionando pérdida de fertilidad de los suelos, alteraciones en la biodiversidad, suelo, fuentes de recarga hídrica, así mismo, disminución de ingresos económicos por pérdida de fuentes energéticas, múltiples productos y venta CO_2 atmosférico a organismos internacionales.

4. JUSTIFICACIÓN

El cambio climático es sin duda, uno de los problemas ambientales más importantes que enfrenta la humanidad en el siglo XXI. La acumulación acelerada de estos gases en la atmosfera causa el calentamiento de la tierra, impactando en diversos grados a sistemas socioeconómicos y naturales. El CO_2 es el gas de efecto invernadero que más ha contribuido al aumento de la temperatura en la tierra.

Los bosques son reconocidos como sistemas importantes en servicios ambientales, como almacenamiento y captura de dióxido carbono. Sin embargo, existen sistemas agroforestales que pueden tener la misma función ambiental que dichos bosques. Los cafetales con sombra son sistemas agroforestales con potencial de ser incorporados en la fijación de carbono.

Los sistemas agroforestales brindan servicios ambientales aun no valorados, los cuales pueden mantener y hasta aumentar las reservas de carbono en la vegetación y los suelos. De hecho, la agroforestería fomenta prácticas sostenibles de bajos insumos que minimizan la alteración de los suelos y biodiversidad, fomentando el incremento de vegetación perenne y fundamentalmente contribuyendo al almacenamiento de carbono a largo plazo. El componente arbóreo en los sistemas agroforestales puede llegar a evitar la explotación de los bosques al suplir suficiente energía a bajos precios.

En particular el uso de la tierra con plantaciones de café tiene ventajas iníciales que otros cultivos (principalmente anuales) no las tienen. Las plantaciones de café son leñosas y como tales fijan y mantienen retenida una importante cantidad de carbono, los sistemas de siembra permite una cobertura y amarre significativo (aunque no totalmente) del suelo.

La Finca el Cascajal cuenta con 286 Ha. de café bajo sombra diversificada, en dicha finca no se ha realizado ningún estudio del potencial de fijación de carbono que tiene este agrosistema, es por ello que es importante realizar esta investigación sobre almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales café bajo sombra; tomando en

cuenta que los sistemas agroforestales no son sólo una alternativa de producción sostenible, sino una oportunidad para diversificar las fincas e incrementar las fuentes de ingresos con la posible venta de servicios ambientales por reducción del CO_2 atmosférico.

La información generada puede contribuir a beneficiar significativamente a otros productores locales del cultivo de café, mediante la diversificación de sus ingresos, favoreciendo su desarrollo sustentable, al dar un valor agregado a estos agrosistemas.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Estimar el carbono fijado en el sistema agroforestal café bajo sombra, en la finca El Cascajal, ubicada en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula, para apoyar procesos de certificación y sostenibilidad del sistema de producción.

5.2 Objetivos específicos

- Estimar la cantidad de carbono fijado en el sistema agroforestal café bajo sombra en diferentes edades y estratos de la plantación la finca El Cascajal.

- Proponer lineamientos estratégicos que permitan aprovechar el potencial de las plantaciones de café bajo sombra en la fijación de carbono para una producción sustentable de la finca.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 El efecto invernadero

El dióxido de carbono como parte de los gases de efecto invernadero (GEI) impiden el escape de los rayos calóricos, provenientes de la energía solar. Este es un efecto natural que mantiene la tierra en una temperatura por encima del punto de congelación del agua, permitiendo la vida en la tierra. Pero, el incremento de los gases de efecto invernadero, desde los tiempos preindustrializados, el cual se ha elevado de 280 ppm a 375 ppm de CO2, ha causado un cambio significativo en el ciclo natural, incrementando las temperaturas globales promedios de la tierra, procesos conocidos como cambio climático según Márquez (2000).

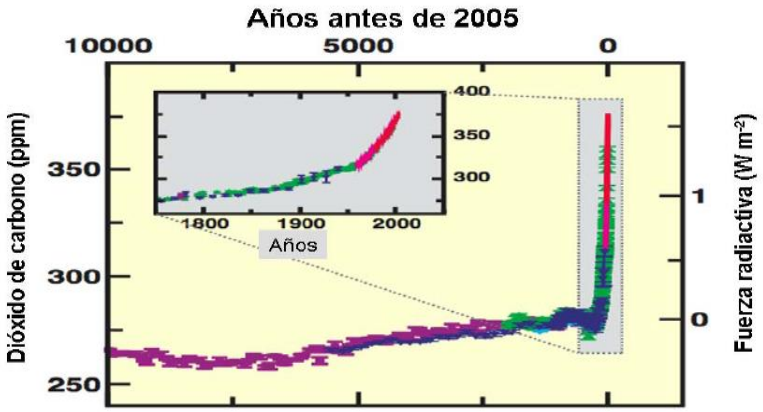
El efecto invernadero es la retención de calor en la baja atmosfera debido a la absorción y a la re-radiación de las nubes y algunos gases. La energía recibe su energía del sol en forma de radiaciones solares. Las radiaciones solares de onda corta (visibles) recibidas del sol pasan a través de la atmosfera con poca o ninguna interferencia y calienta la superficie terrestre. Las radiaciones térmicas de onda larga, emitidas por la superficie calentada, son absorbidas en parte por restos de elementos o por gases “de efecto invernadero. Estos se encuentran en la atmosfera en pequeñas cantidades y reflejan hacia toda las direcciones la radiaciones térmicas de onda larga (Ciesla 1996).

La cantidad de gases de efecto invernadero en la atmosfera pueden influenciar las temperaturas mundiales. Si estos gases aumentan, las temperaturas podrían subir, en cambio si disminuyeran las temperaturas bajarían (Ciesla 1996). Está comprobado que las actividades humanas son causantes de cambios en la composición de la atmósfera (Figura 2). Los incrementos en la concentración de dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) y otros gases en la atmósfera son los causantes del efecto invernadero. Entre las actividades humanas causantes del incremento de gases en la atmósfera están el uso desmedido de combustibles fósiles, la industria, el transporte, actividades agropecuarias y tala de árboles (Mintzer 1992).

6.2 Dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO_2) es el gas antropogénico de efecto invernadero más importante. La concentración atmosférica global de CO_2 ha aumentado de un valor preindustrial de 280 ppm a 379 ppm (Figura 1). La concentración atmosférica de dióxido de carbono en 2005 excede por lejos la gama natural sobre los últimos 650.000 años (180 a 300 ppm) determinado como de centros de hielo. La tasa de crecimiento anual de la concentración de CO_2 fue más grande durante los últimos 10 años (1995-2005 medio: 1,9 ppm por año), que lo presentado desde el principio de medidas atmosféricas, directas y continuas (1960 – 2005 medio: 1,4 ppm por año) (IPCC 2007)

Figura 1. Aumento de la concentración atmosférica global de CO_2



Fuente: IPCC (2007)

Las moléculas de CO2, a diferencia de otros componentes del aire puro, poseen la propiedad de absorber la radiación infrarroja (calor) del sol, por cuanto más CO2 haya en la atmósfera más calor puede ésta absorber. Cantidades enormes de CO2 entran cada año a la atmósfera como consecuencia del uso generalizado de combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural). Debido al constante intercambio de CO2 entre la atmósfera y el océano (el cual puede absorber una gran parte de CO2), solamente parte del CO2 antropogénico permanece en la atmósfera. Sin embargo, no hay duda alguna de que la concentración de CO2 en la atmósfera ha estado aumentando de año en año, por ejemplo, las emisiones de este gas crecieron a una tasa de 4,3% anual desde 1860 a 1970 y una de 2,8 entre 1970 y 1979 como lo enuncia Enamorado (2012).

6.3 Ciclo del carbono

Aunque el carbono es un elemento muy raro en el mundo no viviente de la Tierra, representa alrededor del 18% de la materia viva. Es un elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo, y subsuelo. Estos son considerados depósitos (reservorios) de carbono. El carbono pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos. La atmósfera es el menor y el más dinámico de los reservorios del ciclo del carbono. Mientras tanto, todos los cambios que ocurren en este reservorio tienen una estrecha relación con los cambios del ciclo global de carbono y del clima. Gran parte del carbono presente en la atmósfera ocurre en la forma de dióxido de carbono (CO_2, también conocido como gas carbónico). En menor proporción, el carbono atmosférico se presenta en la forma de metano (CH4), Perfluorcarbonatos (PFCs) e Hidrofluorocarbonos (HFC).

El intercambio de carbono entre el reservorio terrestre y el atmosférico es el resultado de procesos naturales de la fotosíntesis y respiración, y de la emisión de gases causados por la acción humana. La captura de carbono por medio de la fotosíntesis ocurre cuando las plantas absorben energía solar y CO_2 de la atmósfera, produciendo oxígeno e hidratos de carbono (azúcares como la glucosa), que sirven de base para su crecimiento.

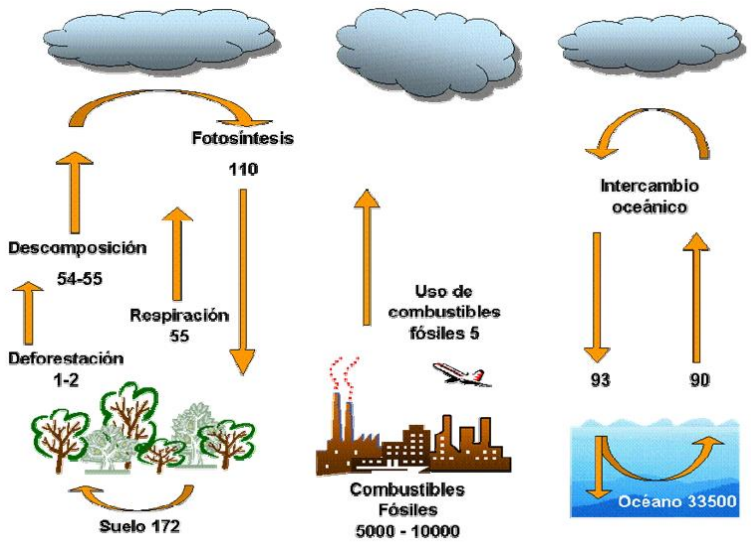
6.4 Almacenamiento de carbono

El almacenamiento y la fijación de carbono es uno de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y agroforestales. La fijación de carbono se genera en el proceso de fotosíntesis realizado por las hojas y otras partes verdes de las plantas, que capturan el CO_2 de la atmósfera y producen carbohidratos, liberan oxígeno y dejan carbono que se utiliza para formar la biomasa de la planta, incluyendo la madera en los árboles. En ese sentido, los bosques tropicales, las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales, y en general, aquellas actividades que lleven a la ampliación de una cobertura vegetal permanente, pueden cumplir la función de "sumideros de carbono"). Entre los sumideros de carbono, se encuentran los propios suelos agrícolas,

cuya capacidad de almacenar carbono está directamente relacionada con el contenido de materia orgánica de los mismos (Ávila 2000).

Una parte del carbono fijado es transformado en biomasa y la otra parte es liberada a la atmósfera por medio de la respiración. Los bosques del mundo absorben 110 Gt C año, mientras que mediante la respiración emiten 55 gigatoneladas de carbono (Gt C año) y por medio de la descomposición emiten de 54 a 55 gigatoneladas de carbono (Gt C año), según Ávila (2000).

Figura 2. Fuentes y sumideros de carbono.



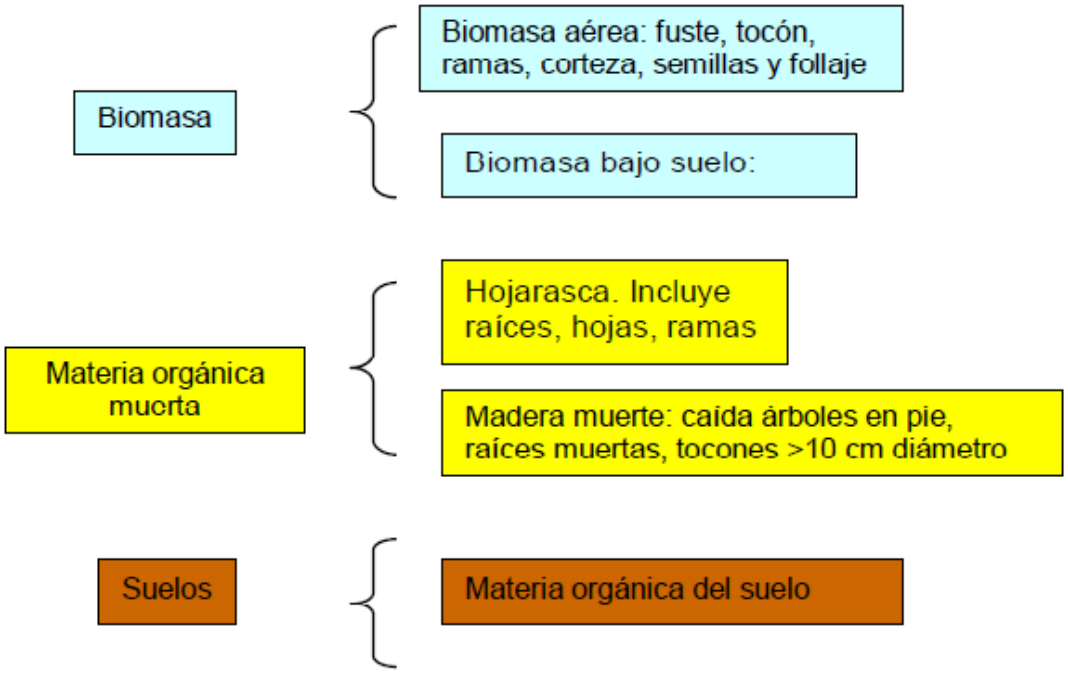
Fuente: Ordoñez (1998)

6.5 Biomasa y carbono

La biomasa es un parámetro que caracteriza la capacidad de los ecosistemas para acumular materia orgánica a lo largo del tiempo y está compuesta por el peso de la materia orgánica aérea y subterránea que existe en un ecosistema forestal (IPCC 2007) Según el IPCC (2007), es la masa total de organismos vivos presentes en un área o volumen dados; se suele considerar biomasa muerta el material vegetal muerto recientemente. La biomasa es importante para cuantificar la cantidad de nutrientes en diferentes partes de las plantas y estratos de la vegetación, permite comparar distintos tipos de especies o vegetación o comparar especies y tipo de vegetación similares en diferentes sitios.

La biomasa se define como la suma total de la materia viva que se encuentra en un ecosistema en un momento determinado y se expresa en términos de peso masa o volumen. Los estudios de biomasa son importantes para comprender el ecosistema forestal, ya que explica la distribución de la materia orgánica en el sistema y permiten evaluar los efectos de una intervención, respecto a su equilibrio en el ecosistema (Pardé, citado por Gasparri y Mangui 2014).

Figura 3. Componentes de almacenamiento de carbono.



Fuente: IPCC (2003)

6.6 Sistemas agroforestales y la fijación de carbono

Los sistemas agroforestales (SAF) pueden mantener y hasta aumentar las reservas de carbono en la vegetación y los suelos. De hecho, la agroforestería fomenta prácticas sostenibles de bajos insumos que minimizan la alteración de los suelos y la erosión de la biodiversidad, fomentando el incremento de vegetación perenne y el ciclaje de nutrimentos, pero fundamentalmente contribuyendo al almacenamiento de carbono a largo plazo (Mena 2008). Los sistemas agroforestales ayudan a evitar el agotamiento de las reservas o almacenamientos naturales de carbono ya existentes, reduciendo la presión sobre los bosques. El componente arbóreo en los sistemas agroforestales

puede llegar a evitar la explotación de los bosques al suplir suficiente energía a bajos precios, y si la madera de los árboles es procesada, un 50 % de ella actúa como almacén de carbono hasta su descomposición.

Los sistemas agroforestales, no son sólo una alternativa de producción sostenible, sino una oportunidad para diversificar las fincas e incrementar las fuentes de ingresos con la posible venta de servicios ambientales por reducción del CO_2 atmosférico. El establecimiento de mercados de servicios ambientales puede contribuir de distintas maneras al desarrollo sostenible en el medio rural y en algunos casos sus beneficios trascienden el nivel local y adquiere una dimensión regional y hasta global. El desarrollo de estos mercados puede conducir al surgimiento de nuevas actividades económicas, generación de empleo y de ingresos a los propietarios de recursos generadores de servicios ambientales. También, permite la transferencia de conocimientos y de recursos de otros sectores nacionales e internacionales al medio rural (Suarez 2002).

En sistemas agroforestales, el componente más importante de la biomasa arriba del suelo es la biomasa de los árboles. ANACAFE, (1998) encontró que en promedio el carbono almacenado en el sistema cafetalero fue 93 Mg C ha-1, C para el carbono orgánico del suelo (0-30 cm), biomasa arriba del suelo, hojarasca y biomasa abajo del suelo, respectivamente. Se concluyó al comparar con los resultados de carbono en tierras degradadas y cultivos anuales, que el carbono adicional fijado por el sistema cafetalero respecto a estos usos del suelo se encuentra en los árboles que conforman la sombra del sistema agroforestal café árboles.

Pandey, citado por Mena (2008) sugiere que un sistema agroforestal crea una interacción sinérgica entre los cultivos y los árboles para sostener la productividad, mientras que al mismo tiempo el carbono es secuestrado y, determinó que los sistemas agroforestales tienen dos beneficios principales para conservar carbono.

- Almacenaje directo de C a corto y mediano plazo (décadas y hasta siglos) en los árboles y en el suelo.

- Reducción indirecta de la emisión de los gases de efecto invernadero causada por la deforestación y la agricultura migratoria.

6.7 Servicios ambientales

El esquema de “pago por servicios ambientales” es una estrategia para proyectos de desarrollo sustentable, que se basa en reconocer que los recursos naturales son finitos y tienen valor (Cordón 2008)

Se consideran como servicios ambientales, captura de carbono, conservación de la diversidad biológica, servicios hídricos y belleza escénica.

El pago por servicios ambientales, es entonces, un esquema en el que se hacen transacciones entre los oferentes y los compradores o usuarios del servicio ambiental. Estas transacciones pueden hacerse directamente entre comprador y vendedor una vez desarrollado un mercado (los compradores aportan para la conservación y mejoramiento del servicio) o indirectamente cuando el Estado interviene adquiriendo dichos servicios, por medio de impuestos y subsidios (Cordón 2008).

6.8 Mercado de carbono

Como resultado de las nuevas transacciones, se delineó la existencia y organización de un nuevo mercado mundial: el mercado de carbono. Se trata de un mercado de dimensiones internacionales, sustentado en base a la generación, intercambio y comercialización de las unidades de reducción de emisiones de GEI y las unidades de emisión de GEI. El objetivo común es facilitar el cambio progresivo de tecnología y producción a nivel mundial, con un uso menos intensivo de recursos y estructuras que emitan gases de efecto invernadero, permitiendo la creación de un nuevo mercado basado en el intercambio. Si bien en el mundo se registran transacciones desde la década de los 90, el verdadero impulso a los mercados de carbono se produce a partir de la entrada en vigencia del Protocolo de Kyoto en el mes de febrero de 2005.

El emergente mercado es amplio, complejo y segmentado. Además, hay mercados primarios y secundarios, lo que conduce a la formación de diversos precios. Existen

múltiples mercados de carbono a nivel, también conocidos como mercados ambientales, que se dividen en dos grandes grupos, los mercados regulados y los mercados voluntarios.

Los certificados generados por proyectos realizados en países en desarrollo en el marco del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) se llaman “CERs” por sus siglas en inglés (Certified Emission Reductions) siendo un mecanismo de flexibilidad contemplados en el Protocolo de Kioto. Certificados de reducción de emisiones voluntarias, son los certificados comercializados en los mercados de carbono voluntarios (Villagrán 2012).

6.8.1 Mercados regulados

Los mercados regulados son un sistema de comercio a través del cual los gobiernos, empresas o individuos pueden vender o adquirir reducciones de GEI, las cuales son certificadas y contabilizadas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC 2005). El mercado regulado de emisiones está basado en las transacciones de proyectos de MDL y de IC, y en el comercio de derechos de emisión. Como el MDL fue el que mayor adopción tuvo por sus ventajas comparativas, el mercado regulado consiste mayormente en la compra/venta de CERs que son el producto del MDL. (Scordo 2012)

6.8.2 Mercado voluntario

El mercado voluntario o mercado “no Kyoto” es una alternativa dirigida a compradores voluntarios, cuyas necesidades o intereses son distintos a los compradores del mercado regulado, por ejemplo imagen corporativa, responsabilidad social, individuales o planificación para sistemas de compromisos futuros. A diferencia del MDL, a los proyectos no se les solicita la aprobación nacional del país anfitrión y el proceso de validación y verificación depende del estándar usado, en general, más simple y menos oneroso. Sin embargo, los criterios de aprobación de proyectos son similares a las del MDL y procuran asegurar que las reducciones sean verdaderas, de largo plazo y que cumplan con todas las normas ambientales. La existencia de un mercado voluntario para la reducción de emisiones puede ser un buen soporte para sectores del mercado

que no pueden afrontar los costos que implica cumplir con el Protocolo pero entregan reducciones reales de emisiones e importantes beneficios en términos de desarrollo sustentable. (Scordo 2012).

Se debe destacar que estos mercados voluntarios, son una alternativa para todos aquellos proyectos que no entran dentro del MDL, ya sea por tamaño o por tipo de metodología.

6.9 Compensación de carbono en café, en el mercado voluntario

El método voluntario puede ser más apropiado para pequeñas y medianas iniciativas (proyectos) que carezcan de capacidad y conocimiento para fomentar verdaderos bonos de carbono en el café. Ampliando la esfera de actividades y de las áreas previstas podría entonces resultar en la mayor participación de gente y de comunidades. Además, la inversión en organizaciones sociales o de productores podría facilitar a que los pequeños terratenientes tengan acceso a los posibles beneficios que los mercados de carbono ofrecen. Los estándares que conducen a la obtención de bonos de carbono verificados y que podrían ser adoptados por los caficultores (Gibbon, Hayward y Baroody 2009).

Los principales sistemas voluntarios para la validación y verificación de carbono que permiten el cambio de uso de la tierra y proyectos forestales son:

- El estándar del Carbono Voluntario
- Plan vivo
- Chicago Climate Exchange (CCX)
- CarbonFix

Aparte del mercado voluntario, está el mercado de conformidad, vale la pena hacer notar al Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM) del Protocolo de Kyoto. El CDM tiene estándares estrictos para proyectos de forestación y de reforestación (a F/R) que generan créditos por la venta a los países que buscan cumplir con los objetivos obligatorios de las emisiones de GEI. Estos créditos, conocidos como reducción de emisiones certificadas, son negociados en lo que es conocido como el mercado de conformidad. El mercado de conformidad más grande es el del Esquema de

Negociación de Emisiones de la Unión Europea, que está asociado con el Protocolo de Kyoto, pero también existen los mercados de conformidad regionales y nacionales (Gibbon, Hayward y Baroody 2009).

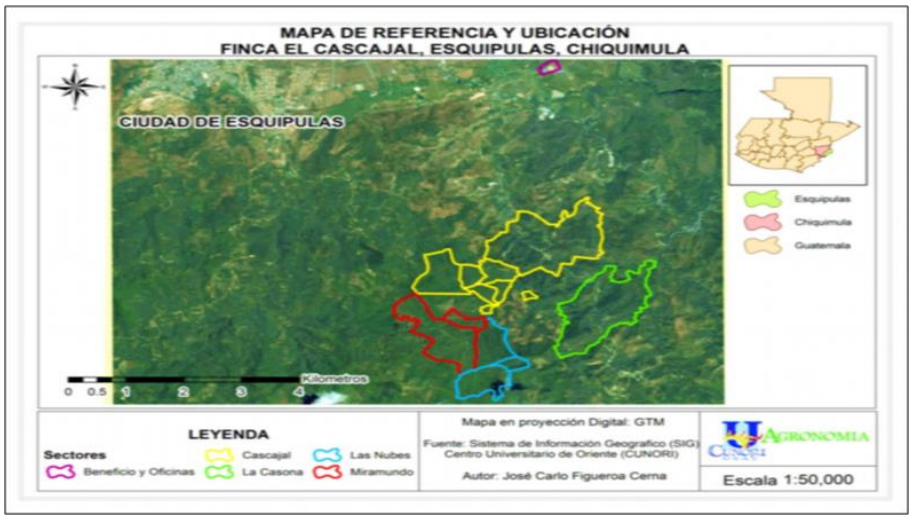
7. MARCO REFERENCIAL

7.1 Ubicación del área de estudio

El Municipio de Esquipulas está situado en la parte sur-oriental del departamento de Chiquimula, República de Guatemala, Centro América, en el área del Trifinio de las líneas divisorias entre las repúblicas de El Salvador, Honduras y Guatemala, a una altitud que oscila entre los 600 msnm y 2,500 metros en las montañas más altas. Colinda al norte con los Municipios de Olopa, Jocotán y Camotán del departamento de Chiquimula. Al Sur con municipio de Concepción las Minas y el país de Honduras. Al oriente con los departamentos de Copán y Ocotepeque de Honduras y al poniente con el municipio de Concepción las Minas y parte de Quezaltepeque del departamento de Chiquimula, Guatemala.

La Finca El Cascajal, se encuentra ubicada aproximadamente a 7km de la ciudad de Esquipulas, municipio de Chiquimula, en el Km 227 sobre la carretera CA-10, que conduce a la frontera Agua caliente de Honduras. Geográficamente La finca corresponde a las coordenadas: Latitud Norte 14˚31' 40.54". Longitud Oeste 89˚20'55". La altitud oscila entre los 960 a 1500 m.s.n.m.

Figura 4. Ubicación y referencia de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula.



Fuente: Figueroa Cerna (2013).

7.2 Vías de acceso

Para ingresar a la finca El Cascajal, se llega por la ruta CA-10, que conduce hasta el municipio de Esquipulas, hasta llegar a la carretera asfaltada que se dirige hacia la frontera de Agua Caliente de Honduras; se encuentra habilitado un camino de terracería transitable por vehículos de doble tracción en la aldea Atulapa, en el kilómetro 227.5, se toma un desvío de terracería de 1 km, después del badén del río que lleva el mismo nombre, se encuentra el área del beneficio húmedo de café. Dentro del área de la finca existe una red interna de caminos de terracería que conectan cada uno de los sectores de la misma.

Las oficinas centrales de la finca El Cascajal tienen acceso sobre el kilómetro 227.5, de la carretera CA-10 mediante un desvío que conduce a un camino de terracería de 2 km de longitud.

7.3 Extensión de la finca El Cascajal

El Área que actualmente posee la finca El Cascajal es de 654.6 Ha, distribuidas de la siguiente manera: 286.92 Ha de plantación de café, 348.10 Ha. de bosque natural y con 19.58 Ha. de guamil. La finca está dividida en cuatro sectores, tal como se detallan en el siguiente cuadro

Cuadro 1. Sectores y subsectores de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.

Sector	Lote
El Cascajal	Pino Barrial El Cerro Guinellal Matasano Zompopero Zarzalon
Miramundo	El Guayabito Miramundo II Las comadritas
Las Nubes	El Nuez Las Nubes El Tecomapa
La Casona	La Casona

Fuente: Elaboración propia (2014).

7.3 Característica biofísicas del área de estudio

7.3.1 Clima y zona de vida

La temperatura promedio en las partes más altas de la finca el cascajal son de 22 grados centígrados y una temperatura promedio de 26 en las partes más bajas. La altitud varía desde los 1,200 a 1,550 msnm. La época de lluvia va de mayo a octubre, con lluvias temporales durante noviembre, diciembre y enero. La precipitación pluvial es de 2,000 mm al año.

Dentro del área de la finca el cascajal se encuentran dos zonas de vida; en las partes bajas se encuentra la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical Templado bh-S(t), dicha zona de vida se caracteriza por frecuentes lluvias especialmente de mayo a noviembre. La biotemperatura oscila entre 20º y 26 ºC; El relieve del terreno es ondulado y accidentado. La parte más alta de la finca pertenece a la zona de vida Bosque muy húmedo Subtropical frío bmh-S(f).

7.4 Recursos naturales

7.4.1 Hidrología

El recurso agua es abundante en época de lluvia en la finca El Cascajal debido a que se encuentra en una zona de recarga hídrica de la cuenca del río Atulapa; el agua es captada mediante los diferentes nacimientos y quebradas que se encuentran en el lugar, para ser utilizada en las diferentes labores de la finca.

7.4.2 Flora

Finca El Cascajal posee remanentes boscosos de pino encino y sotobosque, convertidos en hábitats de muchas especies de aves residentes y migratorias**.** El área se caracteriza por tener diversidad de especies nativas, predominando el Duraznillo (*Calatola laevigata*), Liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*), Llorón (*Cornus disciflora*), Roble Negro (*Quercus pubescens*), Roble Amarillo (*Quercus oleoide shcletedal),* las coníferas como pino (Pinus oocarpa) y Ciprés (*Cupressus lusitánica)*, y muchas otras como el helecho gigante o Chipe. (Finca El Cascajal 2013)

Así mismo, más de cien especies de orquídeas, es relevante destacar que en el área de la finca durante un proceso de investigación se hizo el descubrimiento de una nueva especie, *Ornithocepalus cascajalensis Archila* (Finca El Cascajal 2013).

7.4.3 Fauna

Dentro del área de la finca se encuentran ciento setenta y seis especies de aves identificadas, entre residentes y migratorias, las cuales forman parte del inventario realizado por la Fundación para el Desarrollo y la Conservación (FUNDAECO), que pueden ser admiradas en el bosque latifoliado y en las plantaciones de café, convirtiéndose en excelente refugio debido a su extensa variedad de hábitats y estratos de vegetación. Además existe gran diversidad de fauna que habitan el área de la finca, especies como el armadillo, comadreja, conejo, cotuza, coyotes, gato de monte, iguana, mapache, sapo, tacuacín, tepezcuinte, zorrillo. y otras especies animales que son protegidas como el venado de cola blanca, mapaches, comadrejas, cotuzas y jaguarundis, que son una especie de felino de pelaje pardo a negro uniforme, cuyo estado de conservación es altamente preocupante (Finca El Cascajal 2013).

7.5.4 Suelo

Las categorías de uso de suelo identificadas según el USDA, para finca El Cascajal corresponden a las categorías: **IV** (Para cultivos con métodos especiales), **V** (Pastos), **VI** (Para bosques productores) y **VII** (Para bosques de protección). Con porcentajes de presencia del 12.54% 41.49%, 30.83% y 14.84%, respectivamente (Sancé 2009).

Las clasificaciones taxonómicas de suelos encontradas en la finca son: entisoles, inceptisoles, andisoles y alfisoles; en un porcentaje de presencia del 40.0%, 18.22%, 38.46% y un 3.33%, respectivamente (Sancé 2009).

- **Entisoles:** Los suelos presentan un proceso de acidificación progresiva, probablemente asociado al uso de fertilizantes de efecto residual ácido y a la falta de uso adecuado de enmiendas para mejorar la condición del suelo y la fertilidad. Estos suelos están localizados en los sector de la finca: Zarzalón, La Casona, El Matasano, El Sompopero, El Guineal, El Cerro y El Barrial.

- **Inceptisol:** Los suelos presentan un proceso de acidificación progresiva, probablemente asociado al uso de fertilizantes de efecto residual ácido y a la falta de uso adecuado de enmiendas para mejorar la condición del suelo y la fertilidad. Este tipo de suelo están situados en La Casona, El Barrial, El Sompopero, Anexo Abel, El Cerro, El Guineal, Miramundo I, Miramundo II, El Guayabito, El Nuez, Tecomapa y las Nubes.

- **Andisol:** Los suelos presentan un proceso de acidificación progresiva, probablemente asociado al uso de fertilizantes de efecto residual ácido y a la falta de uso adecuado de enmiendas para mejorar la condición del suelo y la fertilidad. Sectores como: Miramundo II, El Nuez, Tecomapa y las Nubes.

- **Alfisol:** Los suelos presentan un proceso de acidificación progresiva, probablemente asociado al uso de fertilizantes de efecto residual ácido y a la falta de uso adecuado de enmiendas para mejorar la condición del suelo y la fertilidad. Los sectores en donde se identificó están Miramundo II, El Nuez, Tecomapa y las Nubes (Sancé 2009).

7.5 Investigaciones relacionas con el tema

7.5.1 Estudio de línea base de carbono en cafetales

En el 2010, la Universidad del Valle, realizó una estimación de carbono fijado en cafetales en los departamentos de San Marcos, Santa Rosa y Jalapa. En San Marcos se trabajó la Fina el Platanillo, en Santa Rosa y Jalapa se trabajó en 5 cooperativas que agrupan a pequeños productores.

En promedio, los cafetales estudiados contienen 80 ± 5.2 ton C/ha. Los arboles de sombra son los elementos que contienen más carbono (45% del total), seguido del suelo (40% del total), las plantas de café apenas presentaron el 9% del carbono del sistema.

Cuadro 2. Densidad de carbono en las áreas de estudio, línea base de carbono en cafetales, 2010.

	Contenido de carbono ton C/Ha.					
Sitio de estudio	**Arboles**	**Café**	**Maleza**	**Hojarasca**	**Suelo**	**Total**
Nuevo Sendero	38	9	0.7	6.3	25	79
2 de Julio	40	6	o.2	5.9	25	76
Las Brisas	27	8	0.3	5.1	18	59
Esperanza del Futuro	41	9	0.3	3.3	28	82
Union Duraznito	64	8	0.2	5.9	17	95
Finca el Platanillo	25	4	0.6	2.4	58	90

Fuente: Quilio, Castellanos y Pons (2010).

7.5.2 Relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y composición fisionómica en los sistemas agroforestales con café

Víctor Mena en el 2008, determinó la relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y la composición fisionómica de la vegetación en los sistemas agroforestales laurel-café y poró-café y en bosque secundario, en tres pisos altitudinales del corredor biológico Volcánica Central-Talamaca, Costa Rica. Se establecieron 18 parcelas temporales de muestreo en tres diferentes sistemas de uso de tierra, ubicados en los pisos altitudinales bajo 600 m, medio 800 mm y alto 1300 m de altitud.

El carbono en la biomasa total reportó en promedio 69.4 Mg C ha. El carbono almacenado en los bosques secundarios presentó en promedio 271.7 Mg C ha (69 %) distribuidos en la biomasa aérea, biomasa de raíces, necromasa y carbono orgánico en el suelo. Así mismo, los sistemas agroforestales con café reportaron un carbono almacenado promedio de 121.1 Mg C ha (30.8 %) distribuidos en la biomasa aérea total, biomasa de las raíces, necromasa y carbono almacenado en el suelo.

7.5.3 Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua.

Suárez Pascua (2002), realizó una investigación para cuantificar y valorar económicamente el servicio ambiental de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café, los sistemas de café bajo estudio fueron: café joven con sombra diversificada, café productivo con sombra diversificada y café productivo con *ingas sp.,* café productivo con especies maderables y café productivo en abandono.

El carbono total almacenado por los sistemas oscila entre 149.9-166.7 tC ha, siendo el café joven con sombra el estrato que almacena mayor cantidad de carbono y el café productivo en abandono almacena menor cantidad de carbono. El suelo contribuye entre el 75-97 % del carbono total del sistema, mientras que los arboles de sombra aporta entre 5.6-14 %, la hojarasca con 2,3-3.9 % y las plantas de café con el 0.1-1.5 %, siendo este ultimo la fuente que menos carbono almacena.

Este estudio incluyó la valoración económica a través del método de valoración de costo de oportunidad, en el cual se determinó un costo de oportunidad de almacenar carbono en los sistemas agroforestales de café, bajo tres escenarios de comparación: nivel optimo ecológico vrs nivel optimo económico; situación actual vrs nivel optimo ecológico; situación actual vrs situación futura.

8. MARCO METODOLOGICO

8.1 Estimación de carbono fijado en la plantación de café

La metodología utilizada para llevar a cabo esta investigación, se basa en el procedimiento utilizado por el CEAB-UVG (Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala).

8.1.1 Descripción de las variables estudiadas

a) Biomasa arriba del suelo

La biomasa arriba del suelo está compuesta por las plantas de café, árboles de sombra y maleza. Estos componentes de la biomasa se muestrearon en parcelas de proporciones acorde a su tipo de vegetación. En parcelas de 1 m^2 se tomó muestras de maleza, en parcelas de 25 m^2 se midió diámetros y alturas de plantas de café y en las parcelas de 250 m^2 árboles de sombra, en la cual se tomaron datos de diámetros y alturas de arboles.

b) Biomasa abajo del suelo

La biomasa abajo del suelo se refiere a las raíces de la vegetación del ecosistema estudiado. Sin embargo por razones de costos y por estudios previos realizados para esta variable se tomó un factor constante de 26%, del porcentaje de la biomasa arriba del suelo.

c) Hojarasca y materia vegetal muerta

La hojarasca se refiere a vegetación que se encuentra en proceso de descomposición. Al momento de colectarla se tuvo especial cuidado en recoger toda la capa de materia en descomposición, incluyendo el humus y materia vegetal muerta que no esté en proceso de descomposición aún. Para la materia vegetal muerta se tomaron en cuenta árboles muertos ya sea en pie o caídos. Los árboles muertos en pie o caídos se toman en cuenta en las parcelas correspondientes a los diámetros respectivos de árboles vivos.

d) Suelos

Para la variable suelo se determinó el contenido de carbono en los primeros 10 cm de profundidad, ya que el cambio de uso del suelo tiene mayor efecto en las capas superiores.

8.1. 2 Actualización de uso de suelo de la finca El Cascajal

Para la actualización de uso de suelo de la finca El cascajal, se tomó como base los mapas generados en el año 2007 (Anexo 1). Se realizó recorridos en las áreas nuevas de cultivo de café, que no estaban identificadas en los mapas existentes, para ello se utilizó equipo de GPS marca GARMIN, con un margen de error de +/- 3 m.

La información se procesó utilizando el sistema de información geográfica SIG. Se realizó polígonos para delimitar las áreas de plantación nuevas, para luego generar el mapa de uso actual de la finca El Cascajal. Después de elaborar el mapa de uso de suelo actualizado de la finca, se validó en campo con la participación del administrador de la finca el Cascajal; de acuerdo al mapa de uso de suelo, la finca cuenta con un área de 654.6 ha, distribuidas de la siguiente manera, como se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Área de la finca El Cascajal de acuerdo al uso de suelo, 2013.

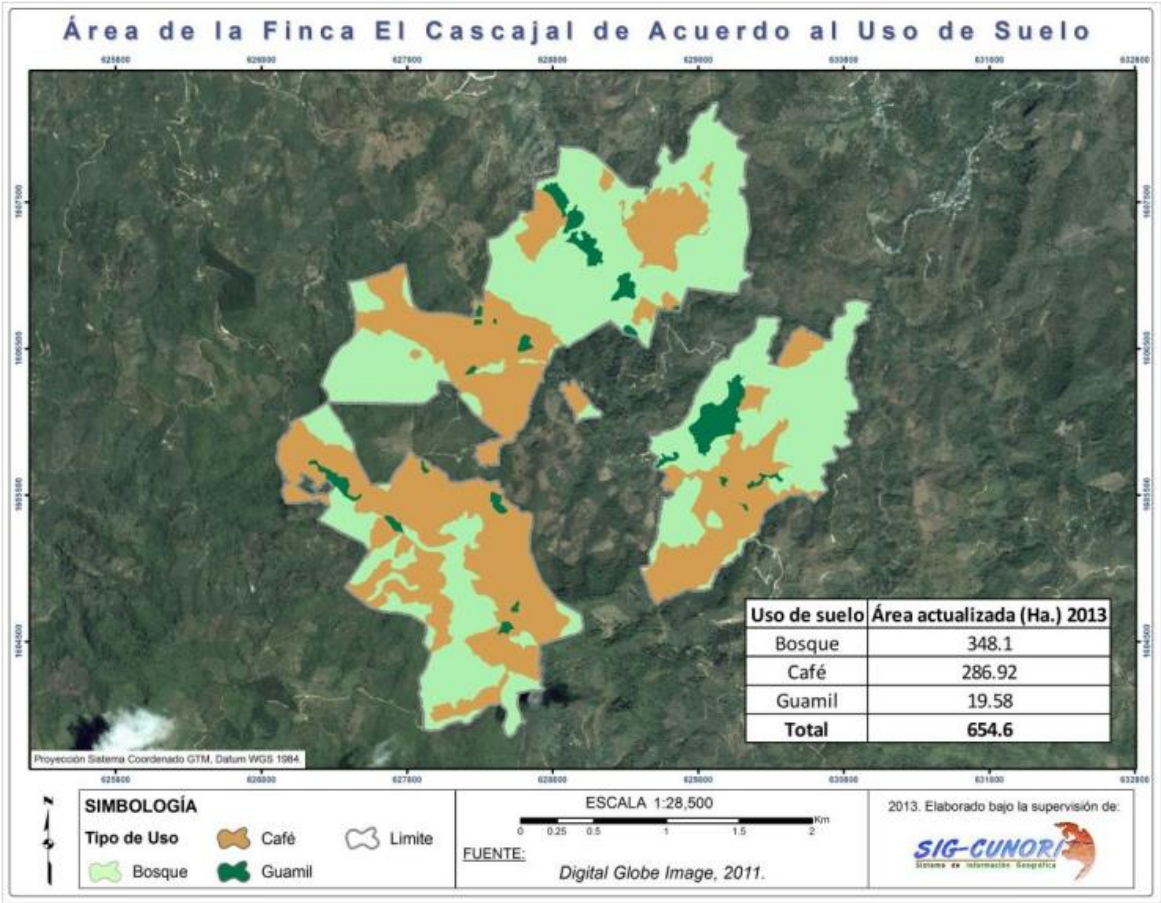
Uso de Suelo	Área Finca el Cascajal Ha (2007)	Área actualizada Ha (2013)
Café	238.6	286.92
Bosque	391.83	348.11
Guamil	24.18	19.58
Total	654.61	654.61

Fuente: Elaboración propia (2014).

En el cuadro 3, se muestran los resultados de la actualización del uso de suelo en la finca, donde el área cultivada con café corresponde a 286.92 Ha para el año 2013, lo cual indica que existe un aumento de 48.32 Ha con el cultivo de café del año 2007 al

2013; se observa una disminución del bosque natural y de las áreas de guamil. En la figura 5, se muestra el área de uso de suelo actual que posee la finca El Cascajal.

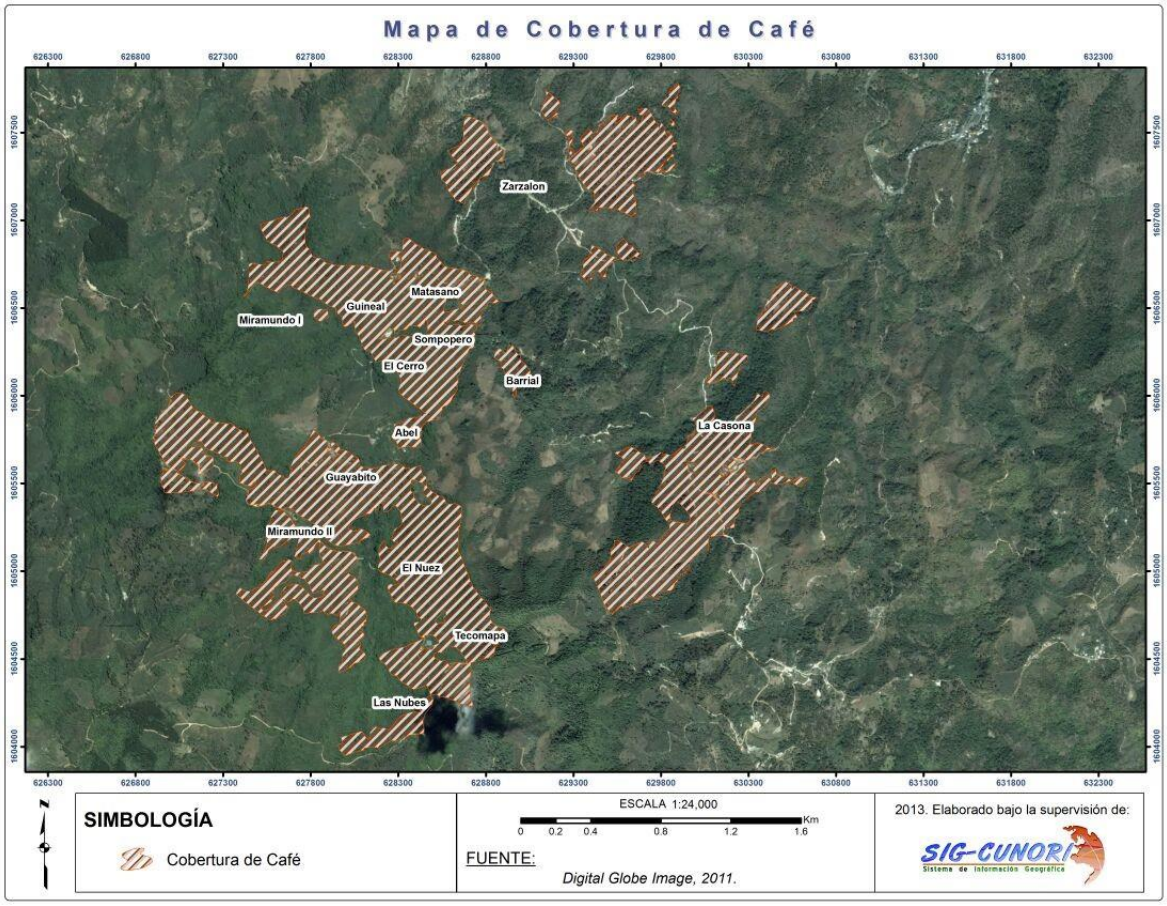
Figura 5. Mapa de uso del suelo de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.



Fuente: SIG-CUNORI (2013).

La actualización de uso de suelo de la finca, se realizó para conocer el área total del cultivo de café, para establecer el diseño de muestreo, se necesitaba conocer el área de la plantación. Con el área de la plantación de café actualizada, se procedió a clasificarla por edades en años, y con ello se establecieron los estratos de la plantación. En la figura 6 se muestra la cobertura de la plantación de café en la finca El Cascajal.

Figura 6. Mapa de cobertura del cultivo de café de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.



Fuente: SIG-CUNORI (2013).

8.1.3 Diseño del inventario

Para el desarrollo del inventario se utilizó parcelas rectangulares anidas, en el sistema agroforestal de café bajo sombra de la finca El Cascajal. El proceso del inventario de carbono consistió en estratificar las áreas de café bajo sombra de la Finca el Cascajal, tomando en cuenta la edad de las plantaciones de café y el área de las mismas. Dicha estratificación se realizó analizando el mapa actualizado de plantación de café de la finca, fotografías aéreas y otra información de apoyo para delimitar y clasificar las áreas de plantación.

8.1.4 Diseño del muestreo

Se utilizó una intensidad de muestreo del 0.2%, del total del área. Para la distribución de las parcelas se utilizó el muestreo aleatorio sin reemplazo, para lo cual, se determinó el área total de cada estrato homogéneo y se calculó el número de parcelas dentro de cada estrato, estas parcelas se distribuyeron de acuerdo al área de los lotes y a la edad de la plantación de café de la siguiente manera: plantaciones de café de 0 a 3 años, de 4 a 8 años, de 9 a 15 años y plantaciones de café mayores a 15 años

Para calcular el número de parcelas se utilizó la siguiente ecuación:

N = A * %M * (10,000/ T)

Donde:

N= número de parcelas por estrato

A= área total de los estratos homogéneos (Ha)

%M= porcentaje de muestreo (0.2%)

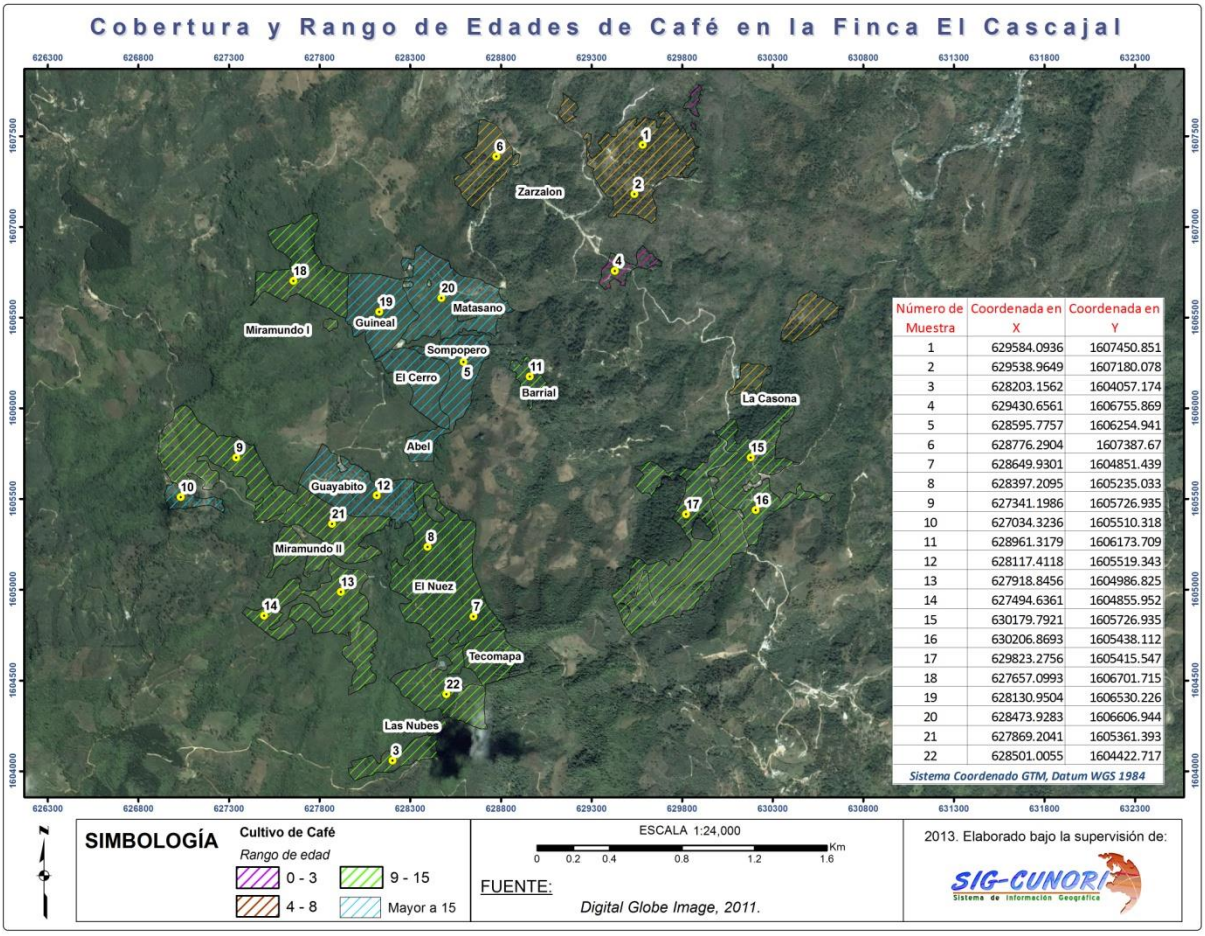
T= tamaño de la parcela (m^2)

Cuadro 4. Determinación del número de parcelas muestreadas en cada estrato de la plantación de café bajo sombra, en la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.

Rango de edad de plantacion (años)	Área (Ha)	N = A * %M * (10,000/ T)	Numero de parcelas
0-3	3.93	0.31	1
4-8	38.847	3.11	3
9-15	175.28	13.71	13
>15	68.86	5.51	5
Total	**286.92**		**22**

Fuente: Elaboración propia (2014).

Figura 7. Ubicación de las 22 parcelas muestreadas en la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.



Número de Muestra	Coordenada en X	Coordenada en Y
1	629584.0936	1607450.851
2	629538.9649	1607180.078
3	628203.1562	1604057.174
4	629430.6561	1606755.869
5	628595.7757	1606254.941
6	628776.2904	1607387.67
7	628649.9301	1604851.439
8	628397.2095	1605235.033
9	627341.1986	1605726.935
10	627034.3236	1605510.318
11	628961.3179	1606173.709
12	628117.4118	1605519.343
13	627918.8456	1604986.825
14	627494.6361	1604855.952
15	630179.7921	1605726.935
16	630206.8693	1605438.112
17	629823.2756	1605415.547
18	627657.0993	1606701.715
19	628130.9504	1606530.226
20	628473.9283	1606606.944
21	627869.2041	1605361.393
22	628501.0055	1604422.717

Sistema Coordenado GTM, Datum WGS 1984

Fuente: SIG-CUNORI (2013)

8.1.5 Tamaño de la muestra

En el muestreo se establecieron subparcelas anidadas dentro de la parcela principal de la siguiente forma: para el muestreo de árboles de sombra se utilizó parcelas de 250 m^2; para las plantas de café parcelas de 25 m^2; y para maleza, hojarasca y suelo, parcelas de 1 m^2.

Cuadro 5. Tamaño de subparcela y componentes evaluados en la estimación de carbono, en la plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal, 2013.

Subparcela	Tamaño	Componente evaluado
1ra. Subparcela	1 X 1 = 1m^2	Maleza, hojarasca y suelo
2da. Subparcela	5 X 5 = 25m^2	Diámetro a la base del tocón, altura y diámetro de copa de los cafetales
3ra. Subparcela	10 x 25 = 250 m^2	Diámetro a la altura del pecho y altura de los arboles de sombra

Fuente: Elaboración propia (2014).

8.1.6 Material y equipo necesario

Para realizar el inventario de carbono se utilizó: material cartográfico con ubicación de las parcelas y sus coordenadas, GPS, lazos, lápices, marcadores, formulario de campo, instrumentos de medición como cinta dimétrica, cinta métrica, clinómetro de Sunnto. Así como, equipo de primeros auxilios, linternas, repelente de insectos, equipo para lluvia.

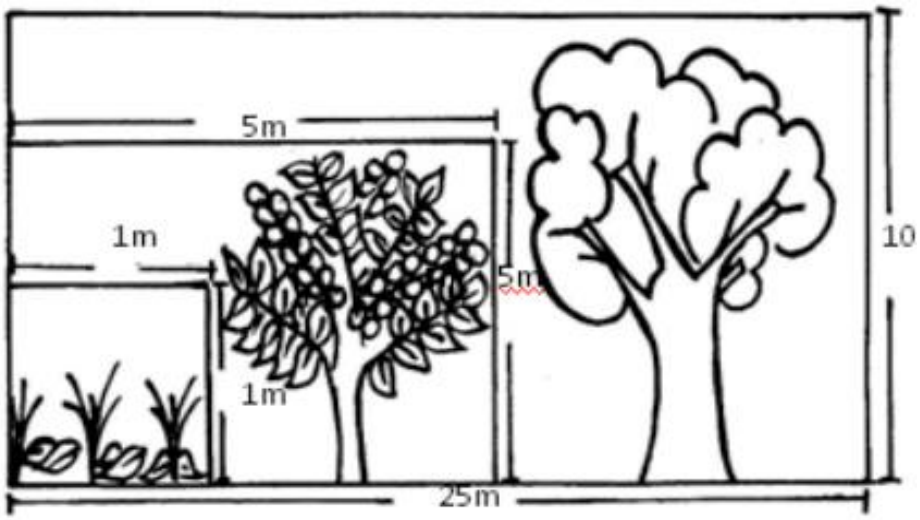
Para la toma de muestras se utilizó un cilindro para muestreo para suelo, martillo, bolsas Ziploc para el almacenamiento de muestras de hojarasca, vegetación y suelos, bolsa de plástico para colectar y homogenizar muestras, balanzas de campo (5 kg y 1,000 gr), machete, pala para colectar la hojarasca.

8.1.7 Estimación de biomasa en campo

a) Biomasa arriba del suelo

Para colectar la información de la biomasa arriba del suelo se utilizaron parcelas rectangulares anidadas (figura 4).

Figura 8. Diseño de parcelas rectangulares anidadas para muestrear distintos componentes del sistema agroforestal de café bajo sombra, en la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.



Fuente: Quilio, Castellanos y Pons (2010).

- **Biomasa en cafetales**

La biomasa de los plantas de café se calculó en la subparcela de 25 m^2. Para las plantas de café se utilizó tres variables de medición: diámetro a la base (DAB- cm), altura de la planta (H- m) y diámetro de copa (DC- m).

Criterios considerados para la toma de datos:

- Plantas sin recepa se tomó DAB a los 15 cm y altura de la planta.
  - Plantas de café recepada, se tomó el DAB (cm) a los 15 cm aproximadamente y la altura del tocón principal. Se Tomó DAB (cm), H (m) y DC (m) de cada uno de los rebrotes.

La biomasa de las plantas de café se calculó a través de varias ecuaciones generadas, siendo las siguientes:

Para obtener la biomasa de las plantas de café se utilizó las ecuaciones:

Para los rebrotes de la planta de café: $Y= 0.1955 * X^{1.648}$

Para el tocón de la planta de café: $Y =0.1124 * X^{0.5435}$

Para obtener el total de la biomasa de cada planta de café, se sumó el resultado de la ecuación para rebrotes, más el resultado de la ecuación del tocón y se multiplicó por el factor (1.266) que incluye la raíz de la planta.

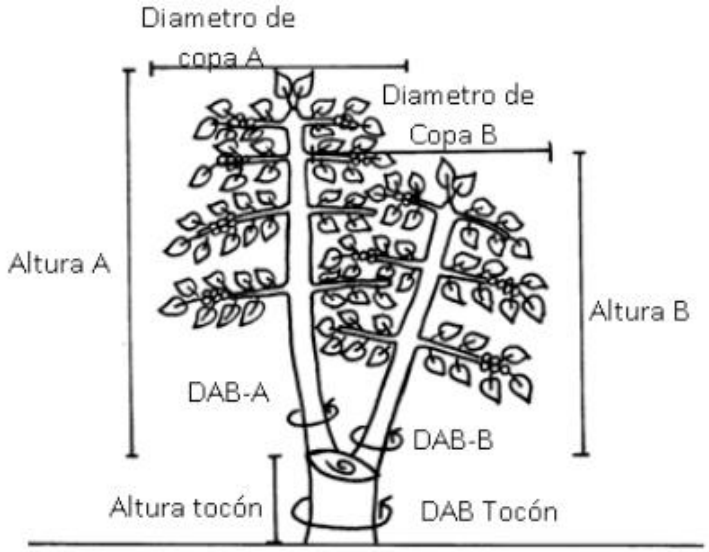
Biomasa total cafeto (Kg.) = [Σ biomasa hijos+ biomasa tocón * 1.266]

Cuadro 6. Ecuaciones utilizadas para calcular biomasa de las plantas de café en la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.

Especie	Ecuación	Variable	Fuente
Café sin recepa	$Y= \{(0.1955 * X^{1.648})*1.266 \}$	Y= biomasa seca (kg) X= DAB (cm)	CEA UVG, 2010
Café (retoño)	$Y=\{ (0.1955 * X^{1.648}*) 1.266 \}$	Y= biomasa seca (kg) X= DAB (cm)	CEA UVG, 2010
Café (Tocón)	$Y=\{ (0.1124 * X^{0.5435}) 1.266 \}$	Y= biomasa seca (Kg) $X = DAB^2 * H$	CEA UVG, 2010

Fuente: Quilio, Castellanos y Pons (2010)

Figura 9. Ilustración sobre las variables de medición para plantas de café, para estimar biomasa, finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.



Fuente: Quilio, Castellanos y Pons (2010)

- **Biomasa de sombra de café**

La biomasa de los árboles de sombra se determinó en parcelas de 10m X 25m. Dicha biomasa se calculó a través de ecuaciones generadas. En estas se consideraron varios datos, los principales DAP y la altura.

-La ecuación que se utilizó para arboles latifoliados es la siguiente:

$Y= \exp [-1.996+2.32*\ln(D)]$

Donde:

Y = Biomasa arriba del suelo en kilogramos

D = Diámetro a la altura del pecho (1.3 m) en centímetros

exp [...] = "e" elevado a la potencia de [...] (constante)

ln = Logaritmo natural

-Para las coníferas (pino, cipres) se utilizó la ecuación conífera:

$Y= 0.1377 * (D)^{2.4038}$

Donde:

Y=Biomasa en kilogramos (constante)

D= Diámetro a la altura del pecho (1.3m)

-Para estimar la biomasa en para *Inga sp.* Se utilizó la ecuación*:*

$Y= 0.01513 * X^{3.0054}$

Donde:

Y= Biomasa en Kg

X= Diametro a la altura del pecho (1.3m)

Cuadro 7. Ecuaciones utilizadas para estimar biomasa en arboles de sombra de la plantación de café, de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.

Especie	Ecuación	Variable	Fuente
Latifoliadas	Y=exp(-2.289+2.649*ln(D)-0.021*(ln(D))^2)	D= DAP	Winrock, 2005
Coníferas	$Y=0.1377 *(D)^{2.4038}$	D= DAP	CEA UVG, 2010
Inga sp.	$Y= 0.01513 * X^{3.0054}$	X= DAP	CEA UVG, 2010
Banano (*musa paradisiaca*)	$Y=0.03 * (D)^{2.13}$	D= DAP	Van Noordwijk et al, 2002

Fuente: Quilio, Castellanos y Pons (2010)

Las ecuaciones utilizadas en las plantas de café y en los arboles de sombra, permitió generar el total de biomasa en kilogramos, este resultado se dividió dentro de 1,000 para obtener toneladas. La teoría indica que en promedio la materia vegetal contiene 50% de carbono, una vez se ha removido el agua. Entonces, las toneladas de biomasa se multiplicaron por 0.5 para obtener toneladas de carbono (tC). El valor de carbono se dividió dentro de la superficie de la parcela de muestreo (en m^2) para obtener tC/m^2. Al multiplicar este resultado por 10,000, m^2/ha se obtuvieron toneladas de carbono por hectárea (tC/ha).

- **Maleza y hojarasca**

La estimación de este reservorio se realizó en la subparcela de 1 m^2. Fue necesario separar la hojarasca y la maleza encontradas en ese metro cuadrado. Se colectó toda la maleza, se tomó el peso húmedo total en campo. Seguidamente, se homogenizó la muestra para obtener una submuestra representativa, colocándola en una bolsa de cierre hermético debidamente identificada, la cual fue llevada al laboratorio para determinar contenido de humedad y determinar posteriormente el peso l seco. En el caso de la hojarasca se realizó el mismo procedimiento.

b) Suelo

Las muestras de suelo se tomaron en el centro de las parcelas. Se utilizó un cilindro con volumen conocido para recoger el suelo en los primeros 10 centímetros. Antes de introducir el cilindro se tuvo cuidado de limpiar bien el área, para evitar hojarasca o

raíces en la muestra. Después de extraer la muestra contenida en el cilindro, se tomó el peso húmedo del suelo y se almacenó la muestra en una bolsa de cierre hermético debidamente identificada.

8.1.2 Análisis de laboratorio

a) Material vegetal

Para determinar la materia seca de la maleza y hojarasca, se colocó la materia húmeda en un sobre previamente pesado, utilizando una balanza analítica, se tomó el peso húmedo. Se colocó la muestra en un horno de convección a temperatura 60ºC por 72 horas. Posteriormente se tomó el peso seco utilizando una balanza analítica. Luego en fase de gabinete, se estimó el cociente entre el peso seco y peso húmedo con la siguiente ecuación:

Ms = Ps/Ph

Donde:

Ms = Cociente de materia seca

Ps = Peso seco de la muestra

Ph = Peso húmedo de la muestra

Para convertir el peso total en campo de la biomasa se utilizó la siguiente ecuación:

Bt = Phc * Ms

Donde:

Bt = Biomasa total seca (Kg)

Phc = Peso húmedo total en campo (Kg)

Ms = Cociente de materia seca

Luego el resultado de la ecuación se multiplica por 0.5 para obtener carbono orgánico.

b) Suelo

Para calcular el carbono orgánico del suelo se utilizó el método “cilindro del volumen conocido”. (MacDicken, 1997), Una de las variables para la determinación de carbono almacenado en el suelo es la densidad aparente, el cual consiste en secar las muestras a temperatura ambiente y bajo sombra por 48 horas; luego se registra el peso y se divide dentro del volumen del cilindro, con la siguiente ecuación:

Da = Ps/Vol

Donde:

Da = Densidad aparente del suelo (g/cc)

Ps = Peso seco (g)

Vol = Volumen del cilindro (cc)

Las muestran de suelo se analizaron en el laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala, se utilizó el analizador Thermo Finnigan FLASH EA 1112. La ecuación que se utilizaró para determinar el carbono en el suelo es la siguiente:

Cs = Prof * Da * %C.O

Donde:

Cs = Carbono orgánico total en el suelo en los primeros 10 cm (ton C/ha.)

Prof. = Profundidad del muestreo (cm)

Da = Densidad aparente (g/cc)

%C.O = Porcentaje del contenido de carbono orgánico en el suelo

8.2 Lineamientos estratégicos para el aprovechamiento del carbono fijado en el agrosistema café bajo sombra

Para proponer los lineamientos estratégicos se tomó como base la información generada del carbono fijado en la plantación de café bajo sombra, para generar ingresos económicos mediante el acceso a créditos de carbono a cambio del carbono fijado en el agrosistema, en la finca El Cascajal. Así mismo, se planteó accesar a certificaciones que permitan promover una producción agrícola sostenible en la

plantación de café, mediante criterios voluntarios de adaptación y mitigación al cambio climático con el objetivo de aprovechar el volumen de tC fijados por el agrosistema.

Para el aprovechamiento del carbono fijado en la plantación de café bajo sombra se plantea la comercialización de créditos de carbono por medio de la implementación de la Metodología Agroforestal Simplificada de Rainforest Alliance, en el mercado voluntario de carbono, con lo que se pretende obtener beneficios adicionales para la finca El cascajal. Para poder ingresar al mercado voluntario de carbono se requiere de un documento de diseño del proyecto, el cual es específico para el proyecto y establece como usar la metodología y cuáles son los resultados de hacer el proyecto.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la metodología descrita anteriormente, se procedió a agrupar las parcelas según el estrato al que pertenecen, mostrando un cuadro de datos para cada uno de los estratos estudiados y un cuadro comparativo del carbono fijado en los estratos determinados en plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal.

9.1 Carbono fijado en el agrosistema café bajo sombra

Para la estimación del carbono fijado, se analizaron por separado 4 estratos de la plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal, tomando en cuenta que cada estrato tiene un comportamiento diferente en cuanto al contenido de carbono. Los resultados obtenidos del carbono fijado en cada uno de los estratos se presentan a continuación.

9.1.1 Plantación de café de 0 a 3 años de edad.

El estrato de la plantación de café con edad de 0 a 3 años tiene un área de 3.93 ha, el cual corresponde al estrato con menor área, donde se estableció una parcela de muestreo. La plantación de café muestreada corresponde a la variedad catuaí, con un distanciamiento de siembra entre surco de 2 m y 1 m entre planta; en promedio las plantas de café presentaron un DAB de 1.95 cm de diámetro y 0.80 m de altura. Los árboles de sombra muestreados en el estrato, corresponden a las especies pino de ocote *(Pinus oocarpa),* copalchi *(Croton niveus),* banano (*Musa paradisiaca*), con DAP promedio de 11.84 cm y 10.39 m de altura promedio. El distanciamiento de siembra para los árboles de sombra en el estrato es de 8 x 8 m.

En el cuadro 9, se presentan los resultados del carbono fijado en el estrato de café bajo sombra de 0 á 3 años de edad, en cada una de las variables muestreadas (árboles de sombra, plantas de café, suelo, hojarasca y maleza), donde se observa que la densidad de carbono por en el estrato es de 69.16 tC/ha, distribuidos de la siguiente manera: las plantas de café con 0.20 tC/ha, arboles de sombra 42.908 tc/ha, el suelo con 25.762 tC/ha y hojarasca 0.291 tC/ha.

Cuadro 8. Carbono fijado en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad de 0 a 3 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2014.

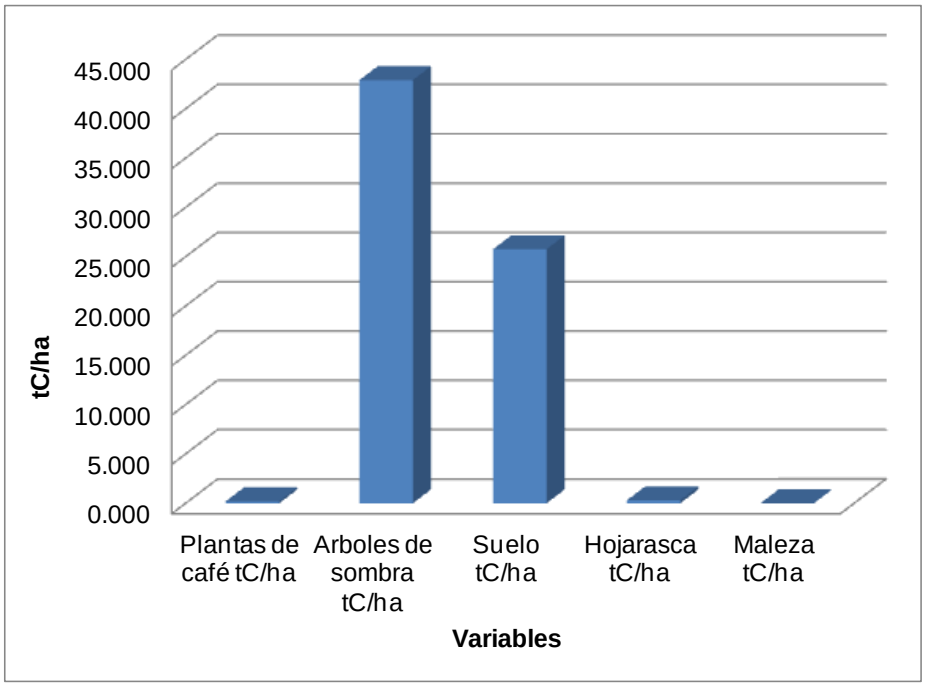
Parcelas	Plantas de café tC/ha	Arboles de sombra tC/ha	Suelo tC/ha	Hojarasca tC/ha	Maleza tC/ha	Densidad de carbono por parcela tC/ha
pc-4	0.200	42.908	25.762	0.291	0.000	69.161
Promedio	**0.200**	**42.908**	**25.762**	**0.291**	**0.000**	**69.161**

Fuente: Elaboración propia 2014.

De acuerdo a los resultados la mayor concentración de carbono se encuentra en los árboles utilizados para sombra y en el suelo, en menor porcentaje en las plantas café y la hojarasca. Esto debido a la densidad de sombra en la plantación de 145 árboles por hectárea. El bajo carbono fijado en las plantas de café de este estrato se debe principalmente a la edad de la plantación, que está relacionada con la biomasa presente en las plantas, es importante indicar que en el momento de muestreo el café se encontraba libre de malezas por lo cual los resultados muestran que no existe carbono fijado en este componente de la plantación.

En la grafica 1, se muestran los resultados de cada variable en el estrato plantación de café de 0 a 3 años de edad.

Gráfica 1. Carbono fijado por variable en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad de 0 á 3 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.



Fuente: Elaboración propia (2014).

9.1.2 Plantación de café bajo sombra de 4 a 8 años de edad

El estrato de la plantación de café bajo sombra con edad de 4 a 8 años tiene un área de 38.85 ha, que corresponde al 13.54 % del área total cultivada con café en la finca, dicha plantación está ubicada a una altura de 1000 á 1,200 msnm. Las plantaciones de café muestreadas en este estrato corresponden a la variedad catuaí, con un distanciamiento de siembra de 2 metros entre surcos por 1 metro entre plantas. En promedio las plantas de café presentan un DAB de 3.60 cm y altura promedio de 1.63m; los árboles de sombra presenta DAP promedio de 19.05 cm y altura promedio de 7.73, en esta área se observan árboles de especie ingas, pino (*Pinus oocarpa*), liquidambar (*Liquidanbar styiracifolia)*, roble (*Quercus sp*) y musáceas, esta ultima especie es utilizada como sombra temporal; el distanciamiento de sombra es de 8 x 8 metros. Este estrato no ha sido recepado como parte del manejo del cultivo.

En el cuadro 10, se presentan los resultados del carbono fijado en el estrato de café bajo sombra de 4 a 8 años de edad, donde se muestra la densidad

de carbono fijado por variable, se observa que en promedio las plantas de café tiene 0.658 tC/ha, los árboles de sombra presentan 45.111tC/ha, el suelo 44.008 tC/ha, la hojarasca 1.330 tC/ha y la maleza 0.130 tC/ha, obteniendo una densidad de carbono promedio por parcela de 91.24 tC/ha. En el estrato se establecieron 3 parcelas de muestreo.

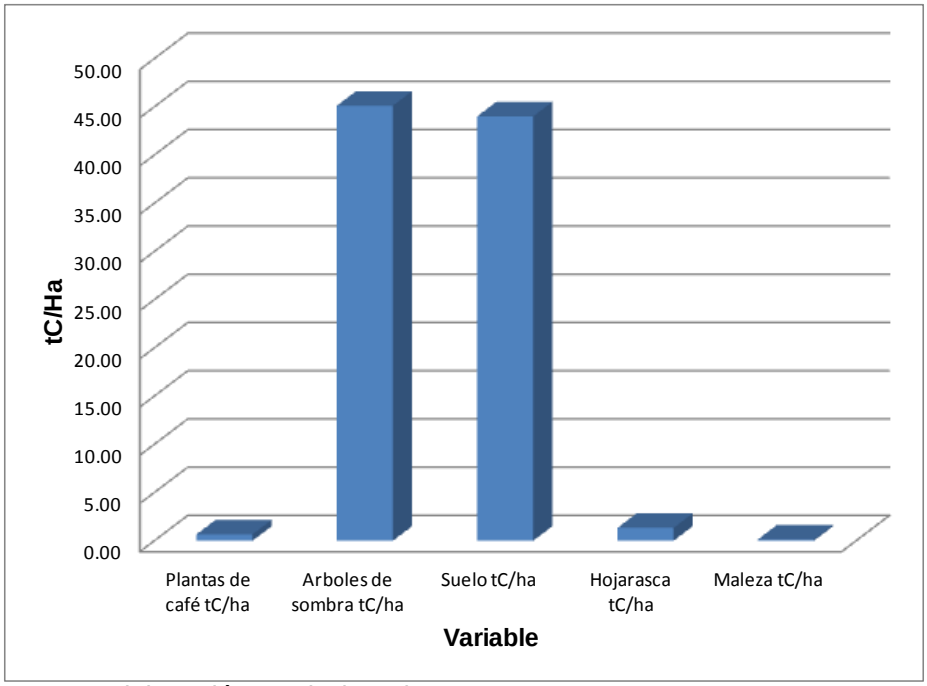
Cuadro 9. Carbono fijado en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad de 4 a 8 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.

Parcelas	Plantas de café (con raíz) tC/ha	Arboles de sombra (con raíz) tC/ha	Suelo tC/ha	hojarasca tC/ha	Maleza tC/ha	Densidad de carbono tC/ha
pc-1	0.453	67.422	37.957	0.485	0.000	106.317
pc-2	0.811	58.202	44.183	0.174	0.054	103.423
pc-6	0.709	9.708	49.885	3.331	0.336	63.969
Promedio	**0.658**	**45.111**	**44.008**	**1.330**	**0.130**	**91.236**

Fuente: Elaboración propia (2014).

Como se observa en la grafica 2, la mayor cantidad de carbono fijado en este estrato se encuentra en las variables árboles de sombra y en el suelo, seguido por la hojarasca, plantas de café y maleza. Esto se debe a que el manejo de la sombra es denso, con una densidad de 145 árboles por hectárea. En este estrato las plantas de café se encuentran en edad productiva; sin embargo, la biomasa de las plantas es bajo.

Gráfica 2. Carbono fijado por variable en el estrato plantación de café bajo sombra con edad de 4 a 8 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.



Fuente: Elaboración propia (2014).

9.1.3 Plantación de café bajo sombra de 9 a 15 años de edad

El estrato de café bajo sombra de 9 a 15 años de edad tiene un área de 175.28 ha, que corresponde al 61.09% del área total cultivada con café en la finca. En este estrato se establecieron 13 parcelas de muestreo.

En el cuadro 11, se presentan los resultados obtenidos donde se observa que el carbono fijado en la variable plantas de café tiene un promedio de 1.77 tC/ha, la variable árboles de sombra 28.61 tC/ha, la variable suelo 49.40 tC/ha, la variable hojarasca 0.50 tC/ha y la variable maleza 0.14 tC/ha. En el estrato se estima un promedio de densidad de carbono de 78.85 tC/ha y la cantidad total de carbono fijado en el estrato se estima en 13,820.73 tC.

Cuadro 10. Carbono fijado en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad de 9 a 15 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.

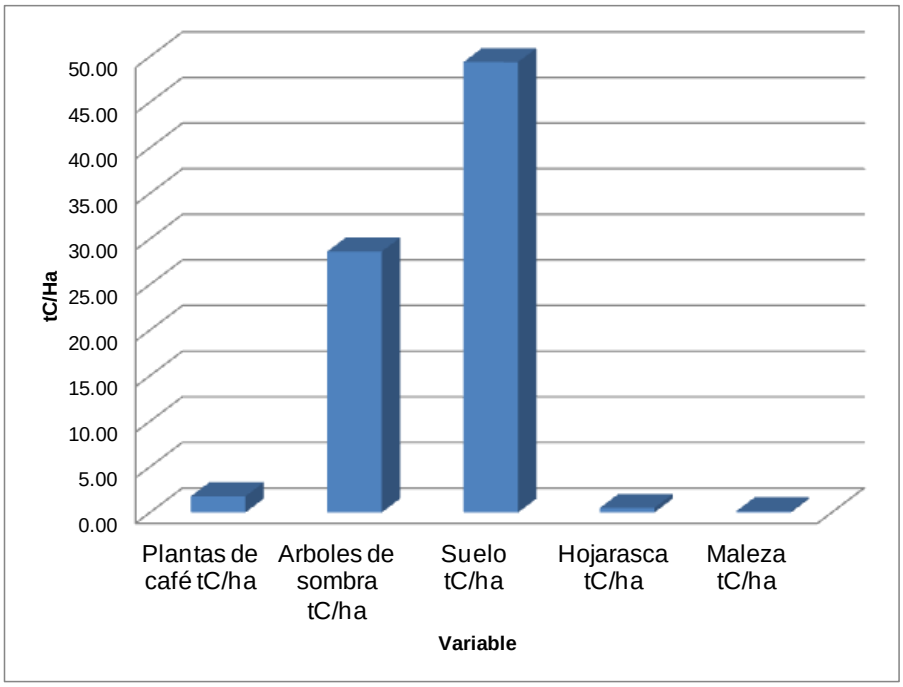
Parcela	Plantas de café (con raíz) tC/ha	Arboles de sombra (con raíz) tC/ha	Suelo tC/ha	Hojarasca tC/ha	Maleza tC/ha	Densidad de carbono tC/ha
pc-3	3.95	20.87	54.52	0.19	0.10	79.63
pc-7	1.24	21.53	43.63	0.98	0.11	67.49
pc-8	0.88	21.53	53.74	0.59	0.12	76.86
pc-9	2.51	7.73	47.76	0.32	0.00	58.32
pc-11	2.37	9.28	22.68	0.21	0.20	34.74
pc-13	1.82	18.85	63.48	0.32	0.00	84.47
pc-14	1.22	11.01	43.50	0.46	0.00	56.20
pc-15	1.60	7.14	40.42	0.61	0.69	50.46
pc-16	1.80	6.23	41.61	0.62	0.12	50.38
pc-17	1.69	32.54	46.56	0.26	0.22	81.27
pc-18	3.13	162.60	81.86	0.82	0.03	248.45
pc-21	1.26	16.32	58.10	0.33	0.00	76.00
pc-22	1.60	13.36	45.28	0.37	0.14	60.75
Promedio	**1.77**	**28.61**	**49.40**	**0.50**	**0.14**	**78.85**

Fuente: Elaboración propia (2014).

En este estrato la mayor parte de la plantación de café esta recepada. Las plantaciones de café muestreadas corresponden a las variedades catuaí y catimor, con un distanciamiento de siembra de 2 x 1; en promedio las plantas de café presentaron un DAB de 6.24 en el tocón y 3.11 centímetros de diámetro en los hijos. En los árboles de sombra se encontraron DAP promedio de 15.97 centímetros, los árboles de sombra muestreados son de las especies Inga, Liquidambar (*Liquidanbar styiracifolia)*, pinos (*Pinus oocarpa*), árboles frutales, y plantas de la especie musa (banano y platano), este ultimo utilizado como sombra temporal. El distanciamiento de sombra en el estrato es de 12 x 12 m.

En este estrato el suelo representa el principal almacén de carbono fijado, seguido por los arboles de sombra y posteriormente por las plantas de café, como se observar en la grafica 3. Las principales diferencias en este estrato se deben a que existe menor densidad de arboles de sombra por la altitud a la que se encuentran las plantaciones (1,100 a 1,400 msnm).

Gráfica 3. Carbono fijado por variable en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad de 9 a 15 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.



Fuente: Elaboración propia (2014).

9.1.4 Plantación de café bajo sombra mayor a 15 años

El estrato de café bajo sombra mayor de 15 años tiene un área 68.86 ha, que corresponde al 24% del área total cultivada con café en la finca. En este estrato la plantación de café esta recepada en su totalidad, se establecieron 5 parcelas de muestreo. Las plantaciones de café muestreadas corresponden al variedad catuaí, con un distanciamiento de 2 x 1, en promedio las plantas de café tienen un DAB de 7.99 centímetros en el tocón y 5.59 centímetros en los rebrotes. Los árboles de sombra presentaron un DAP promedio de 13.09 centímetros, los árboles muestreados son de las especies Ingas, árboles frutales, musáceas, esta ultima utilizada como sombra temporal. El distanciamiento de sombra en el estrato es de 12 x 12 m.

En el cuadro 12, se presentan los resultados obtenidos donde se observa que el carbono fijado en la variable plantas de café tiene un promedio de 3.61 tC/ha, la variable árboles de sombra 11.89 tC/ha, la variable suelo 46.36 tC/ha, la variable hojarasca 0.8 tC/ha y la variable maleza 0.20 tC/ha. En el estrato se estima un promedio de densidad de carbono de 62.24 tC/ha.

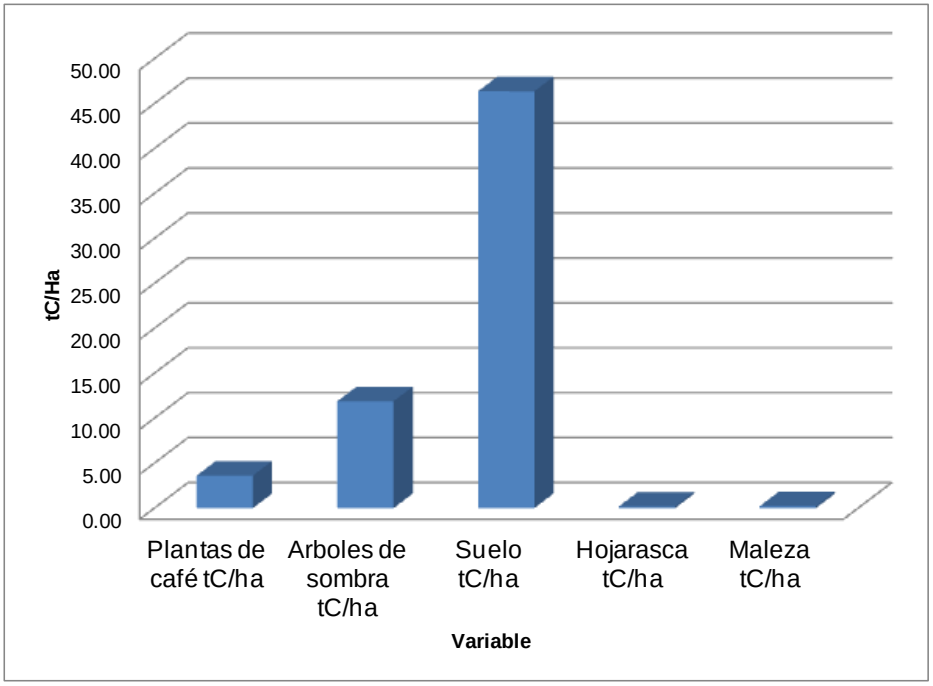
Cuadro 11. Carbono fijado en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad mayor de 15 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.

Parcela	Plantas de café (con raíz) tC/ha	Arboles de Sombra (con raíz) tC/ha	Suelo tC/ha	Hojarasca tC/ha	Maleza tC/ha	Densida de carbono tC/ha
pc-5	2.91	17.10	37.96	0.21	0.40	58.58
pc-10	4.98	1.99	97.98	0.19	0.11	105.25
pc-12	4.29	19.87	22.68	0.21	0.16	47.21
pc-19	2.98	11.18	36.60	0.21	0.08	51.05
pc-20	2.89	9.29	36.60	0.08	0.27	49.12
Promedio	**3.61**	**11.89**	**46.36**	**0.18**	**0.20**	**62.24**

Fuente: Elaboración propia (2014).

En este estrato el suelo representa el principal almacén de carbono fijado, seguido por los árboles de sombra y posteriormente por las plantas de café, como se observa en la gráfica 4. Esto se debe a la altitud a la que se encuentra en el estrato (1,200 a 1,500 msnm) y al manejo de la plantación de café, ya que se necesita una densidad de sombra menor, comparado con los estratos descritos anteriormente.

Gráfica 4. Carbono fijado por variable en el estrato de la plantación de café bajo sombra con edad mayor de 15 años de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.



Fuente: Elaboración propia (2014).

9.1.5 Densidad de carbono fijado en la plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal

La plantación de café bajo sombra con rango de edad de 0-4 años abarca el 1.37%de la plantación, la cual tiene una densidad de 69.16 tC/ha. La plantación de café bajo sombra con rango de edad de 4-8 años representa el 13.54%, posee una densidad de 91.24 tC/h; seguido por el estrato de café con edad de 9-15 años con una densidad de78.85 tC/ha, y por último el estrato de la plantación de café mayor a 15 años cuenta con una densidad de 62.24 tC/ha, como es muestra en el cuadro 13.

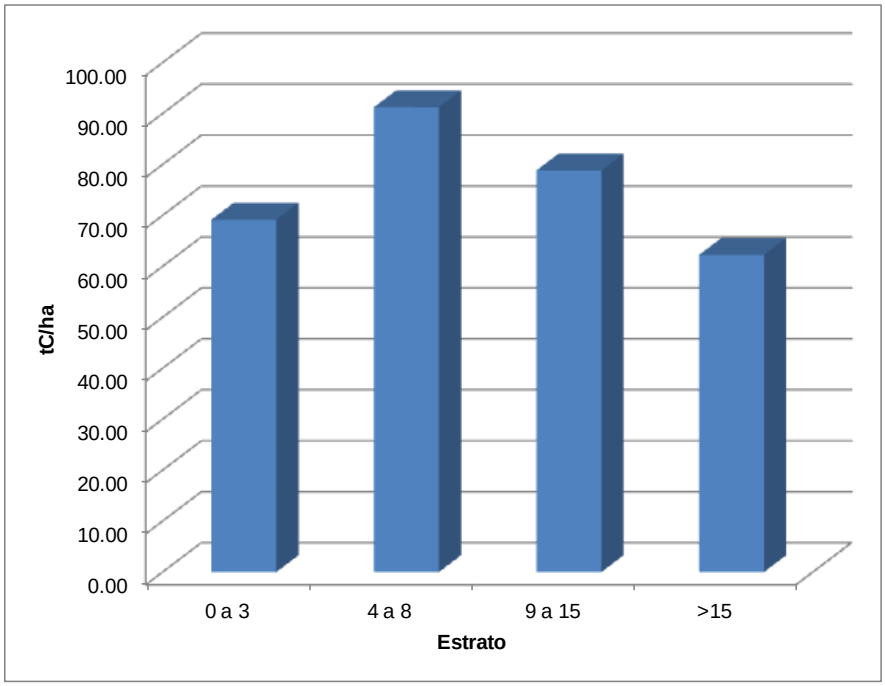
Cuadro 12. Densidad de carbono fijado en la plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.

Estrato	Área (ha)	Plantas de café tC/ha	Arboles de sombra tC/ha	Suelo tC/ha	Hojarasca tC/ha	Maleza tC/ha	Densidad de carbono	Contenido total de Carbono por estrato
0 á 3 años	3.93	0.20	42.91	25.76	0.29	0.00	69.16	271.80
4 á 8 años	38.85	0.66	45.11	44.01	1.33	0.13	91.24	3544.26
9 á 15 años	175.28	1.77	28.61	49.40	0.50	0.14	78.85	13820.73
>15 años	68.86	3.61	11.89	46.36	0.18	0.20	62.24	4286.08
Contenido de carbono en las plantaciones de café bajo sombra de la finca El Cascajal (tC)								**21922.88**

Fuente: Elaboración propia (2014).

El suelo es el componente de la plantación de café bajo sombra que representa el mayor contenido de carbono, obteniéndose datos que van desde 25.76 tC/ha en el estrato de la plantación con rango de edad de 0 a 3 años, hasta 49.40 tC/ha en el estrato de la plantación de 9 a 15 años. Es seguido por el componente árboles de sombra, que presentan datos que varían desde 11.89 tC/ha en la plantación de café mayor a 15 años, hasta 45.4 tC/ha en el estrato de la plantación con edad de 4 a 8 años. En las plantas de café se obtuvo en promedio 6.24 tC/ha, siendo el estrato de la plantación con edad mayor a 15 años, el que presentó mayor cantidad de carbono con 3.61 tC/ha. En la variable hojarasca se muestran datos que van 0.18 tC/ha en el estrato con edad mayor a 15 años, hasta 1.33 tC/ha; en cuanto a la variable maleza, se observa baja densidad de carbono, esto se debe que parte de las parcelas muestreadas no presentaban maleza en la plantación.

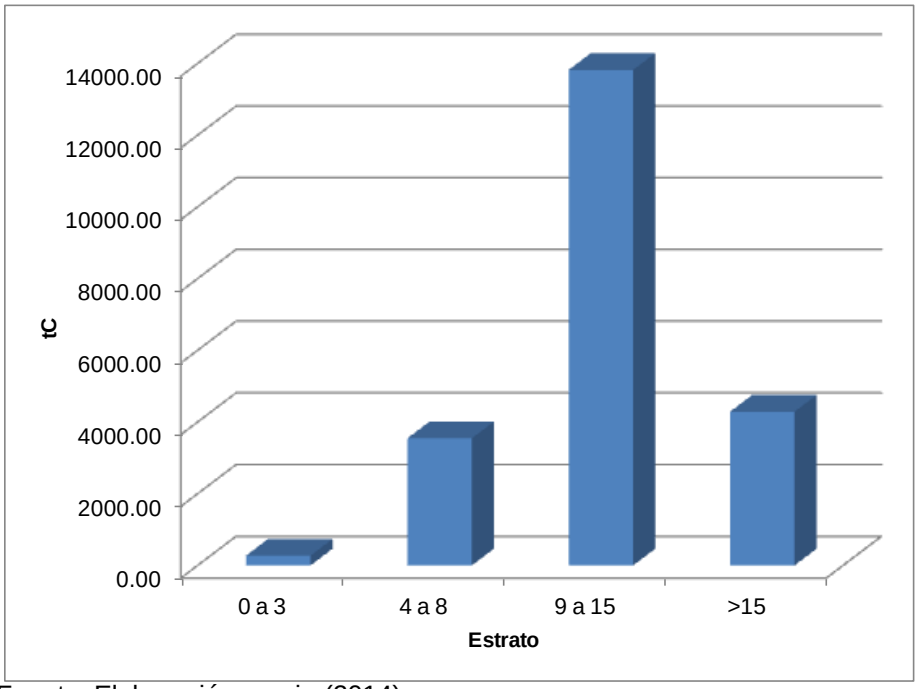
Gráfica 5. Densidad de carbono fijado en los 4 estratos de la plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.



Fuente: Elaboración propia (2014).

Tomando como referencia la densidad de carbono de cada estrato de la plantación y con base al porcentaje de área de cada uno, la plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal tiene un contenido total de carbono de 21,922.88 toneladas (Gráfica 6).

Grafica 6. Contenido de carbono fijado en los 4 estratos de la plantación de café bajo sombra de la finca el Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.



Fuente: Elaboración propia (2014).

La cantidad de carbono fijada en la plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal es ligeramente inferior, con relación a los resultados obtenidos en el Estudio de línea base de carbono en cafetales, investigación más reciente realizada en Guatemala por la Universidad del Valle de Guatemala en el 2010.

9.2 Lineamientos estratégicos para aprovechar el potencial del carbono fijado en las plantaciones de café bajo sombra.

Como propuesta para aprovechar el carbono fijado en la finca, se plantean lineamientos estratégicos, para dar valor agregado a la plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal.

9.2.1 Proyecto de carbono en café usando la Metodología Agroforestal Simplificada de Rainforest Alliance

La oportunidad de recibir compensación financiera a cambio de funciones de almacenamiento de carbono en los sistemas agroforestales de café es un desarrollo de mercado relativamente nuevo. Sin embargo, es un servicio de los ecosistemas importante para mitigar el cambio climático, con un comercio Internacional creciente; el

precio medio de un crédito de carbono voluntario en transacciones directas entre los proponentes de proyecto y los compradores fue de US$7.34/ tC en el año 2008.

El siguiente esquema muestra las etapas que se deben desarrollar dentro del ciclo del proyecto en el mercado voluntario de carbono, usando la Metodología Agroforestal Simplificada (Anexo 6).

- **Descripción del proyecto** Es la compilación con insumos de datos del propietario de la finca, esta descripción es revisada por la agencia de validación (Rainforest Alliance) como parte de la evaluación del proyecto y se hace disponible al público para inversionistas potenciales y otros.

- **Validación** El proyecto es validado por una tercera parte, una vez que sea completado el diseño del proyecto. El proceso de validación es básicamente una evaluación independiente de la actividad del proyecto, e involucra una inspección de documentos de diseño del proyecto, almacenamiento anticipado de carbono futuro y cantidades de emisiones y operaciones de campo de antemano para demostrar la capacidad para cumplir con los requerimientos del estándar de auditoría.

- **Implementación del proyecto** comienza después de que el proyecto ha sido validado. En la práctica. en esta etapa comienza las actividades del proyecto.

- **Verificación de créditos de carbono** involucra una inspección de los documentos de diseño del proyecto validado, registros del almacenamiento de carbono en el pasado, datos de emisión y operaciones de campo posteriores que el proyecto ha comenzado, para confirmar que los créditos de carbono fueron generados de acuerdo a los requerimientos de auditorías particulares. Las auditorias ocurren a intervalos de cinco años.

- **Venta de créditos de carbono y distribución de beneficios** se debe verificar la venta de carbono según sea lo apropiado. El contrato de venta debe identificar

como serán los pagos. El tipo de venta y contrato puede variar con base al crédito del comprador.

La finca El Cascajal está certificada con el Sello Rainforest Alliance, de acuerdo con la Red de Agricultura sostenible, así mismo, la plantación de café de la finca se le da un manejo bajo sombra diversificada, criterios importantes para accesar a un proyecto de carbono bajo la Metodología Agroforestal Simplificada (SAM).

La finca El Cascajal puede ingresar a los estándares voluntarios de créditos de carbono en el marco de la Metodología Agroforestal Simplificada a través de dos medios:

a) Estándar Voluntario de Carbono (VCS)

El estándar voluntario de carbono tiene un sistema en el que la metodología aprobada tiene que ser usada. Para realizar un proyecto en este estándar se requiere de un documento de diseño de proyecto. El cual establece como el proyecto intenta seguir la metodología y cual serán los resultados de este. Así mismo, se explica mas a detalle, tales como la estructura del proyecto de manejo, las consideraciones legales y sociales, el impacto ambiental o los riesgos para el éxito del proyecto. Para tratar el tema de permanencia, se tiene que usar herramientas para el análisis de riesgo, para calcular el riesgo existente que los créditos no sean permanentes. El PDD y la evaluación de riesgo tienen que ser validado por un auditor independiente y después verificado para emitir créditos.

VCS requiere que la validación de proyecto ocurrirá al momento de la primera verificación. La frecuencia de verificación se estima sea cada cinco años.

La emisión de créditos de carbono puede ser solicitada a la Asociación del Estándar Voluntario de carbono, una vez que el proyecto ha sido validado y sus reducciones de emisiones de GEI sean verificadas. Después de la validación, los documentos del, proyecto tienen que ser presentados al sistema de registro del Estándar Voluntario de Carbono, revisado y registrado oficialmente para poder emitir los créditos de carbono.

b) Estándares de Plan Vivo

Los proyectos de Plan Vivo es un proceso similar al estándar Voluntario de Carbono, pero difieren en los documentos. El proyecto debe ser registrado en la Fundación Plan Vivo. Esto involucra la definición de los aspectos principales del proyecto, incluyendo los grupos objetivo, las actividades y la descripción del área y los objetivos del proyecto. Una vez que es registrado y aceptado, puede comenzar el diseño del proyecto.

Esto involucra la escritura de dos documentos; una especificación técnica y un manual operativo. Los dos documentos tienen que ser revisados y validados por la Fundación Plan Vivo. El documento de la especificación técnica es como una combinación de un PDD y metodología. Es específico para un proyecto, contiene los métodos y cómo deberían ser ejecutados. El manual de operación contiene las especificaciones técnicas como en un anexo y también ordena todos los datos y la información generada por un proyecto en tanto un proyecto progresa. El proyecto puede ser verificado por un verificador independiente, pero los plazos de tiempo para esto no están establecidos, y no es esencial.

Para registrar un proyecto de Plan Vivo, el proyecto tiene que estar validado y cumplir con los Estándares de Plan Vivo. Una vez registrados, los proyectos pueden entrar en los contratos de ventas para Certificados de Plan Vivo. Esto es una diferencia fundamental e importante entre el VCS (que solo permite créditos *ex post*) y Plan Vivo (que ofrece ventas de créditos *ex ante*).

Se requiere que los proyectos Plan Vivo trabajen hacia la verificación dentro de los primeros cinco años de su registro, por un proceso de mejoras continuas, e ir subiendo por medio de ventas incrementadas de Certificados de Plan Vivo.

Los créditos de proyectos del Plan Vivo son emitidos primero en una venta de prueba, y de ahí en adelante cada año. Las ventas de prueba ocurren en el momento de la activación del proyecto, *antes de que el proyecto haya sido validado*.

La validación del proyecto ocurre cuando la Fundación Plan Vivo considera que el proyecto está lo suficientemente bien establecido. Si, en la auditoría de validación, se encuentra con que el proyecto cumple con los Estándares de Plan Vivo, y el PDD y las especificaciones técnicas han sido aprobadas, el proyecto será registrado como un proyecto Plan Vivo, y Certificados Plan Vivo son emitidos por la fijación de carbono. Se requiere que los proyectos Plan Vivo reserven un mínimo del 10% de carbono fijado de cada caficultor para amortiguamiento.

c) Mercados y compradores de créditos de carbono en agrosistemas de café

Aunque los proyectos de carbono usan una metodología que ha sido aprobada para su uso en el Mecanismo de Desarrollo Limpio, los proponentes de proyectos encontrarán más eficiente el seleccionar, ya sea el Estándar Voluntario de Carbono o Plan Vivo para la evaluación del proyecto y para comercializar los créditos en el mercado voluntario.

Los mercados de carbono voluntario son más pequeños en general que el mercado motivado por el protocolo de Kyoto, pero los mismos están creciendo exponencialmente y en la actualidad permiten más tipos de proyectos forestales que los que permitidos en los mercados de cumplimiento (Kyoto). Mecanismos de acreditación más racionalizados (como la Asociación del Estándar Voluntario de Carbono y Plan Vivo), son usados en los mercados voluntarios.

Rainforest Alliance ha determinado que los minoristas de café tienen bastante interés en comprar compensaciones de las fincas de café, donde ellos puedan conectar la historia de compensar su impacto con la historia de los granos. Los coordinadores de proyectos que son comercializadores de café, o asociaciones, están bien ubicadas para promover estos créditos, por su relación existente con los compradores.

Hay un potencial muy grande vender estos créditos a minoristas de compensaciones de café, como Carbonfund.org, que son atraídos por los proyectos de carbono con

beneficios sociales y de biodiversidad, y que tienen antecedentes de apoyo a los proyectos validados de carbono forestal.

Tomando como referencia el proyecto de carbono de las fincas en Waslala, Nicaragua en el año 2009, utilizando los precios del mercado voluntario de carbono donde el precio por tC/ha_e, es de $7.00, se estima que la finca El Cascajal puede percibir una cantidad de $ 153,460.14 por 21,922.88 toneladas fijadas en el agrosistema café bajo sombra de la finca.

9.2.2 Implementación de acciones para el acceso a Certificación Módulo Clima para la adaptación y mitigación al cambio climático dentro de la Norma de Agricultura Sostenible

El Módulo de Clima de la Red de Agricultura Sostenible prevee promover la producción agrícola sostenible mediante un grupo de criterios voluntarios específicos de adaptación y mitigación al cambio climático, que suplementan a la existente Norma para Agricultura Sostenible en la finca El Cascajal. Los criterios amigables con el clima refuerzan las certificaciones existentes en la finca y proveen un valor agregado a la plantación de café. Con el cumplimiento de los criterios el módulo Clima la finca será capaz de evaluar los riesgos asociados al cambio climático. Así mismo, estará preparada para analizar sus prácticas y cuantificar y reducir las emisiones de GEI generadas en las diferentes actividades de siembra, cosecha y procesamiento del café. Se puede también aumentar los niveles de carbono almacenados en las fincas mediante la restauración de tierras degradadas, la reforestación y la conservación del suelo; lo que les permitirá adaptarse mejor a las épocas alteradas de cosecha u otras condiciones.

El *Módulo de Clima de la RAS* busca:

d) Aumentar la conciencia y la preparación de los productores para la adaptación y enfrentamiento a los impactos del cambio climático a nivel del paisaje;
e) Implementar programas y procedimientos para la adaptación y mitigación del cambio climático;

f) Disminuir las principales fuentes que contribuyen a las emisiones de GEI y monitorear los cambios en el tiempo;
g) Analizar y considerar acciones para abordar los riesgos del cambio climático; y mejorar la resiliencia de las fincas;
h) Promover la regeneración de la vegetación natural en los sitios que están degradados que son vulnerables a los eventos climáticos extremos;
i) Mejorar la capacidad adaptativa de la comunidad frente al cambio climático por medio de trabajo con instituciones y asociaciones locales;
j) Mejorar el conocimiento técnico de los productores y sus redes sociales para enfrentar los impactos del cambio climático;
k) Mantener o aumentar las reservas de carbono en el suelo;
l) Promover el uso eficiente de fertilizantes nitrogenados;
m) Preferir las opciones de tratamiento de aguas residuales que minimicen las emisiones de metano;
n) Administrar los residuos agrícolas y biomasa para generar energía o subproductos.

El módulo de clima de la RAS puede implementarse por la finca EL Cascajal, ya que cuenta con la certificación Rainforest Alliance Certified, esta certificación será verificado de forma separada del cumplimiento de la Norma para la agricultura sostenible. La verificación del Módulo de Clima, no tendrá efecto en las certificaciones vigentes en la finca.

10. CONCLUSIONES

1. La densidad de carbono fijado en el agrosistema café bajo sombra en los diferentes estratos de la plantación de 0 a 3 años, 4 a 8 años, 9 a 15 años y mayor de 15 años, en la finca El Cascajal; es de 69.16 tC/ha, 91.24 tC/ha, 78.85tC/ha y 64.24 tC/ha, respectivamente; siendo el suelo el componente de la plantación de café bajo sombra que representa el mayor contenido de carbono, seguido por los arboles utilizados para sombra.

2. El contenido de carbono fijado en el agrosistema café bajo sombra de la finca el cascajal es de 21,922.88 toneladas en 286.92 hectáreas de cultivo.

3. El estrato que presenta mayor densidad de carbono es la plantación de café bajo sombra de 4 a 8 años de edad con 91.24 tC/ha; sin embargo, el estrato de café con edad de 9 a 15 años presenta mayor contenido de carbono, debido a la mayor área que representa.

4. En promedio la finca El Cascajal muestra un contenido de carbono fijado de 75 tC/ha, ligeramente inferior, al contenido de carbono estimado en el estudio de línea base de carbono en cafetales (80 tC/ha), realizado por la Universidad del Valle de Guatemala.

5. Los lineamientos estratégicos propuestos para el aprovechamiento de carbono fijado en la plantación de café bajo sombra de la finca El Cascajal, prevé promover estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático, mediante el acceso a créditos de carbono en el mercado voluntario de carbono y la certificación del Modulo Clima de Rainsforest Allance para la producción sostenible de café.

11. RECOMENDACIONES

1. Incrementar las reservas de carbono en el agrosistema café bajo sombra, implementado mejoras en el manejo como la introducción de especies de plantas semipermanentes y permanentes.

2. Realizar procesos de gestión para la comercialización de créditos de carbono en el estándar de carbono voluntario, el cual se puede llevar a cabo utilizando la metodología agroforestal simplificada de Rainforest Alliance.

3. Aprovechar el carbono fijado en la plantación de café bajo sombra de la Finca el Cascajal con el propósito de dar un valor agregado a la producción, por conceptos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero GEI en la misma.

4. Socializar los resultados de la presente investigación como parte de las acciones de gestión ambiental realizadas por la finca, para la certificación en el Módulo de Clima de Rainforest Alliance.

12. BIBLIOGRAFIA

1. ANACAFE (Asociación Nacional del Café, GT). 1998. Manual del caficultor. 3 ed. Guatemala. 317 p.

2. Ávila, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra (en línea). Tesis M.Sc. Costa Rica, CATIE. 90 p. Consultado 3 feb. 2013. Disponible en ftp://ftp.fao.org/docrep/nonfao/lead/x6349s/x6349s00.pdf

3. Ciesla, WM. 1996. Cambio climático, bisques y ordenación forestal: una visión de conjunto (en línea). Italia, Fao Dirección de Recursos Forestales. 131 p. Consultado 07 sep 2013. Disponible en https://archive.org/stream/cambioclimaticob034849mbp#page/n11/mode/2up

4. Cordón C, H. 2008. La importancia de implementar los servicios ambientales en el departamento de El Progreso de la republica de Guatemala. Tesis Lic. Cs. Jurídicas y Sociales. Guatemala, UMG. 273 p.

5. Enamorado C, MH. 2012. Estimación de carbono fijado en el parque nacional Montecristo ubicado en el municipio de Metapán, departamento de Santa Ana, El Salvador. Tesis Ing. Agr. Chiquimula, GT, USAC-CUNORI. 60 p.

6. Figueroa Cerna, JS. 2013. Mapa de ubicación y referencia de la finca El Cascajal, Esquipulas. Chiquimula, GT, SIG- CUNORI. Esc 1:50,000. Color.

7. Finca El Cascajal, GT. 2013. Información general finca El Cascajal (en línea). Aldea San Nicolás, Esquipulas, Chiquimula, GT. Consultado 07 may. 2013. Disponible en: www.fincaelcascajal.com

8. Gasparri, I; Manghi, E. 2004. Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono en las regiones forestales argentinas: informe final (en línea). Argentina. Ministerio de Salud y Ambiente, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 26 p. Consultado 07 may. 2013. Disponible en

http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UMSEF/File/volumen_biomasa_carbono.pdf

9. Gibbon, A; Hayward, J; Baroody, J. 2009. Lineamientos para el diseño de proyectos de carbono en cafetales usando la metodología agroforestal simplificada. Nueva York, US, Rainforest Alliance; IFC. 79 p.

10. IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change, JP). 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry (en línea). Japón, IGES. p. irr. Consultado 24 jun. 2014. Disponible en http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf

11. _____. 2005. La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Informe de grupo de trabajo III del IPCC: resumen para responsables de políticas y resumen técnico (en línea). Japón. 57 p. Consultado 15 jun. 2014. Disponible en http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_sp.pdf

12. _____. 2007. Cambio climático 2007: informe de síntesis (en línea). Suiza. 103 p. Consultado 5 oct. 2013. Disponible en http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

13. MacDicken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects (en línea). Estados Unidos, Winrock International Institute for Agricultural Development. 87 p. Consultado 18 de octubre 2013. Disponible en http://202.99.63.183/tanhui/thjl/Winrock%20International%20%E7%A2%B3%E7%9B%91%E6%B5%8B%E6%8C%87%E5%8D%97.pdf

14. Márquez, L. 1997. Validación de campo de los métodos del Instituto Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistemas agroforestales. Guatemala, UVG. 75 p.

15. Mena M, VE. 2008. Relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y la composición fisionómica de la vegetación de la vegetación en los sistemas agroforestales con café y en bosque secundario del corredor biológico volcánica Central-Talamanca, Costa Rica (en línea). Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 90 p. Consultado 25 mar. 2013. Disponible en http://www.analogforestrynetwork.org/docs/Relacion%20carbono%20y%20biomasa%20total%20y%20composicion%20fisionomica-Tesis%202008.pdf

16. Mintzer, I. 1992. Confronting climate change: risk implications and responses. Cambridge, UK, Univesity Press. 400 p.

17. Ordoñez, A. 1998. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado (en línea). Tesis Lic. México, UNAM, Facultad de Ciencias. 65 p. Consultado 15 feb. 2014. Disponible en www.inecc.gob.mx/publicaciones/download/296.pdf

18. Quilio, A; Castellanos, E; Pons, D. 2010. Estudio de línea base de carbono en cafetales. Guatemala, UVG. 48 p.

19. RAS (Red de Agricultura Sostenible, CR). 2011. Módulo clima de la RAS, criterios para la mitigación y adaptación al cambio climático. Costa Rica, Rainforest Alliance. 17 p.

20. Sancé N, WA. 2009. Determinación de la capacidad de uso y clasificación taxonómica de los suelo de la finca “El Cascajal”, del municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula. Tesis Ing. Ag. Chiquimula, GT, USAC-CUNORI. 72 p.

21. Scordo M, PA. 2012. Plantaciones forestales con propósito de secuestro CO2 para agroecosistemas sustentables (en línea). Tesis Ing. Agr. Argentina, UCA, Facultad de Ciencias Agrarias. 57 p. Consultado 02 may. 2014. Disponible en http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/plantaciones-forestales-proposito-secuestrar-co2.pdf

22. SIG-CUNORI (Sistema de Información Geográfica de CUNORI, GT). 2013. Mapa de ubicación de las 22 parcelas muestreadas en la finca El Cascajal, Esquipulas. Chiquimula, GT. Esc. 1:24,000. Color.

23. _____. 2013. Mapa de uso de suelo de la finca El Cascajal, Esquipulas. Chiquimula, GT. Esc. 1:28,500. Color.

24. _____. 2013. Mapa de orden de suelo de la finca El Cascajal, Esquipulas. Chiquimula, GT. Esc. 1:24,500. Color.

25. _____. 2013. Mapa de cobertura de café de la finca El Cascajal, Esquipulas. Chiquimula, GT. Esc. 1:24,000. Color.

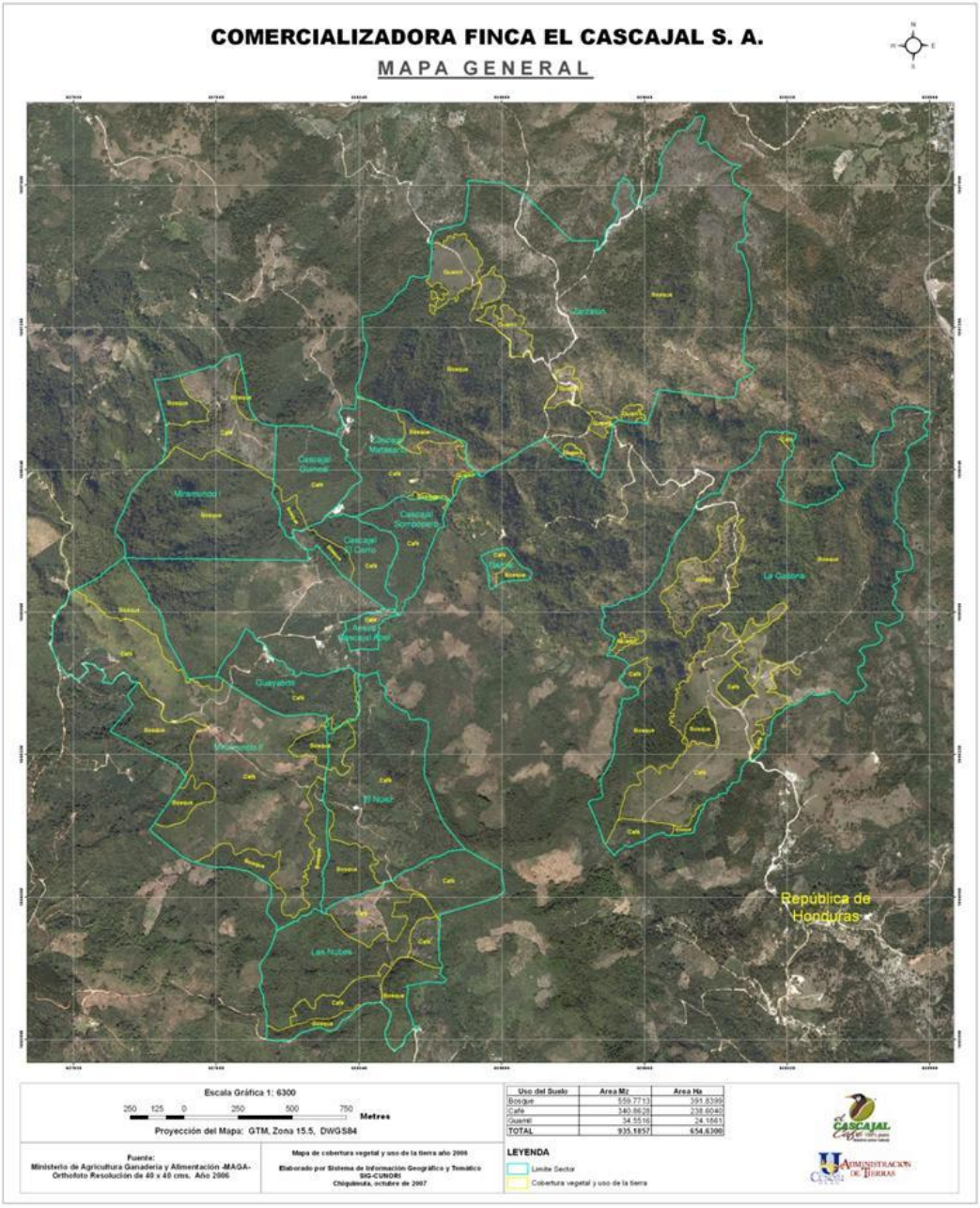
26. _____. 2013. Mapa de orden de suelo de la finca El Cascajal, Esquipulas. Chiquimula, GT. Esc. 1:24,500. Color.

27. Suárez P, DA. 2002. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 117 p.

28. Villagrán J, L. 2012. Estimación de carbono fijado en el ecosistema de bosque latifoliado de la zona núcleo del cerro 1019, ubicado en el área de protección especial, sierra Santa Cruz, municipio de Livingston, departamento de Izabal, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Chiquimula, GT, USAC-CUNORI. 63 p.

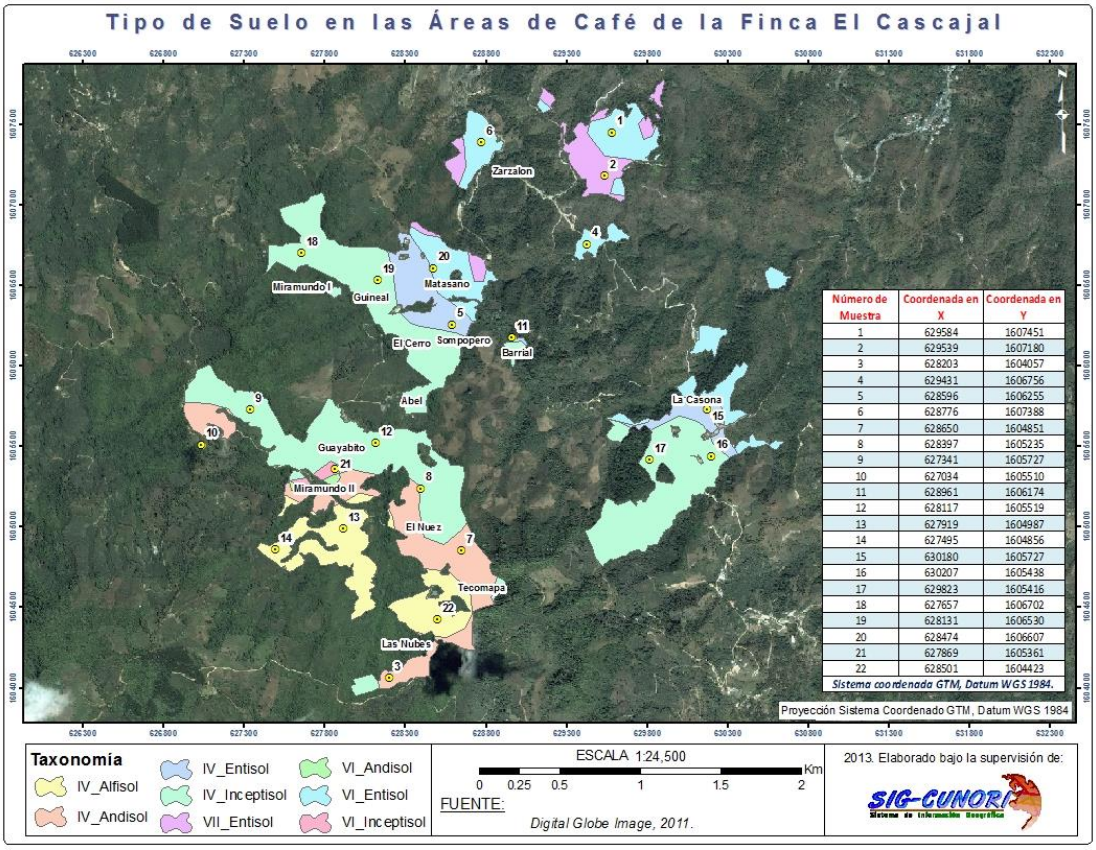
13. ANEXOS

Anexo 1. Mapa general de la Finca el Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2007



Fuente: SIG-CUNORI (2007).

Anexo 2. Mapa de orden de suelo de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013.



Número de Muestra	Coordenada en X	Coordenada en Y
1	629584	1607451
2	629539	1607180
3	628203	1604057
4	629431	1606756
5	628596	1606255
6	628776	1607388
7	628650	1604851
8	628397	1605235
9	627341	1605727
10	627034	1605510
11	628961	1606174
12	628117	1605519
13	627919	1604987
14	627495	1604856
15	630180	1605727
16	630207	1605438
17	629823	1605416
18	627657	1606702
19	628131	1606530
20	628474	1606607
21	627869	1605361
22	628501	1604423

Sistema coordenada GTM, Datum WGS 1984.

Fuente: SIG-CUNORI (2013).

Anexo 3. Boletas de campo.

I. Boleta para inventario de carbono en Sistema agroforestal sin recepa

Nombre del colector	_____	Fecha	_____	Sector	_____	Lote	_____	Altitud	____
Edad de la plantacion	_____	Coordenadas	X	_____		Y	_____		

Datos de plantas de café

No.	Variedad	DAB	DC	Altura

Datos arboles de sombra

No	Especie	DAP (cm)			Altura (m)		

Fuente: Elaboración propia (2014).

Continuación anexo 3.

II. Boleta Datos de plantas de café recepado

café recepado

No.	Variedad	BAB Tocon	H tocon	dab A	dab B	dab C	DC A	DC B	DC C	H A	H B	H C

Fuente: Elaboración propia (2014).

III. Datos Maleza, Hojarasca y suelo

Datos Malezas (kg)		
Peso Humedo Campo (kg)	Peso Humedo Submuestra (g)	Peso Seco Submuestra (g)
Datos Hojarasca (kg)		
Peso Humedo Campo (Kg)	Peso Humedo Submuestra (g)	Peso Seco Submuestra (g)
Datos de Suelo		
Peso Humedo Campo (g)	Peso Seco (g)	% Carbono

Elaboración propio (2014).

Anexo4. Promedio de carbono fijado en la maleza de la finca El Cascajal.

No.	PHc	peso seco sb	peso humedo sub	materia seca	Biomasa	tC	tC/ha
1	n	ne	ne	ne	ne	ne	ne
2	60	0.0024293	0.0135634	0.179107009	0.01074642	5.3732E-06	0.0537321
3	112	0.0036633	0.0206393	0.177491485	0.01987905	9.9395E-06	0.09939523
4	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
5	405	0.0043504	0.0218414	0.199181371	0.08066846	4.0334E-05	0.40334228
6	410	0.0015623	0.0095451	0.163675603	0.067107	3.3553E-05	0.33553499
7	159	0.0038985	0.0281247	0.138614812	0.02203976	1.102E-05	0.11019878
8	125	0.0037665	0.0198331	0.189909797	0.02373872	1.1869E-05	0.11869362
9	nd	ne	ne	ne	ne	ne	ne
10	199	0.0032617	0.0307751	0.105985033	0.02109102	1.0546E-05	0.10545511
11	195	0.003383	0.0164223	0.206000378	0.04017007	2.0085E-05	0.20085037
12	171	0.0054442	0.0298359	0.182471452	0.03120262	1.5601E-05	0.15601309
13	nd	ne	ne	ne	ne	ne	ne
14	nd	ne	ne	ne	ne	ne	ne
15	450	0.0035064	0.0114825	0.30536904	0.13741607	6.8708E-05	0.68708034
16	80	0.0047042	0.0161912	0.290540541	0.02324324	1.1622E-05	0.11621622
17	300	0.003141	0.0210258	0.149387895	0.04481637	2.2408E-05	0.22408184
18	45	0.0029499	0.0193883	0.152148461	0.00684668	3.4233E-06	0.0342334
19	105	0.0036675	0.0256246	0.143124185	0.01502804	7.514E-06	0.0751402
20	91	0.0104171	0.0177411	0.587173287	0.05343277	2.6716E-05	0.26716385
21	nd	ne	ne	ne	ne	ne	ne
22	160	0.0032415	0.0180865	0.179222072	0.02867553	1.4338E-05	0.14337766
						TOTAL	**0.19565682**

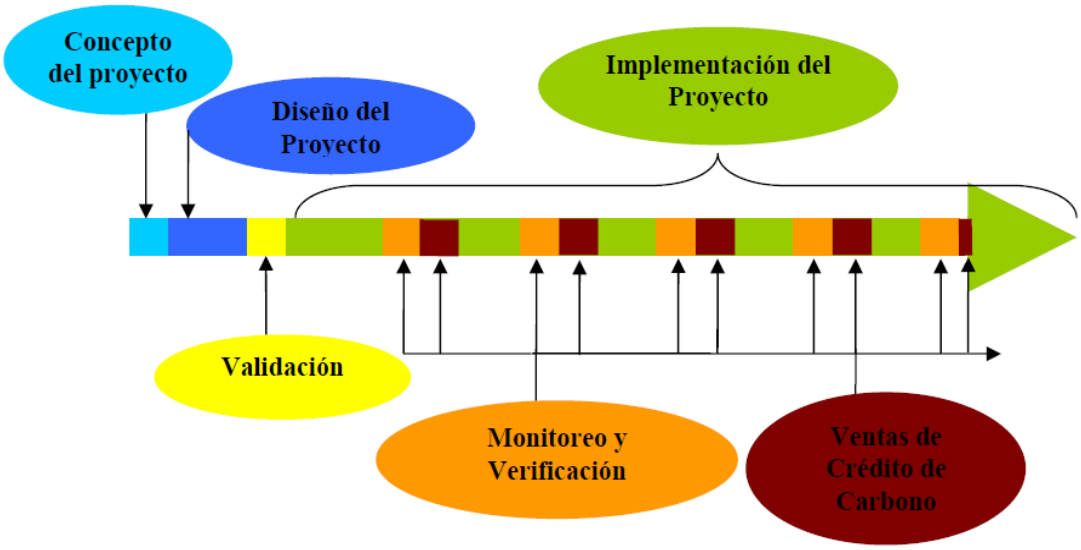
Fuente: Elaboración propia (2014).

Anexo 5. Promedio carbono fijado en la hojarasca de la plantación de café bajos sombra de la finca.

No.	Peso hc (g)		Peso hc (Kg)	Peso seco	Materia seca	Biomasa	tC/ha
1	125	0.125	0.008438	0.006548	0.776	0.097	0.485
2	80	0.08	0.010958	0.004766	0.435	0.035	0.174
3	85	0.085	0.014992	0.006669	0.445	0.038	0.189
4	75	0.075	0.009425	0.007308	0.775	0.058	0.291
5	104	0.104	0.015548	0.006388	0.411	0.043	0.214
6	1200	1.2	0.016186	0.008986	0.555	0.666	3.331
7	450	0.45	0.045347	0.019690	0.434	0.195	0.977
8	204	0.204	0.018328	0.010672	0.582	0.119	0.594
9	90	0.09	0.011402	0.008078	0.708	0.064	0.319
10	110	0.11	0.025224	0.008904	0.353	0.039	0.194
11	75	0.075	0.012894	0.007062	0.548	0.041	0.205
12	112	0.112	0.032533	0.012032	0.370	0.041	0.207
13	90	0.09	0.012445	0.008819	0.709	0.064	0.319
14	130	0.13	0.014054	0.010021	0.713	0.093	0.463
15	254	0.254	0.020993	0.010150	0.483	0.123	0.614
16	203	0.203	0.010884	0.006647	0.611	0.124	0.620
17	110	0.11	0.024059	0.011492	0.478	0.053	0.263
18	265	0.265	0.020480	0.012728	0.621	0.165	0.823
19	85	0.085	0.017516	0.008700	0.497	0.042	0.211
20	90	0.09	0.027074	0.004940	0.182	0.016	0.082
21	100	0.1	0.015422	0.010042	0.651	0.065	0.326
22	160	0.16	0.027746	0.012826	0.462	0.074	0.370
						TOTAL	**0.512**

Fuente: Elaboración propia (2014).

Anexo 6. Esquema para implementación del proyecto de carbono en agrosistemas, 2010.



Fuente: Rainforest Alliance (2010).

Anexo 7. Esquema del Proceso de certificación

Fuente: ANACAFE (1998).

Anexo 8. Fotografías de fase de campo y fase de laboratorio

Fotografía 1. Actualización del uso de suelo de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013

Fotografía 2. Actualización del uso de suelo de la finca El Cascajal, Esquipulas, Chiquimula, 2013

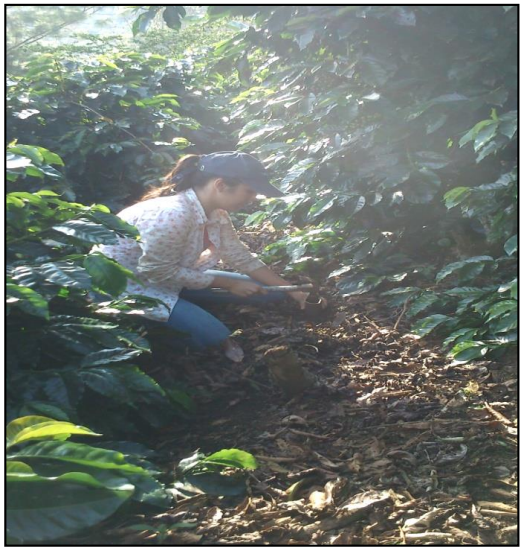
Fotografía 3. Medición de DAB, altura y diámetro de copa de plantas de café, Subparcela de 25 m^2

Fotografía 4. Medición de DAB, altura y diámetro de copa de plantas de café, Subparcela de 25 m^2

Fotografia 5. Recolección de hojarasca en la plantación de café, parcelas de 1 m^2

Fotografía 6. Recolección de maleza en plantación de café, parcela 1 m^2

Fotografía 7. Recolección de muestra de suelo, con cilindro de volumen conocido, Subparcela 1 m^2

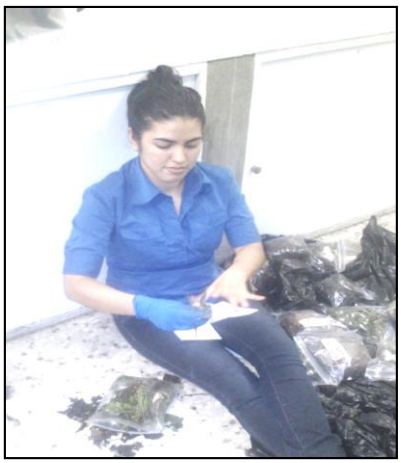


Fotografía 8. Toma de datos en arboles de sombra, parcela de 250 m^2

Fotografía 10. Peso de muestras de suelo recolectadas en campo en la plantación de café de la finca El Cascajal, con balanza de campo

Fotografía 11. Muestras de hojarasca y maleza, para realizar secado de la materia vegetal

Fotografía 12. Preparación de muestras de maleza y hojarasca para el proceso de secado en horno de convección



Fotografía 13. Pesado de material vegetal seco (maleza) utilizando balanza analítica