

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a knight on horseback, holding a shield and a lance. Above the knight is a crown. The seal is surrounded by Latin text: "CONSPICUA CAROLINA AC" at the top, "CETREAS COACTEMALENSIS INTER" at the bottom, and "UNIVERSITAS SAN CAROLIS" on the sides.

ESTIMACIÓN DEL CARBONO FIJADO EN LOS
ECOSISTEMAS DE LA CUENCA DEL RÍO TACÓ, MUNICIPIO
DE CHIQUIMULA, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA,
GUATEMALA. 2011.

SERVIO DARÍO VILLELA MORATAYA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA

ESTIMACIÓN DEL CARBONO FIJADO EN LOS ECOSISTEMAS DE LA
CUENCA DEL RÍO TACÓ, MUNICIPIO DE CHIQUIMULA,
DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2011.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

SERVIO DARÍO VILLELA MORATAYA

Al conferírsele el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
AGRÍCOLA

En el grado académico de

LICENCIADO

CHIQUIMULA, GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMIA**



**RECTOR
LIC. CARLOS ESTUARDO GALVEZ BARRIOS**

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	M.Sc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
Representante de Profesores:	M.Sc. 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. Eibi Estephania Lemus Cruz
Representante de Estudiantes:	MEPU. Leonel Oswaldo Guerra Flores
Secretario:	Lic. Tobías Rafael Masters Cerritos

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Coordinador de Carrera:	M. Sc. José Leonidas Ortega Alvarado

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Coordinador:	M. Sc. Hugo Ronaldo Villafuerte Villeda
Representante:	M. Sc. José Leonidas Ortega Alvarado
Representante:	M. Sc. Marlon Leonel Bueso Campos

TERNA EVALUADORA

M. Sc. Ricardo Otoniel Suchini Paiz
M. Sc. Carlos Enrique Aguilar Rosales
M. Sc. David Horacio Estrada Jerez

Chiquimula, 23 de octubre de 2012

Señores
Consejo Directivo
Centro Universitario de Oriente
Ciudad de Chiquimula

Honorables Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de graduación titulado:

**ESTIMACIÓN DEL CARBONO FIJADO EN LOS ECOSISTEMAS DE LA CUENCA
DEL RÍO TACÓ, MUNICIPIO DE CHIQUIMULA, DEPARTAMENTO DE
CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2011.**

El cual presento como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Servio Darío Villela Morataya

Carné: 200640396

HRVV-06-2012
Chiquimula, septiembre de 2012

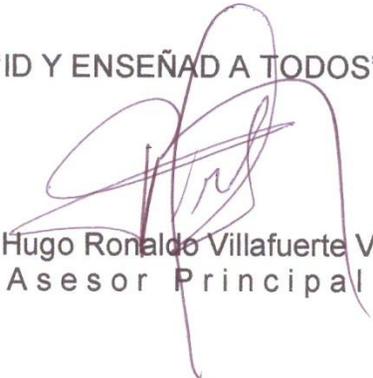
MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
Centro Universitario de Oriente
Universidad de San Carlos de Guatemala
Chiquimula, ciudad

Respetable Licenciado Galdámez:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación -PTG-, para asesorar al estudiante, **SERVIO DARIO VILLELA MORATAYA**, carné: 200640396, en el trabajo de investigación denominado **ESTIMACIÓN DEL CARBONO FIJADO EN LOS ECOSISTEMAS DE LA CUENCA DEL RÍO TACÓ, MUNICIPIO DE CHIQUIMULA, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2011**", tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que he procedido a asesorar y orientar al 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 el título de Ingeniero Agrónomo, en el Grado Académico de Licenciado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



MSc. Hugo Ronaldo Villafuerte Villeda
Asesor Principal



cc. Archivo

D-TG-A-120/2012

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 el estudiante **SERVIO DARIO VILLELA MORATAYA** titulado “**ESTIMACIÓN DEL CARBONO FIJADO EN LOS ECOSISTEMAS DE LA CUENCA DEL RÍO TACÓ, MUNICIPIO DE CHIQUIMULA, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA**”, trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Ingeniero Agrónomo. 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** a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **Ingeniero Agrónomo**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a treinta y uno de octubre de dos mil doce.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
DIRECTOR
CUNORI - USAC



ACTO QUE DEDICO

- A DIOS:** Por la vida que me da y por la sabiduría y las muchas bendiciones que derrama sobre mi ser.
- A MIS PADRES:** Elvia Patricia Morataya Velásquez, por su apoyo incondicional durante toda mi vida y por no rendirse ante las dificultades y Hugo Darío Villela Jiménez por su cariño y apoyo incondicional durante todo el proceso de mi vida brindándome sus consejos y sabias enseñanzas.
- A MIS HERMANOS:** Yoshuá y Lesli, por su apoyo y consejos.
- A MIS TÍOS:** Amílcar Villela y Sonia Pinto por haber dado el impulso inicial para llevar a cabo esta meta.
- A MI NOVIA Y FAMILIA:** Laura Lucila Telón Castro, Laura Castro, Nancy María José Telón Castro, Mónica Victoria Telón Castro por haber estado conmigo en esta etapa de mi vida brindándome su apoyo.
- A MI FAMILIA:** En especial a Reynelio, Marlon y Lindsay Villela, por su amistad y apoyo.
- A MIS AMIGOS:** Leonardo Alarcón, Heidelberg Escot, Erickson Sancé, Mirian Beltrán, Christian Sosa, Daniel Morataya, Erwin Martínez, Herlindo Morales, Héctor López y una lista innumerable de personas, por estar junto a mi en las buenas y en las malas, aportando su amistad sincera y consejos acertados.

AGRADECIMIENTOS

AL CUNORI

Centro de estudios superiores que ha forjado mi vida profesional y me ha apoyado en las realización de esta investigación.

A MIS ASESORES

M Sc. Hugo Villafuerte y al Ing. Elmer Barillas, por su asesoría durante todo mi proceso de formación mas allá de la docencia e investigación.

A MIS DOCENTES

Por sus enseñanzas, en especial a M Sc. Hugo Ronaldo Villafuerte Villeda, M Sc. Edgar Arnoldo Casasola Chinchilla, Ing Agr. Elmer Barillas Klee y al Ing. Civil Ricardo Otoniel Suchini Paiz, por su amistad y forma muy peculiar de transferir sus conocimientos.

A ESTUDIANTES DE LA U RURAL

En especial a los estudiantes del décimo semestre del año 2011, por su apoyo durante la realización de esta investigación.

ÍNDICE

CONTENIDO

I.	RESUMEN	VII
II.	INTRODUCCIÓN	1
III.	MARCO CONCEPTUAL	3
2.1.	ANTECEDENTES	3
2.2.	JUSTIFICACIÓN	6
2.3.	DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	8
IV.	MARCO TEÓRICO	10
3.1.	SISTEMA DE CODIFICACIÓN PFAFSTETTER	10
3.1.1.	Características del método	10
3.1.2.	Proceso de delimitación	11
3.1.3.	Proceso de codificación	12
3.2.	CICLO DEL CARBONO	12
3.3.	EL EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO	14
3.4.	LA FOTOSÍNTESIS EN EL PROCESO DE CAPTURA DE CARBONO	16
3.5.	SERVICIOS AMBIENTALES (SA)	18
3.5.1.	Pagos por servicios ambientales (PSA)	18
3.5.2.	Tipos de PSA	20
3.6.	FOREST CARBON PARTNERSHIP FACILITY (FCPF) – BANCO MUNDIAL	22
3.6.1.	El mecanismo de preparación (Readiness Mechanism).	22
3.6.2.	El mecanismo de financiación de carbono (Carbon Finance Mechanism).	24
3.7.	UN – REDD	25
3.7.1.	Principios del Programa UN-REDD	26
3.7.2.	Áreas de apoyo del Programa	27
3.8.	REDUCCIÓN DE EMISIONES CAUSADAS POR LA DEFORESTACIÓN Y LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL (REDD)	27
3.9.	MERCADOS DEL CARBONO	32
3.10.	MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO	33
3.11.	MERCADOS VOLUNTARIOS	34
3.11.1.	Lo que se comercializa	35
3.11.2.	Donde y como se comercializa	36
V.	MARCO REFERENCIAL	37
4.1.	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	37
4.2.	CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	38
4.2.1.	Zonas de vida	38
4.2.2.	Ecosistemas	39
4.2.3.	Clima	39
4.3.	ASPECTOS SOCIALES	40
VI.	MARCO METODOLÓGICO	42

5.1.	OBJETIVOS	42
5.1.1.	Objetivo general	42
5.1.2.	Objetivos específicos	42
5.2.	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	42
5.2.1.	Diseño del inventario	43
5.2.2.	Diseño del muestreo	43
5.2.3.	Tamaño de la muestra	45
5.2.4.	Factor de corrección de pendiente	46
5.2.5.	Equipo utilizado	46
5.3.	ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA EN EL CAMPO	47
5.3.1.	Vegetación arbórea	47
5.3.2.	Árboles muertos en pie	49
5.3.3.	Arbustos	49
5.3.4.	Maleza y hojarasca	49
5.3.5.	Suelo	50
5.4.	ANÁLISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO	50
5.4.1.	Material vegetal	50
5.4.2.	Suelo	51
5.5.	ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL PARA LA GENERACIÓN DE INGRESOS	52
VII.	RESULTADOS	53
6.1.	CARBONO FIJADO EN CADA ECOSISTEMA	53
6.1.1.	Ecosistema de monte espinoso	54
6.1.2.	Ecosistema de arbustos y matorrales	55
6.1.3.	Ecosistema de cultivos	57
6.1.4.	Ecosistema de bosque de coníferas	59
6.1.5.	Ecosistema de bosque mixto	62
6.1.6.	Ecosistema de bosque latifoliado	63
6.1.7.	Densidad de carbono fijado en los ecosistemas de la cuenca del Río Tacó	66
6.2.	POTENCIAL DEL ÁREA PARA LA GENERACIÓN DE INGRESOS	68
VIII.	CONCLUSIONES	70
IX.	RECOMENDACIONES	71
X.	BIBLIOGRAFIA	72
XI.	ANEXOS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Divisiones de la cuenca según el método Pfafstetter.	11
2	Ciclo del carbono, que muestra las etapas o procesos en los que participa este elemento en la naturaleza	14
3	Concentración de dióxido de carbono en la atmósfera terrestre (azul) y la temperatura media global (rojo) en los últimos 1000 años.	16
4	Mapa de ubicación de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	37
5	Distribución de las parcelas dentro de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	44
6	Diseño de las parcelas de muestreo a utilizar en el inventario de carbono en la cuenca del río Tacó, Chiquimula, 2011.	45
7	Distribución de lazos con marcas de radios de parcelas utilizadas en el inventario de carbono en la cuenca del río Tacó, Chiquimula, 2011.	46
8	Ecosistemas identificados en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	53
9	Ecosistema del monte espinoso, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	54
10	Cantidad de carbono fijado por variable en el ecosistema de monte espinoso subtropical.	55
11	Ecosistema de arbustos y matorrales, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	56
12	Cantidad de carbono fijado por variable en el ecosistema de arbustos y matorrales, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	57
13	Ecosistema de área de cultivos, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	58

14	Cantidad de carbono fijado por variable en el ecosistema de cultivos, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	59
15	Ecosistema de bosque de coníferas, en la cuenca del río Tacó, Chiquimula, 2011.	60
16	Cantidad de carbono fijado por variable en el ecosistema de bosque de coníferas, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	61
17	Ecosistema de bosque mixto, en la cuenca del río Tacó, Chiquimula, 2011.	62
18	Cantidad de carbono fijado por variable en el ecosistema de bosque mixto, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	63
19	Ecosistema de bosque latifoliado, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	64
20	Cantidad de carbono fijado por variable en el ecosistema de bosque latifoliado, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	64
21	Rangos de carbono fijado por los ecosistemas de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	65
22	Densidad de carbono fijado por ecosistema en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	66
23	Potencial para generar ingresos por los ecosistemas de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Carbono fijado en usos de la tierra en el municipio de San Juan La Laguna, Sololá, en el año de 1998.	3
2	Valores de carbono fijado en los bosques latifoliados y mixtos de la Cuenca Sur del Lago de Atitlán, en el año 1999.	4
3	Carbono fijado en bosques secundarios en la Reserva de la Biósfera Maya en Petén, 2000.	4
4	Carbono fijado en bosques de coníferas y nuboso en el departamento de Chiquimula, 2000.	5
5	Estimación del carbono fijado en el bosque pino-encino del Gigante, Chiquimula, 2007.	5
6	Densidad de carbono (tC/ha) en la zona núcleo de la Reserva de Biósfera Trifinio, 2010.	6
7	Especies vegetales indicadoras del monte espinoso subtropical.	38
8	Especies vegetales indicadoras del bosque seco subtropical.	38
9	Especies vegetales indicadoras del bosque húmedo subtropical templado.	39
10	Centros poblados dentro del área de estudio según el Instituto Nacional de Estadística, municipio de Chiquimula.	41
11	Determinación del número de parcelas a evaluar por ecosistema en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	44
12	Tamaños de parcelas utilizadas en el inventario de carbono, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	45
13	Ecuaciones de biomasa utilizadas en el inventario de carbono, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	48

14	Carbono fijado por variable en el ecosistema de monte espinoso de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	54
15	Carbono fijado por variable en el ecosistema de arbustos y matorrales de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	56
16	Carbono fijado por variable en el ecosistema cultivos de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	58
17	Carbono fijado por variable en el ecosistema bosque de coníferas de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	60
18	Carbono fijado por variable en el ecosistema bosque mixto de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	62
19	Carbono fijado por variable en el ecosistema bosque latifoliado de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	64
20	Contenido de carbono fijado por variable en los ecosistemas de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.	67
21	Densidad de carbono (tC/ha) en la cuenca del río Tacó, Chiquimula, 2011.	67

I. RESUMEN

La cuenca del Río Tacó forma parte del abastecimiento de agua para la ciudad de Chiquimula, a pesar de ello, presenta una degradación considerable, provocada por la deforestación, la extracción ilícita de leña y el avance de la frontera agrícola.

Para obtener beneficios económicos a través de los créditos de carbono, fue necesario realizar un inventario de este elemento en la cuenca del Río Tacó, para determinar cuanto carbono se encuentra fijado actualmente. Se identificaron seis ecosistemas dentro de la cuenca: monte espinoso, área de cultivos, arbustos y matorrales, bosque de coníferas, bosque mixto y bosque latifoliado. La metodología propuesta es resultado de las experiencias de distintos autores, la cual requiere la toma de datos en campo de variables como: árboles, arbustos, maleza, hojarasca y suelos. Los resultados reflejan una densidad promedio de 113.889 tC/ha con un total de 260,205.582 tC en la cuenca del Río Tacó; pudiendo generar unos \$156,363.35/año a través de la Chicago Climate Exchange y \$35,064.48/año por medio de CARE.

Es necesario iniciar gestiones para la conservación de los recursos forestales; a través del programa REDD PLUS, que busca reducir las emisiones de carbono hacia la atmósfera, mediante la conservación y manejo sostenible de los bosques, la restauración forestal y reforestación, para lograr un aumento en las reservas de carbono forestal; pudiendo generar créditos de carbono, para ofrecerlos a organismos internacionales.

II. INTRODUCCIÓN

El efecto invernadero es señalado como uno de los problemas más graves para el futuro de la vida en nuestro planeta y principal causante del calentamiento global, el cual es provocado por el aumento en la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, tales como el CO₂, clorofluocarbonos, ozono y metano, principalmente por la utilización de combustibles fósiles en los automotores y fábricas, así mismo por el uso de material vegetal como fuente de energía.

A través de diversas investigaciones realizadas se ha determinado que los bosques, además de cumplir la función de proteger el suelo, servir como sostén de una amplia gama de biodiversidad y cumplir con una función de regulación, también tienen la capacidad natural de fijar el carbono que se encuentra dentro de la atmósfera; cabe resaltar que la biomasa arriba del suelo es el mayor contribuyente a las reservas de carbono y los suelos son la segunda fuente de carbono en importancia para los bosques.

La cuenca del Río Tacó es una fuente hídrica de vital importancia para la cabecera departamental de Chiquimula, por lo que se consideró necesario realizar un inventario de la cantidad de carbono que se encuentra fijado dentro de los diferentes ecosistemas que la conforman, con el propósito de apoyar los procesos de gestión del desarrollo sostenible de dicha cuenca.

La información obtenida fue utilizada para estimar el carbono fijado por los ecosistemas de la cuenca del Río Tacó, para establecer una línea base en la formulación de proyectos que beneficien a las comunidades y que promuevan la protección y conservación de los recursos naturales, utilizando el potencial que tiene la cuenca para la generación de ingresos económicos a través del servicio ambiental relacionado con la captura de carbono.

La metodología utilizada para llevar a cabo esta investigación, reúne las consideraciones y experiencias de diferentes autores, quienes han afinado las técnicas de muestreo a lo largo de los años, dependiendo del nivel de detalle y de los recursos existentes. Para el diseño del inventario se realizó un muestreo sistemático estratificado con parcelas circulares concéntricas de distintos tamaños, en donde se muestrearon fustales, latizales y brinzales.

El estudio se desarrolló en la cuenca del Río Tacó, municipio de Chiquimula, durante los meses de noviembre de 2,011 hasta enero de 2,012 en un área de 2,582 hectáreas.

III. MARCO CONCEPTUAL

2.1. ANTECEDENTES

Winrock Internacional, en mayo de 1998 realizó un inventario de carbono para el sistema cafetalero del municipio de San Juan La Laguna, Sololá, Guatemala, el cual consistía en visitas a 12 parcelas de café con sombra. Además, se determinó el contenido de carbono en usos de la tierra con cultivos anuales y tierras degradadas. Los resultados mostraron que el carbono adicional fijado por el sistema cafetalero respecto a los cultivos anuales y las tierras degradadas, se encuentra por la presencia de árboles de sombra y arbustos, pero el contenido de carbono fijado en el suelo por el sistema agroforestal y dichos sistemas donde el suelo no cuenta con una cobertura forestal no son tan diferentes con el carbono en la biomasa arriba del suelo. Una de las recomendaciones que Winrock Internacional plantea cuando existas árboles dispersos en el sistema es utilizar parcelas de mayor radio para medir los árboles de gran tamaño. (Márquez, 2000)

Cuadro 1 Carbono fijado en usos de la tierra en el municipio de San Juan La Laguna, Sololá, en el año de 1998.

Bosque	Biomasa arriba del suelo	Biomasa abajo del suelo	Hojarasca	Suelos (30 cm)	Total (tC/ha)
Café (n=9)	27	4	6	48	85
Tierras degradadas (n=3)	4	0	1	29	34
Cultivos anuales (n=3)	1	0	1	33	35

Fuente: Márquez, 2000.

Según Márquez (2000), estudios realizados en septiembre de 1999 en los bosques maduros de la parte sur del Lago de Atitlán, Sololá, Guatemala, donde se investigaron los bosques latifoliados y mixtos de la Cuenca Sur del Lago de Atitlán, se logró determinar que la biomasa arriba del suelo es el mayor contribuyente a las

reservas de carbono y el bosque con mayor reserva de carbono es el bosque latifoliado por contar con árboles de mayor DAP. Además, los suelos son la segunda fuente de carbono en importancia para los bosques muestreados, donde es importante notar que los resultados reflejan el carbono contenido en los primeros 10 cm de profundidad, por lo que el carbono contenido en el suelo puede aumentar considerablemente al evaluar un perfil más profundo del suelo.

Cuadro 2 Valores de carbono fijado en los bosques latifoliados y mixtos de la Cuenca Sur del Lago de Atitlán, en el año 1999.

Bosque	Biomasa arriba del suelo	Biomasa abajo del suelo	Hojarasca	Suelos (10 cm)	Total (tC/ha)
Mixto (n=6)	207	41	43	49	340
Latifoliado (n=15)	287	58	22	42	409

Fuente: Márquez, 2000.

En el año 2000, Edwin Castellanos *et al*, citado por Márquez (2000), realizó mediciones del contenido de carbono en los bosques latifoliados dentro de la Reserva de la Biósfera Maya, en donde desarrollaron un inventario de diámetros de árboles, con medidas adicionales de hojarasca y suelo. Se muestreó cada componente de la vegetación en una parcela proporcional, utilizando parcelas cuadradas concéntricas. Los sitios muestreados se localizaron en los alrededores de la comunidad de Carmelita y de la Estación Biológica Las Guacamayas, en donde 4 de las parcelas se realizaron en un bosque denominado “bajo” (áreas inundables) el cual mostró valores más bajos de biomasa que los bosques “altos” (áreas no inundables), el carbono estimado dentro de dichos bosques tiene un rango de variabilidad de ± 70 ton C/ha (Márquez, 2000).

Cuadro 3 Carbono fijado en bosques secundarios en la Reserva de la Biósfera Maya en Petén, 2000.

Lugar	Sotobosque	Bosque	Hojarasca	Suelos (10 cm)	Total (tC/ha)
Carmelita/Guacamaya (n=14)	14.3	99.9	3.74	81.2	199

Fuente: Márquez, 2000.

Edwin Castellanos de la Universidad del Valle de Guatemala, en colaboración con varios investigadores de la Universidad de Indiana y estudiantes del Centro Universitario de Oriente CUNORI, citado por Márquez (2000), realizaron un inventario de carbono en algunos bosques de Chiquimula, en el año 2000. Los sitios visitados fueron las comunidades de Las Cebollas y Tesoro y las fincas de San José y Tachoche, en donde se encuentran desde bosques semi-secos, bosques de coníferas (500 a 1500 msnm) y bosque nuboso (1600 msnm). Se utilizaron parcelas cuadradas concéntricas que fueron establecidas en altitudes que van desde los 942 a 1678 msnm y donde el total de carbono fijado tiene un rango de variabilidad de ± 50 ton C/ha.

Cuadro 4 Carbono fijado en bosques de coníferas y nuboso en el departamento de Chiquimula, 2000.

Lugar	Sotobosque	Bosque	Hojarasca	Suelos (10 cm)	Total (tC/ha)
San José (n=51)	6.45	67.1	5.05	31.1	110
Tachoche (n=40)	6.4	64.8	6.79	47.3	125
Tesoro (n=40)	2.3	63.5	2.08	37.5	105
Las Cebollas coníferas (n=19)	4.3	42.6	7.9	36.5	91
Las Cebollas latifoliadas (n=15)	7.1	91.2	6.1	71	175

Fuente: Márquez, 2000.

La Universidad del Valle de Guatemala, a través del Centro de Estudios Ambientales (6), realizó un estudio IFRI en el año 2007, en la región del bosque El Gigante, en donde se incluye también el contenido de carbono del bosque.

Cuadro 5 Estimación del carbono fijado en el bosque pino-encino del Gigante, Chiquimula, 2007.

Estrato	Arboles tC/ha	Arbustos tC/ha	Hojarasca tC/ha	Maleza tC/ha	Suelos tC/ha	Total tC/ha
Estrato 1	28.13	2.15	3.47	3.39	39.39	76.53
Estrato 2	51.92	2.48	4.93	0.95	29.24	89.52
Estrato 3	55.73	2.62	14.21	0.85	24.77	98.18
Estrato 4	32.65	9.11	15.35	2.2	32.22	91.53

Fuente: Centro de Estudios Ambientales y Biodeiversidad, 2007.

Jordán (2010) realizó una estimación del carbono fijado en los ecosistemas de la Zona Núcleo de la Reserva de la Biosfera Trifinio (Guatemala), para realizar el inventario de carbono se estratificó primeramente la zona de acuerdo a los ecosistemas predominantes, dentro de cada ecosistema se establecieron parcelas circulares de 500 m², luego se delimitaron subparcelas de 1 m² para malezas y brinzales, de 30 m² para arbustos y latizales y de 500 m² para fustales. Los resultados muestran que el área tiene una densidad de 396 tC/ha, lo que lo posiciona como un bosque con alto contenido de carbono. Sin embargo, puede justificarse su densidad alta al provenir los datos de un bosque nuboso, que posee arboles de gran tamaño y que la mayoría han alcanzado su estado de madurez.

Cuadro 6 Densidad de carbono (tC/ha) en la zona núcleo de la Reserva de Biósfera Trifinio, 2010.

Ecosistema	Área (ha)	Porcentaje de área del estrato	Densidad de carbono (tC/ha)	Aporte de estratos a la densidad total (tC/ha)
Área de cultivos	28.57	1.35	71.70	0.97
Área de arbustos	206.59	9.79	285.73	27.97
Bosque secundario	442.54	20.97	386.57	81.07
Bosque primario	1,432.60	67.89	424.87	288.43
Densidad de carbono en la Zona Natural de Reserva (tC/ha)				398.44

Fuente: Jordán. 2010.

2.2. JUSTIFICACIÓN

Según Aragón (2003), se estima que para Guatemala el incremento de la masa boscosa para bosques naturales, se ubica entre los 5.41% m³/ha/año para bosques de coníferas y 3.34% m³/ha/año para bosques latifoliados. Esto da un promedio aproximado del 43% de cobertura boscosa, por lo que puede considerarse como un país exportador de servicios ambientales partiendo de su potencial natural.

A medida que la población aumenta en las áreas urbanas y rurales de Guatemala, la presión que se ejerce sobre los recursos naturales se va incrementando, derivado de

la necesidad de los seres humanos por satisfacer sus necesidades, esto trae como consecuencia la expansión de la frontera agrícola y el crecimiento extensivo de las ciudades, dicho crecimiento da como resultado un aumento en la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera (CO₂), principalmente por la utilización de combustibles fósiles en los automotores y fábricas, así mismo por el uso de material vegetal como fuente de energía.

Los planes de manejo de cuencas, fueron concebidos con el enfoque de protección a inversiones previas en infraestructura hidráulica (presas, embalses); posteriormente el concepto cambió hacia la conservación de los recursos, por los beneficios obtenidos directamente. En la actualidad, el énfasis es el mejoramiento de la calidad ambiental a través del cuidado de los bosques, los cuales cumplen con una diversidad de funciones dentro de la naturaleza puesto que son sistemas que además de proteger el suelo, servir como sostén de una amplia gama de biodiversidad y cumplir con una función de regulación, también poseen la capacidad natural de fijar el carbono que se encuentra dentro de la atmosfera.

Por lo que resulta de gran importancia incorporar dentro de los planes de manejo de cuencas proyectos forestales de fijación de carbono que pueden contribuir a beneficiar significativamente a las comunidades que se encuentran dentro de la cuenca mediante la diversificación de sus ingresos mejorando la productividad de los suelos así como también el de darle un valor agregado al bosque por el servicio ambiental de fijación de carbono; por lo que, derivado de la problemática ambiental que vive el planeta los países más desarrollados e industrializados, que generalmente son lo que agudizan el problema de la emisión de los gases de efecto invernadero al ambiente, proporcionan una compensación económica a aquellos países, zonas o regiones que cuentan con masas boscosas capaces de fijar el carbono atmosférico, como pago por el servicio ambiental que se está prestando, pero para esto es necesario la elaboración de un inventario de carbono para la estimación de la cantidad aproximada de este elemento que está fijado por dichas masas.

En la presente investigación se realizó un inventario de carbono que permitió estimar la cantidad de este elemento que se ha fijado en los diferentes ecosistemas de la cuenca del Río Tacó, para ofrecerlo posteriormente ante entidades internacionales interesadas en contribuir con la protección del ambiente y gestionar el financiamiento para proyectos que beneficien a los habitantes de las distintas comunidades que se encuentran dentro de la cuenca, para que se vean en la responsabilidad de proteger los recursos vegetales, la belleza escénica, la biodiversidad y calidad del agua.

2.3. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El clima global es afectado significativamente como resultado del aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero, tales como, el CO₂, metano, óxidos nitrosos, ozono y clorofluorocarbonos, que se encuentran atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre, provocando un aumento potencial de la temperatura superficial del planeta y un consecuente cambio climático global. Una de las alternativas para lograr contrarrestar este problema se encuentra en la reducción de la concentración de estos gases en la atmósfera, especialmente del CO₂, por medio de la fijación y almacenamiento a través del aumento de la masa boscosa y la protección de los bosques existentes; por lo que se realizó un inventario de carbono en la cuenca del Río Tacó, para determinar qué cantidad de dicho elemento se encuentra fijado hasta el momento por los ecosistemas presentes en dicha cuenca.

En los últimos años, la cuenca del Río Tacó está sufriendo una degradación considerable de sus recursos naturales, provocada por la deforestación y la extracción ilícita de leña por parte de los pobladores de las comunidades ubicadas dentro de la cuenca, según muestran los resultados de la caracterización realizada por estudiantes de la Carrera de Agronomía del Centro Universitario de Oriente, Universidad de San Carlos de Guatemala. (2008).

Por lo que la información que sea generada de esta investigación, servirá de base para consolidar y establecer acciones de manejo efectivo, que permitan alcanzar los objetivos de conservación y desarrollo sustentable de los recursos naturales y el bienestar de los pobladores de la cuenca.

La generación de este tipo de información se enmarca en el eje de investigación de los “recursos naturales y sostenibilidad ambiental” y contribuirá con la línea de investigación enfocada al manejo y aprovechamiento racional de bosque naturales y plantaciones forestales, definidos como prioritarios por la carrera de Agronomía del Centro Universitario de Oriente.

IV. MARCO TEÓRICO

3.1. SISTEMA DE CODIFICACIÓN PFAFSTETTER

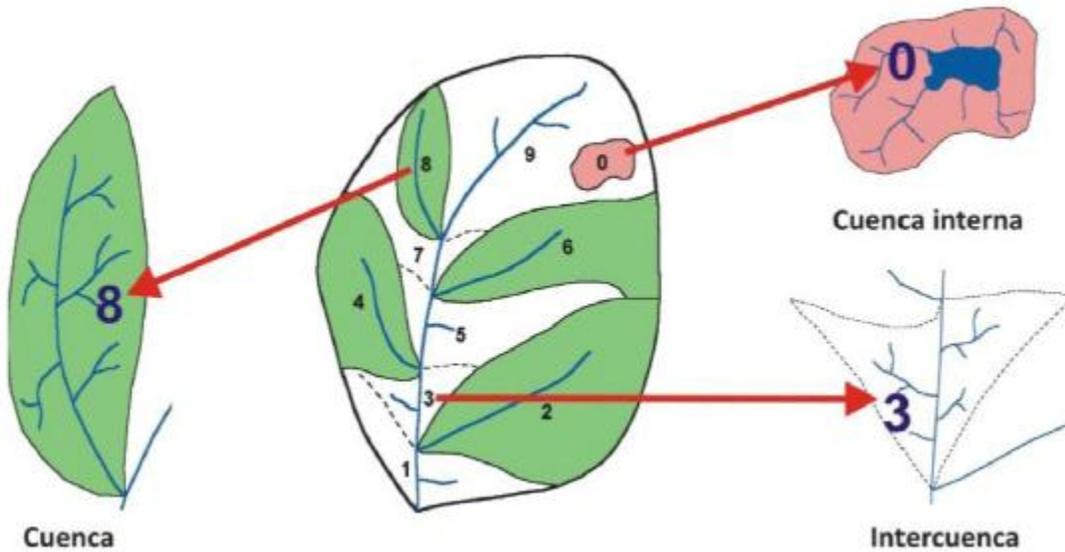
Es una metodología para asignar identificadores a unidades de drenaje basado en la topología de la superficie o área del terreno; asigna identificadores a una unidad hidrográfica para relacionarlas con las unidades hidrográficas que contiene y de las unidades hidrográficas con las que limita. (Ruiz y Torres, 2010).

3.1.1. Características del método

Según MAGA (2009) las principales características del método Pfafstetter son las siguientes:

- a) Asigna códigos a las unidades de drenaje, basado en la topología de la superficie del terreno
- b) Provee una única identificación a cada cuenca, basada en su ubicación dentro del sistema total de drenaje que ocupa.
- c) Es hidrológicamente ordenado.
- d) Economía de dígitos cuyas cantidades dependen del nivel en que se encuentra la unidad.
- e) El sistema es jerárquico y las unidades son delimitadas desde las uniones de ríos (confluencias).
- f) Las unidades de drenaje son divididas en 3 tipos:
 - Cuenca: es un área que no recibe drenaje de ninguna área, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje a través del curso del río, considerado como principal, al cual confluye.
 - Intercuenca: es un área que recibe drenaje de otras unidades aguas arriba, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje a través del curso del río, considerado como principal, al cual confluye.

- Cuenca interna: es un área que no contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua, tales como un océano o lago.



Fuente: MAGA, 2009.

Figura 1 Divisiones de la cuenca según el método Pfafstetter.

3.1.2. Proceso de delimitación

- a) Determinación del río principal: en función del criterio del área drenada, se hace la distinción entre río principal y tributario. En consecuencia, en cualquier confluencia, el río principal será siempre aquel que posee mayor área drenada entre los dos.
- b) Se delimitan las 4 cuencas principales: el criterio de área de drenaje prevalece.
- c) Se delimitan las intercuenca: las cuales se delimitan desde el punto de desembocadura de cada cuenca hacia la margen opuesta del río principal, hasta hacer contacto con otro límite de cuenca. Se deben obtener 5 intercuenca.

3.1.3. Proceso de codificación

- a) Se codifican las unidades hidrográficas: el sentido de la codificación es desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Las unidades tipo cuenca son enumeradas con dígitos pares (2, 4, 6, 8) y las de tipo intercuenca con dígitos impares (1, 3, 5, 7 y 9).
- b) Cada una de las cuencas e intercuenas resultantes de la primera división, pueden ser subdivididas de la misma manera, de modo que la subdivisión de la cuenca 8 genera las cuencas 82, 84, 86 y 88 y las intercuenca 81, 83, 85, 87 y 89. Los dígitos de la subdivisión son simplemente agregados al código de la unidad “madre”, que está siendo dividida.
- c) Para las regiones de litoral, le sentido de la codificación será horario: a) en vertientes orientales la codificación será de norte a sur; y b) en vertientes occidentales las cuencas se codifican de sur a norte.

3.2. CICLO DEL CARBONO

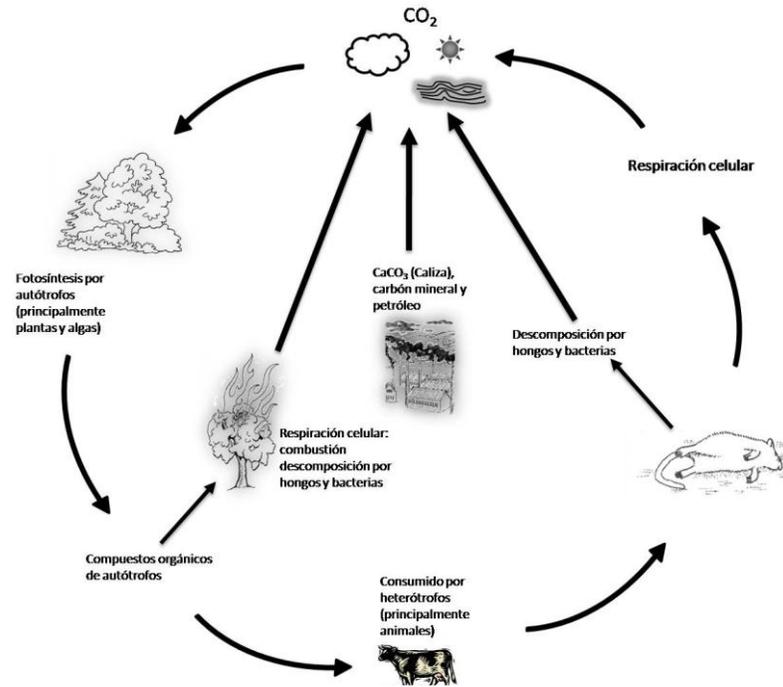
Aunque el carbono es un elemento muy raro en el mundo no viviente de la Tierra, representa alrededor del 18% de la materia viva. La capacidad de los átomos de carbono de unirse unos con otros proporciona la base para la diversidad molecular y el tamaño molecular, sin los cuales la vida tal como la conocemos no podría existir (Kimball, 1982). Fuera de la materia orgánica, el carbono se encuentra en forma de dióxido de carbono y en las rocas carbonatadas (calizas, coral). Los organismos autótrofos (especialmente las plantas verdes) toman el dióxido de carbono y lo reducen a compuestos orgánicos: carbohidratos, proteínas, lípidos y otros. Los productores terrestres obtienen el dióxido de carbono de la atmósfera y los productores acuáticos lo utilizan disuelto en el agua (en forma de bicarbonato, HCO_3^-).

En cada nivel trófico de una red alimentaria, el carbono regresa a la atmósfera o al agua como resultado de la respiración. Las plantas, los herbívoros y los carnívoros

respiran y al hacerlo liberan dióxido de carbono. La mayor parte de la materia orgánica en cada nivel trófico no es consumida por un nivel trófico superior sino que pasa hacia el nivel trófico final, los organismos de descomposición. Esto sucede a medida que mueren las plantas y los animales o sus partes. Las bacterias y los hongos desempeñan el papel vital de liberar el carbono de los cadáveres o de los fragmentos que ya no podrán utilizarse como alimento para otros niveles tróficos. Mediante el metabolismo de los animales y de las plantas se libera el dióxido de carbono y el ciclo del carbono puede volver a comenzar (Kimball, 1982).

Desde inicios de la era industrial el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera ha aumentado gradualmente. Al quemarse cantidades cada vez mayores de carbón mineral, petróleo y gas natural, estamos retornando a la atmósfera el carbono que estaba aprisionado dentro de la Tierra desde hace millones de años. Sin embargo, el aumento del dióxido de carbono atmosférico es sólo algo así como un tercio de la cantidad que podría esperarse según datos bien establecidos sobre el consumo de los combustibles fósiles (Kimball, 1982).

Los investigadores que cultivan plantas en ambientes controlados han demostrado que incrementos moderados en la disponibilidad de dióxido de carbono aumentan la tasa de fotosíntesis (Kimball, 1982). Por lo tanto, parte del dióxido de carbono liberado por el consumo de combustibles fósiles puede haber aumentado la productividad primaria a nivel mundial. Otro sumidero de nuestra producción de dióxido de carbono es el mar. El dióxido de carbono del aire se intercambia fácilmente con el dióxido de carbono disuelto en el mar. A su vez, el dióxido de carbono disuelto está en equilibrio con los depósitos carbonatados del mar. Si se añade más dióxido de carbono al agua marina, el excedente se precipita en forma de sedimentos carbonatados, como el coral y la caliza. También puede suceder lo contrario: al descomponerse estos sedimentos se restablece cualquier reducción que haya podido ocurrir con el dióxido de carbono y al mismo tiempo un amortiguador que ayuda a minimizar los cambios en la concentración del dióxido de carbono.



Fuente: Jordán con base a Kimball, 2009.

Figura 2 Ciclo del carbono, que muestra las etapas o procesos en los que participa este elemento en la naturaleza

3.3. EL EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El dióxido de carbono como parte de los gases de efecto invernadero (GEI) impide el escape de los rayos infrarrojos, provenientes del sol. 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 (principalmente dióxido de carbono), desde los tiempos preindustrializados, el cual se ha elevado de 280 ppm a 375 ppm de CO_2 , ha causado un cambio significativo en el ciclo natural, incrementando las temperaturas globales promedios de la tierra, proceso conocido como cambio climático (Márquez, 2000).

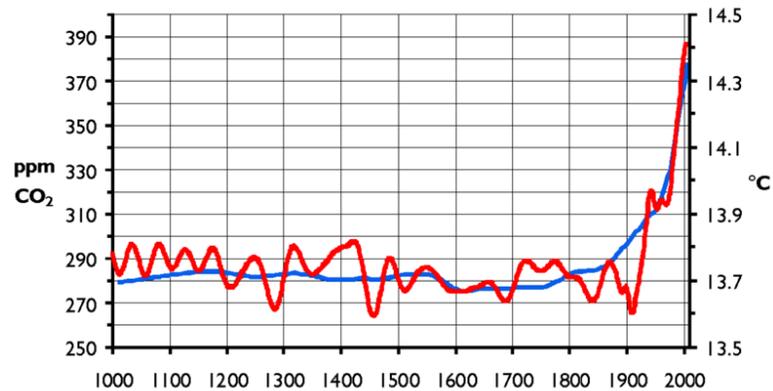
El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), el principal órgano científico para la evaluación sobre el cambio climático, calcula que la deforestación es responsable de más del 17% de las emisiones de carbono antropogénicas. Sostiene que la reducción y prevención de la deforestación tendrá el impacto “más importante y directo” sobre los niveles de carbono en la atmósfera (Márquez, 2000).

Según Martínez (2009), investigaciones recientes en los últimos años demuestran que el cambio climático es un fenómeno irreversible, y como consecuencia de ello se estiman ciertas cifras alarmantes:

- ✓ En el 2025, el hombre consumirá el 70 por ciento del agua disponible.
- ✓ La mitad de humedales del mundo han desaparecido. La mayoría ha sido destruida durante los últimos 50 años.
- ✓ A causa de la desertificación, 24 billones de toneladas de suelo fértil desaparecen cada año.
- ✓ En los últimos 20 años, se ha perdido por la sequía una cantidad de tierra fértil equivalente a toda la superficie cultivada de Estados Unidos.
- ✓ El 60 por ciento de la tierra fértil del planeta, cerca de 3.6 millones de hectáreas, está en proceso de degradación.
- ✓ Si antes de 1970 el 15% de la superficie terrestre sufría sequía, hoy la proporción alcanza ya 30%.
- ✓ Las enfermedades relacionadas con la falta de agua causan al año la muerte de unas cinco millones de personas.

Según Arvesano y Temperini (2006), la intensificación del efecto invernadero en las últimas décadas, como consecuencia de los niveles más elevados de GEI asociados a las actividades industriales y agrícolas que viene realizando el hombre, así como también la deforestación; han limitado la capacidad regenerativa de la atmósfera para eliminar el dióxido de carbono (principal responsable del efecto invernadero). Es así como la temperatura global se está incrementando sensiblemente con las

considerables implicancias negativas que este recalentamiento pueda tener para la humanidad y el entorno.



Fuente: Aversano, 2006.

Figura 3 Concentración de dióxido de carbono en la atmósfera terrestre (azul) y la temperatura media global (rojo) en los últimos 1000 años.

3.4. LA FOTOSÍNTESIS EN EL PROCESO DE CAPTURA DE CARBONO

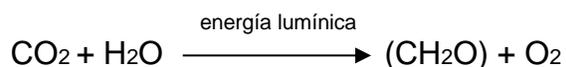
Para la conservación de la vida en las células vegetales o animales se requiere un consumo continuo de energía. Esta energía procede del sol, directa o indirectamente. La existencia de los organismos heterótrofos depende de los organismos autótrofos. Dos de los principales procesos que llevan a cabo las plantas verdes terrestres y en los cuales utiliza directamente la energía del sol son la transpiración y la fotosíntesis. En esos dos procesos se utilizan grandes cantidades de energía lumínica, pero sólo en la fotosíntesis se almacenan grandes cantidades de este tipo de energía para su futuro consumo. La luz influye también en otros procesos, tales como la floración, la germinación de las semillas, ciertas curvaturas de crecimiento, los movimientos estomáticos y la producción de pigmentos; sin embargo, en esos casos, solamente participan cantidades muy pequeñas de energía solar.

La supervivencia de la vida sobre la Tierra depende de la fotosíntesis, proceso a través del cual las plantas pueden realizar todos sus procesos. El crecimiento de las

plantas va acompañado del aumento del contenido de carbono, el cual es absorbido del CO₂ que se encuentra en la atmósfera.

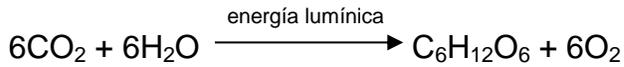
Primeras investigaciones: La primera evidencia sobre la participación de los gases en la fotosíntesis fue anunciada por Joseph Priestley en 1772. Priestley descubrió que si se coloca una planta en una atmósfera desprovista de oxígeno, pronto la planta restituye el oxígeno y un ratón puede sobrevivir en la mezcla. Priestley pensó que el crecimiento de la planta era el causante de la supervivencia del ratón. Fue el médico holandés Ingen-Housz quien en 1778 descubrió que el efecto observado por Priestley solamente ocurría si se iluminaba la planta. Una planta encerrada en una cámara hermética oscura consume oxígeno al igual que lo hace el ratón (Kimball, 1982).

El crecimiento de las plantas está acompañado del incremento en el contenido de carbono. El sacerdote suizo Jean Senebier descubrió que la fuente de este carbono es el dióxido de carbono y que la liberación de oxígeno durante la fotosíntesis acompaña la absorción de dióxido de carbono. Senebier concluyó (erróneamente, como pudo demostrarse más tarde), que en la fotosíntesis el dióxido de carbono se descompone, incorporándose el carbono en la materia orgánica de la planta y produciendo la liberación de oxígeno. En 1804, 32 años después de las primeras observaciones de Priestley, el físico y botánico suizo Nicolas Th. de Saussure, explicó la parte final de la reacción general de la fotosíntesis, cuando observó que el agua participaba en el proceso. Podía explicarse entonces el experimento realizado por van Helmont, cerca de 200 años antes (Kimball, 1982).



El paréntesis que encierra a CH₂O no significa que se está indicando una molécula específica, sino simplemente la proporción en la cual se hallan presentes los átomos en algún carbohidrato; por ejemplo, glucosa, C₆H₁₂O₆. La ecuación también indica que la proporción del dióxido de carbono consumido con respecto del oxígeno liberado es 1:1. Esta relación de O₂/CO₂ = 1, se conoce como cociente fotosintético.

Si se utiliza la glucosa como el carbohidrato producido, podemos escribir la ecuación de la fotosíntesis de la siguiente manera:



3.5. SERVICIOS AMBIENTALES (SA)

Actualmente, se destacan cuatro tipos de SA:

- ✓ Secuestro y almacenamiento de carbono: por ejemplo, una empresa eléctrica del hemisferio norte paga a campesinos del trópico por plantar y mantener árboles.
- ✓ Protección de la biodiversidad: por ejemplo, donantes que pagan a los pobladores locales por proteger y restaurar áreas para crear un corredor biológico.
- ✓ Protección de cuencas hidrográficas: por ejemplo, los usuarios aguas abajo pagan a los dueños de fincas aguas arriba por adoptar usos de la tierra que limiten la deforestación, la erosión del suelo, riesgos de inundación, etc.
- ✓ Belleza escénica: por ejemplo, una empresa de turismo paga a una comunidad local por no cazar en un bosque usado para turismo de observación de la vida silvestre.

3.5.1. Pagos por servicios ambientales (PSA)

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. Reconociendo en todo caso, que el valor que se les da, es un valor relativo, debido a los incontables beneficios que estos producen para el hombre.

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.

Según Wunder (2006), hasta ahora el PSA no se ha definido formalmente, lo que contribuye a algunas confusiones conceptuales, por lo que se usan cinco criterios relativamente simples para describir los principios del PSA. Un sistema de PSA es:

- ✓ una transacción voluntaria,
- ✓ donde un SA bien definido (o un uso de la tierra que aseguraría ese servicio)
- ✓ es 'comprado' por al menos un comprador de SA
- ✓ a por lo menos un proveedor de SA
- ✓ sólo si el proveedor asegura la provisión del SA transado (condicionamiento).

Según el primer criterio, el PSA se da dentro de un marco negociado y voluntario que lo distingue de las medidas de mando y control. Esto presupone que los proveedores potenciales de SA tienen opciones reales de uso de la tierra.

El segundo criterio establece que lo que se compra debe haber sido bien definido –puede ser un servicio medible directamente (toneladas adicionales de carbono almacenado) - o usos equiparables de la tierra que, quizás, ayuden a proveer el servicio (la conservación del bosque garantiza la limpieza del agua’).

En cualquier esquema de PSA debe haber recursos que vayan de al menos un comprador del SA (criterio 3) a al menos un vendedor (criterio 4), aunque con frecuencia la transferencia se da a través de un intermediario. Principalmente, en un esquema de PSA los pagos del usuario deben ser realmente contingentes por un servicio ofrecido de manera ininterrumpida (criterio 5). Por

lo general, los compradores del servicio monitorean si se han cumplido las condiciones contractuales.

Es importante señalar que el pago no necesariamente debe expresarse como una operación monetaria, pues también puede traducirse en una mejora de infraestructura (caminos, reservorios de agua, etc.), servicios (postas médicas, escuelas, etc.) o extensión rural (talleres, equipamiento, semillas, etc.). El mecanismo de compensación puede variar desde un pago periódico directo a los proveedores individuales, hasta el establecimiento de un fondo fiduciario manejado por un directorio con participación de los proveedores, usuarios, sector privado, sociedad civil y el estado.

3.5.2. Tipos de PSA

Los esquemas de PSA claramente se distinguen de otras herramientas de conservación, pero internamente son también muy diversos unos de otros. A continuación se analizan tres diferentes tipos de esquemas: basados en área vs basados en productos, públicos vs. privados y de uso restringido vs. realce productivo (Wunder, 2006).

Primero, los esquemas de PSA difieren en cuanto a los vehículos usados para lograr los efectos de conservación o restauración. El tipo más común son los esquemas basados en el área; en estos, el contrato estipula usos equiparables de la tierra y/o de los recursos para un número predeterminado de unidades de terreno. Ejemplos son las concesiones para la conservación, servidumbres, cuencas contractualmente protegidas o plantaciones para el secuestro de carbono (Wunder, 2006).

En orden de importancia siguen los esquemas basados en productos, mediante los cuales los consumidores pagan un 'premium verde', el cual es un sobreprecio para los esquemas de producción certificados como amigables con

el ambiente, y especialmente con la biodiversidad. El sobreprecio puede otorgarse a un producto que respeta el valor de uso o no uso de hábitats prístinos (por ejemplo: ecoturismo, extracción de caucho), para formas de producción agroecológica que preservan niveles de SA relativamente altos (café bajo sombra, agricultura orgánica), o para métodos de producción de SA que empleen las mejores prácticas para minimizar los impactos ambientales negativos (madera certificada, propuesta de certificación de la producción de soya y ganado en Brasil), Wunder (2006).

Segundo, los esquemas de PSA también difieren en cuanto a quiénes son los compradores. En esquemas públicos, como en Costa Rica, México y China, el estado actúa en defensa de los compradores de los SA mediante el cobro de impuestos y solicitud de donaciones para pagar a los proveedores. Los esquemas privados, por su parte, se enfocan más en las necesidades locales (básicamente todos los esquemas de carbono), y los compradores pagan directamente. Los esquemas públicos por lo general son de mayor alcance y gozan de la legitimidad estatal, lo que no es evidente en los esquemas privados (Wunder, 2006).

Finalmente, los esquemas de PSA de uso restringido premian a los proveedores por la conservación (incluyendo la regeneración natural), por equiparar la extracción de recursos y el desarrollo de la tierra, o por preservar zonas como hábitats protegidos. Aquí los dueños de la tierra reciben un pago por los costos de oportunidad de la conservación y por sus esfuerzos de protección activa contra amenazas externas. En contraste, en los esquemas de 'realce productivo' el PSA busca restaurar los SA en un área dada; por ejemplo, (re)plantando árboles en paisajes degradados y deforestados. Aparte de los costos de oportunidad y de protección, el PSA también puede compensar los costos directos de establecer SA, a menudo mediante inversiones en sistemas agrícolas.

3.6. FOREST CARBON PARTNERSHIP FACILITY (FCPF) – BANCO MUNDIAL

Los bosques proporcionan muchos servicios a los seres humanos y al mundo natural, llegando a un amplio consenso respecto de una verdad simple, aunque profunda: los bosques son más valiosos cuando están en pie que cuando son talados. Y este consenso dio lugar a la creación del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF, por su sigla en inglés), en el seno del Banco Mundial (Córdova, 2009).

El FCPF consta de dos mecanismos independientes; cada mecanismo tiene su propio fondo fiduciario cuyo depositario es el Banco Mundial.

3.6.1. El mecanismo de preparación (Readiness Mechanism).

Las actividades de preparación incluyen: i) la formulación de una estrategia nacional sobre REDD; ii) la creación de un escenario de referencia para las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación, basado en las emisiones históricas recientes y, posiblemente, la elaboración de un modelo de las emisiones futuras; y iii) la creación de un sistema de seguimiento de las emisiones y las reducciones de emisiones (Córdova, 2009).

Con el mecanismo de preparación, el FCPF también se propone experimentar y aprender sobre métodos para crear escenarios de referencia y creación de sistemas para el monitoreo de las reducciones de emisiones. Los métodos para establecer escenarios de referencia, que dependerán de las circunstancias de cada país, se basarán en los niveles de emisiones en el pasado y considerarán, en cierta medida, un pronóstico de las emisiones futuras.

Toda la preparación en sí, pretende establecer el marco necesario para lograr reducciones de emisiones efectivas y verificables (Córdova, 2009). Para esto, será preciso realizar reformas básicas a estructuras existentes en los países así

como inversiones en el sector forestal y otros sectores que influyen en los bosques.

El primer paso que deben dar los países interesados es presentar al FCPF una “Nota de idea del plan de preparación”, conocida como R-PIN (Readiness Plan Idea Note) por sus siglas en inglés. Luego de que este es aprobado por el FCPF, entonces son sujetos de una financiación de US\$200,000.00 para la elaboración del Plan de preparación, conocido como R-PLAN (Readiness Plan).

Inicialmente el FCPF planteó colaborar con 20 países en la etapa de preparación; sin embargo, basado en las promesas de donaciones al fondo, hasta ahora un total de 37 países tienen aprobado su R-PIN, aunque sólo 25 de ellos lograron financiamiento total o parcial por la disponibilidad de fondos (Córdova, 2009).

Los países que aparecen numerados del 1 al 20 en el anexo 1, fueron los primeros en tener su R-PIN aprobado, por lo que accedieron a financiamiento de hasta US \$3.6 millones, para elaboración e implementación del R-PLAN.

Los países del 21 al 25 obtuvieron financiamiento por US \$200,000.00 para elaborar el R-PLAN, aunque están pendientes de obtener mayor financiamiento para su implementación.

El resto de países, entre los cuales se encuentra Guatemala, están pendientes de financiamiento por parte del FCPF u otros, ya que la disponibilidad de fondos está agotada a la fecha y las promesas de ampliar dicho fondo no se han hecho efectivas aún.

El FCPF ha invitado a los países a buscar por su parte, ayudas de otros donantes y fondos, e incluso de ser posible fondos propios, para iniciar la

preparación del R-PLAN. Además del apoyo financiero, el FCPF también ofrece asesoría técnica para esta etapa de preparación a los países miembros (Córdova, 2009).

3.6.2. El mecanismo de financiación de carbono (Carbon Finance Mechanism).

Algunos de los países que hayan participado con éxito en el mecanismo de preparación serían seleccionados para participar en forma voluntaria en el mecanismo de financiamiento del carbono, a través del cual el FCPF establecerá en forma experimental pagos de incentivos en unos cinco países en desarrollo (Córdova, 2009).

De acuerdo con montos estipulados en contratos negociados, el Fondo de Carbono pagará a los países elegidos toda reducción verificable de emisiones que supere el escenario de referencia. A través de estos pagos, se pretende ofrecer un incentivo para alcanzar la sostenibilidad a largo plazo en el financiamiento de programas de conservación y ordenación del manejo de los bosques. De esta manera, se espera contribuir a la reducción de los impactos negativos en el clima mundial, derivados de la deforestación y la degradación de los bosques (Córdova, 2009).

Para tener éxito, el FCPF procurará encauzar los pagos de incentivos hacia las esferas en que sean más necesarios, como poblaciones más pobres que viven en los bosques, pueblos indígenas, etc. En todos los casos, el gobierno nacional asumirá el papel principal en el compromiso de reducir las emisiones (13). Aunque el FCPF es principalmente un instrumento de mitigación del cambio climático, al diseñar los programas de REDD se deben tomar precauciones para no perjudicar a los habitantes locales y el medio ambiente; y, cuando sea posible, incrementar los medios de subsistencia y mejorar el medio ambiente local.

El mecanismo de financiamiento del carbono analizará la posibilidad de financiar y probar una amplia gama de enfoques en diversos países (Córdova, 2009). Entre estos, i) medidas de reforma jurídica y política macroeconómica en el sector de la conservación y ordenación de los bosques y/o estrategias de uso de la tierra; ii) pagos por servicios ambientales; iii) creación de parques y reservas; e iv) intensificación de la agricultura en áreas agrícolas (mejora de productividad).

3.7. UN – REDD

El Programa Colaborativo de Naciones Unidas para REDD, mejor conocido como UN-REDD, surgió de las solicitudes hechas por los gobiernos de países que poseen bosques tropicales, respecto a asuntos relacionados con bosques y cambio climático, a través de la cooperación y coordinación con otros gobiernos y organizaciones. El objetivo del Programa UN-REDD es asistir a los países en desarrollo que poseen recursos forestales para adquirir experiencia en el manejo de los riesgos de formulación y construcción de estructura de pagos, generando los flujos requeridos de transferencia de recursos para reducir las emisiones globales de la deforestación y degradación de bosques (Córdova, 2009).

La meta, a corto plazo, es evaluar si las estructuras de pago y el apoyo a la construcción de capacidades pueden crear los incentivos que aseguren que la reducción de emisiones es real, duradera, alcanzable, confiable y medible, mientras se mantienen y mejoran otros servicios ambientales que los bosques proveen.

Para estos efectos se creó un fondo de múltiples donantes en julio de 2008 que permite la agregación de recursos y el financiamiento de las actividades de este programa. El UN-REDD tendrá dos componentes: el primero, dirigido a ayudar a los países en desarrollo en la preparación en implementación de estrategias nacionales y mecanismos de REDD; el segundo componente, está dirigido a apoyar el desarrollo de normas y enfoques estándar para un instrumento de REDD vinculado a la

Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El programa brindará capacidades a los países para manejar sus procesos REDD y facilitará el acceso a asistencia, financiera y técnica, diseñada a la medida de sus necesidades. En este sentido, las acciones nacionales son identificadas y dirigidas por el gobierno anfitrión, y apoyadas por el equipo de Naciones Unidas en el país. Los gobiernos deberán determinar también los roles de las organizaciones participantes, así como sus propias responsabilidades y contribuciones a las estrategias nacionales de REDD. (Córdova, 2009)

Las acciones a nivel nacional serán diseñadas como Programas Conjuntos, y deben ser lo suficientemente flexibles para armonizar con otras iniciativas REDD dentro del país y poder beneficiarse de las ventajas comparativas de las Organizaciones de Naciones Unidas participantes (Córdova, 2009).

3.7.1. Principios del Programa UN-REDD

Este programa se basará en los cinco principios interrelacionados del Grupo de Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDG, United Nations Development Group), estos principios han sido acordados por los miembros de Naciones Unidas, y son:

- ✓ Planificación basada en los derechos humanos, con referencia particular a los Acuerdos sobre Asuntos de los Pueblos Indígenas del UNDG.
- ✓ Equidad de género
- ✓ Sostenibilidad Ambiental
- ✓ Manejo basado en resultados
- ✓ Desarrollo de Capacidades

Además, cada Organización de las Naciones Unidas:

- ✓ Trabaja sobre sus fortalezas comparativas

- ✓ Facilitará la cooperación, en base a la experiencia de organizaciones nacionales e internacionales que actúan como ejecutores, para asegurar acciones coordinadas y en tiempo
- ✓ Contribuirá activamente a la coordinación y seguimiento de las tendencias principales del país, evitando la duplicación de esfuerzos con otras iniciativas REDD.

3.7.2. Áreas de apoyo del Programa

El apoyo que este programa brinda puede variar, dependiendo de las causas de deforestación, el potencial de reducciones, el nivel de preparación para REDD, y otros factores de riesgo (13). Dentro de las áreas de apoyo se encuentran:

- ✓ Análisis de situación y necesidades y construcción de alianzas.
- ✓ Preparación para monitoreo y evaluación (línea base y escenarios de referencia, desarrollo de capacidades para monitoreo y evaluación, entre otras).
- ✓ Desarrollo de un diálogo REDD en el país (reuniendo a todos los actores involucrados para asegurar toma de decisiones representativas).
- ✓ Desarrollo de una estrategia nacional para REDD.
- ✓ Apoyo en la implementación de medidas para REDD.
- ✓ Manejo de datos de REDD.
- ✓ Diseño de estructuras de pago de incentivos (financiamiento).
- ✓ Distribución de pagos por REDD (búsqueda de esquemas justos y adecuados para el país o para cada área).

3.8. REDUCCIÓN DE EMISIONES CAUSADAS POR LA DEFORESTACIÓN Y LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL (REDD)

Desde hace algunos años, varios países iniciaron las discusiones acerca de incluir la deforestación evitada dentro de las actividades para mitigación de emisiones de gases efecto invernadero (GEI), en el marco de la Convención Marco de las

Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) y el Protocolo de Kyoto, basándose en el supuesto que las emisiones provenientes de las actividades relacionadas con la deforestación, son significativas en la contabilización total de emisiones de GEI. Con el tiempo, se aceptó también que las emisiones derivadas de la degradación de bosques también contribuyen a esta contabilización. Todo esto lo confirma el Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), que indica que las emisiones de GEI contabilizadas de la deforestación equivalen al 17% de las emisiones totales, colocándose en el segundo lugar, sólo precedidas por el sector energético (Córdova, 2009).

Es así que a partir de Diciembre de 2005, luego de la COP 13, se ha iniciado el trabajo por parte de todos los países signatarios de la UNFCCC y el Protocolo de Kyoto, para llegar a acuerdos sobre la inclusión de actividades orientadas a la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de bosques, y sobre enfoques metodológicos para la estimación de las mismas y los compromisos que cada una de las partes deberían asumir después del año 2012 y en adelante (Córdova, 2009). El concepto “Deforestación Evitada” que fue manejado al inicio de las discusiones sobre estos temas, evolucionó a lo que actualmente se conoce como actividades o iniciativas para la Reducción de Emisiones causadas por la Deforestación y la Degradación ambiental (REDD).

Los países que poseen bosques naturales y las mayores tasas de deforestación y/o degradación de bosques, son países en vías de desarrollo, con múltiples problemas socioeconómicos que, sin incentivos positivos y apoyos de terceros, les será difícil si no imposible, reducir las tasas de deforestación y degradación de sus bosques. Además, en la actualidad no tienen las estructuras claramente definidas para el flujo de fondos y la distribución de beneficios; muchos además, poseen algunas debilidades respecto a la legislación vigente, y en algunos casos poseen serios problemas de gobernanza. Por todo ello, han surgido varias iniciativas que pretenden apoyar la preparación de los países en desarrollo para acoger programas y beneficios provenientes de los compromisos adquiridos por las Partes para la

reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de bosques (Córdova, 2009).

REDD+: Es el acrónimo de la reducción de emisiones de la deforestación y la degradación forestal y el aumento de las reservas de carbono en los países en desarrollo. Este mecanismo que se propone tiene como fin mitigar el cambio climático recompensando económicamente a los países en desarrollo para que dejen de talar sus bosques.

Tanto REDD como REDD+ tienen como objetivo reducir las emisiones de carbono a la atmósfera. REDD tiene por finalidad abordar tanto la deforestación (la conversión de tierra forestada a tierra no forestada) como la degradación forestal (reducciones en la calidad de los bosques, en particular respecto de su capacidad de almacenar carbono) (White y Minang, 2011).

REDD+ ha sido el centro de intensos debates desde que Papúa Nueva Guinea y Costa Rica presentaron una propuesta para reducir las emisiones producidas por la deforestación durante las negociaciones internacionales sobre cambio climático que tuvieron lugar en 2005.

Al poco tiempo, esta propuesta se amplió desde su concepción original para abarcar también la “degradación forestal” y fue seguida por propuestas que consideraban la inclusión de la agroforestería y la agricultura. El “plus” o “más” de REDD+ contemplan la conservación y el manejo sostenible de los bosques, la restauración forestal y la reforestación, así como el aumento de las reservas de carbono forestal (Creative Commons de Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual, 2009).

Las últimas décadas han visto niveles muy altos de deforestación y degradación forestal, particularmente en los trópicos. Esto ha sido el resultado de un amplio abanico de motivos incluyendo la tala (legal e ilegal), la roturación para explotaciones agrícolas de gran escala, los usos de subsistencia por los pobres del medio rural, la

minería y el fuego. La desaparición del bosque preocupa por muchas razones – pérdida de biodiversidad, impactos en los medios de vida rurales, daños a servicios de ecosistema como el aprovisionamiento de agua etc. – pero recientemente se ha dado una atención especial al vínculo entre pérdida forestal y cambio climático. (PROFOREST, 2011).

En respuesta a esta concienciación creciente sobre la importancia para el cambio climático del cambio del uso del suelo, y en particular de la pérdida de bosque, un grupo de países con bosque tropical realizó en 2005 una propuesta a la CMNUCC para que el acuerdo sobre cambio climático post-2012¹ incluya un mecanismo para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD). Esta propuesta inicial se elaboró en mayor profundidad en reuniones posteriores de la CMNUCC para incluir la conservación de las reservas de carbono de los bosques, la gestión sostenible de bosques, y la mejora de las reservas de carbono de los bosques. La combinación de REDD y estas tres actividades adicionales se llama REDD+. (PROFOREST, 2011).

Los flujos de fondos relacionados con los programas de REDD+ podrían alcanzar la suma de US\$30.000 millones anuales, para poder reducir a la mitad las emisiones entre 2005 y 2030. Además de reducir las emisiones de carbono, el flujo de fondos, principalmente en sentido Norte-Sur, podría servir de apoyo a nuevos desarrollos en favor de los pobres y ayudar a conservar la biodiversidad y otros servicios vitales de los ecosistemas (White y Minang, 2011).

REDD+, tal y como está concebido actualmente, requiere pagos por parte de países desarrollados a países en desarrollo a cambio de una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de los bosques o un aumento de las reservas de carbono en los bosques. Aun se está debatiendo sobre la procedencia de este dinero – la financiación inicial provendrá de fondos asignados, pero a medio plazo podría requerir algún tipo de mecanismo de mercado vinculado a las compensaciones. En principio, los pagos financiarían a continuación acciones que permitan a países en

desarrollo a conservar o utilizar sus bosques de manera sostenible, proporcionando a los bosques intactos un valor competitivo respecto de otros usos (PROFOREST, 2011).

✓ **Financiación de REDD+**

Una vez que el esquema esté listo, se podrán introducir mecanismos de financiamiento basados en el mercado de carbono, otros esquemas del sector privado o financiamiento bilateral de países donantes (Creative Commons de Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual, 2009).

✓ **Fuentes de financiación**

Según PROFOREST (2011) existen varias fuentes potenciales de financiación para REDD+. Las principales son:

- Fondos Internacionales: Proviene de gobiernos nacionales y se pagan ya sea mediante acuerdos bilaterales directos o bien mediante organismos multilaterales como el Banco Mundial o el FMAM (Fondo para el medio ambiente mundial). La cantidad de 4 mil millones de dólares prometida por los países socios de REDD+ pertenece a este tipo de financiación y el dinero se entregaría por medio de esta variedad de mecanismos (y no a través de la propia organización de REDD+).
- Fondos basados en el cumplimiento: Estos fondos están vinculados al cumplimiento de los compromisos de países desarrollados en cuanto a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Compra de créditos por gobiernos: Dentro del Protocolo de Kyoto, los países desarrollados tienen objetivos legalmente vinculantes en cuanto a la reducción de emisiones. Si los países desarrollados no cumplen con sus objetivos y emiten más de lo asignado tendrán que comprar bonos de

carbono. Estos bonos pueden provenir de dos fuentes: de otros países desarrollados que hayan emitido menos del máximo permitido y que pueden vender los derechos de emisión que no hayan utilizado; de proyectos para reducir emisiones de gases de efecto invernadero establecidos en países sin objetivos de reducción de emisiones – a menudo denominados compensación por emisiones de carbono.

- Pagos de empresas por bonos de carbono: como una manera de cumplir los objetivos domésticos en países desarrollados, a los sectores industriales que emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero se les asigna sus respectivos objetivos de emisión, donde cada empresa recibe una cantidad máxima de derechos de emisión. Algunos países desarrollados han establecido sistemas de compraventa de emisiones, que a nivel de empresa replican los principios del sistema de compraventa de emisiones entre países del Protocolo de Kyoto. El Sistema de Compraventa de Emisiones de la UE es uno de ellos, con varios sistemas nacionales o estatales en otros países. Dependiendo de las reglas adoptadas para tales sistemas de compraventa de emisiones, las empresas podrían comprar bonos de carbono REDD+ como compensación por sus emisiones, ya sea directamente a gobiernos de países REDD+ o bien a proyectos y sectores dentro de dichos países.

3.9. MERCADOS DEL CARBONO

Según Peña (2007), el mercado de carbono surge en el mundo como una vía complementaria, alternativa y económicamente viable al compromiso asumido por países, empresas e individuos, de disminuir las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero (GEI). Este puede estar dentro del cumplimiento y la observancia de las prerrogativas del Protocolo de Kyoto o puede estar dentro del mercado voluntario, el cual no es jurídicamente vinculante, pero se ha desarrollado

como respuesta a aquellos que están interesados en convertirse en carbón neutral (remover de la atmósfera tanto bióxido de carbono como el que agregamos).

América Latina y el Caribe tienen un superávit de activos ambientales que convierten a la región en un importante proveedor de servicios ambientales globales. Entre estos servicios se encuentran los mercados de carbono, que representan una oportunidad de generar recursos adicionales para el desarrollo del país. Esto basado en mejores patrones de producción y consumo de energía, abriendo el campo a procesos de eficiencia energética, producción más limpia, así como un mayor aprovechamiento de las energías renovables, particularmente los biocombustibles, que ofrecen nuevas alternativas para un mayor desarrollo económico de los países de la región. (Peña y Bent, 2007).

3.10. MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es uno de los tres mecanismos establecidos en el Protocolo de Kioto para facilitar la ejecución de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por las Partes que son países en vías de desarrollo ('Partes no incluidas en el Anexo I') en cooperación con países desarrollados ('Anexo I').

El MDL se encuentra definido en el Artículo 12 del Protocolo y tiene como objetivo, por un lado ayudar a los Países que son Partes del Anexo I a cumplir con sus metas de limitación y reducción de emisiones de GEI, y por el otro, ayudar a los Países No Anexo I al logro de un desarrollo sostenible

El mecanismo permite que las Partes no incluidas en el anexo I se beneficien de las actividades de proyectos que tengan por resultado reducciones certificadas de emisiones; y que las Partes incluidas en el anexo I utilicen las reducciones certificadas de emisiones resultantes de esas actividades de proyectos para

contribuir al cumplimiento de una parte de sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos

Es un mecanismo de mercado, ya que los créditos resultantes de las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero o por la absorción en los sumideros, se comercializan y quien los adquiere los contabiliza para el logro de los compromisos de reducción asumidos.

Las condiciones generales para que un proponente de proyecto de un país en desarrollo acceda al MDL son cuatro:

- ✓ Desarrollo sustentable: se debe demostrar que el proyecto contribuye a los objetivos de desarrollo sustentable del país anfitrión, incluyendo la conservación de la biodiversidad y el uso sustentable de los recursos naturales.
- ✓ Adicionalidad: se debe demostrar que el proyecto genera reducción de emisiones reales, medibles y de largo plazo, adicionales a las que hubieran ocurrido en ausencia del proyecto. Para ello, se deben comparar los flujos y stocks de carbono de las actividades del proyecto con las que ocurrirían si el mismo no se lleva a cabo (la llamada línea base).
- ✓ Certificación: la reducción de emisiones debe ser certificada por una tercera parte independiente llamada “entidad operacional” (EO), la cual debe ser acreditada por el Comité Ejecutivo del MDL (CE). Las entidades operacionales son las encargadas de validar los proyectos MDL propuestos o de verificar y certificar reducciones de emisiones.

3.11. MERCADOS VOLUNTARIOS

Según Peña y Bent (2007), además del mercado de carbono oficial regulado por las instituciones de la UNFCCC, también hay un mercado creciente, basado en los

compromisos voluntarios de empresas privadas e individuos que buscan compensar por los impactos ambientales que genera su actividad productiva.

Tanto el mercado oficial como el mercado voluntario de emisiones tienen objetivos que van más allá de la captura de carbono. De acuerdo con el artículo 12 del Protocolo de Kyoto, los proyectos del MDL también deben contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible de los países anfitriones, tales como la reducción de la pobreza y el mejoramiento del nivel de vida de las zonas rurales.

Así mismo, muchas empresas de gran tamaño han establecido metas de reducción de GEI voluntariamente. Estas compañías toman decisiones basadas en estrategias de inversión a futuro, ante las expectativas de cambio en la regulación ambiental y la convicción de que el desarrollo sostenible y la responsabilidad social en temas ambientales fortalecen el negocio. En muchos casos estas empresas invierten en reducción de emisiones de carbono de proyectos en países en desarrollo o en economías en transición, donde el costo de mitigación es menor.

3.11.1. Lo que se comercializa

Según Peña y Bent (2007), lo que se tranza en estos mercados son las reducciones certificadas o no, de emisiones de CO₂e₃, comúnmente conocidos como CER. Algunos estados industrializados o empresas emisoras de CO₂, financian proyectos de reducción de emisiones de GEI, en un país en vías de desarrollo, que equivale a las toneladas de CO₂e que generan. Otros, en cambio, acuden a bolsas de clima en las que ya están los proyectos desarrollados, con las cantidades de emisiones capturadas certificadas o verificadas, y donde se venden a quienes requieran reducir su propio impacto ambiental.

Sin embargo no es válido para la comunidad internacional financiar o comprar proyectos que hubiesen sido llevados a cabo sin tener en cuenta el beneficio

ambiental o el cumplimiento legal, ya que lo primordial es ir más allá del marco legal por compromiso con el medio ambiente. Resulta importante tener siempre presente que el propósito del mercado de emisiones es la reducción de los GEI, si ese propósito no se logra no hay forma de comercializar los proyectos en ninguna de las bolsas de clima del mundo.

3.11.2. Donde y como se comercializa

Uno de los principales mercados para la venta de los créditos de carbono en la Chicago Climate Exchange (CCX), que actualmente es el único escenario en el continente americano donde se pueden tranzar emisiones hoy. Uno de sus propósitos principales consiste en facilitar la comercialización de CERL a través de su plataforma, con el agregado de contribuir voluntariamente a la reducción de gases generadores del efecto invernadero.

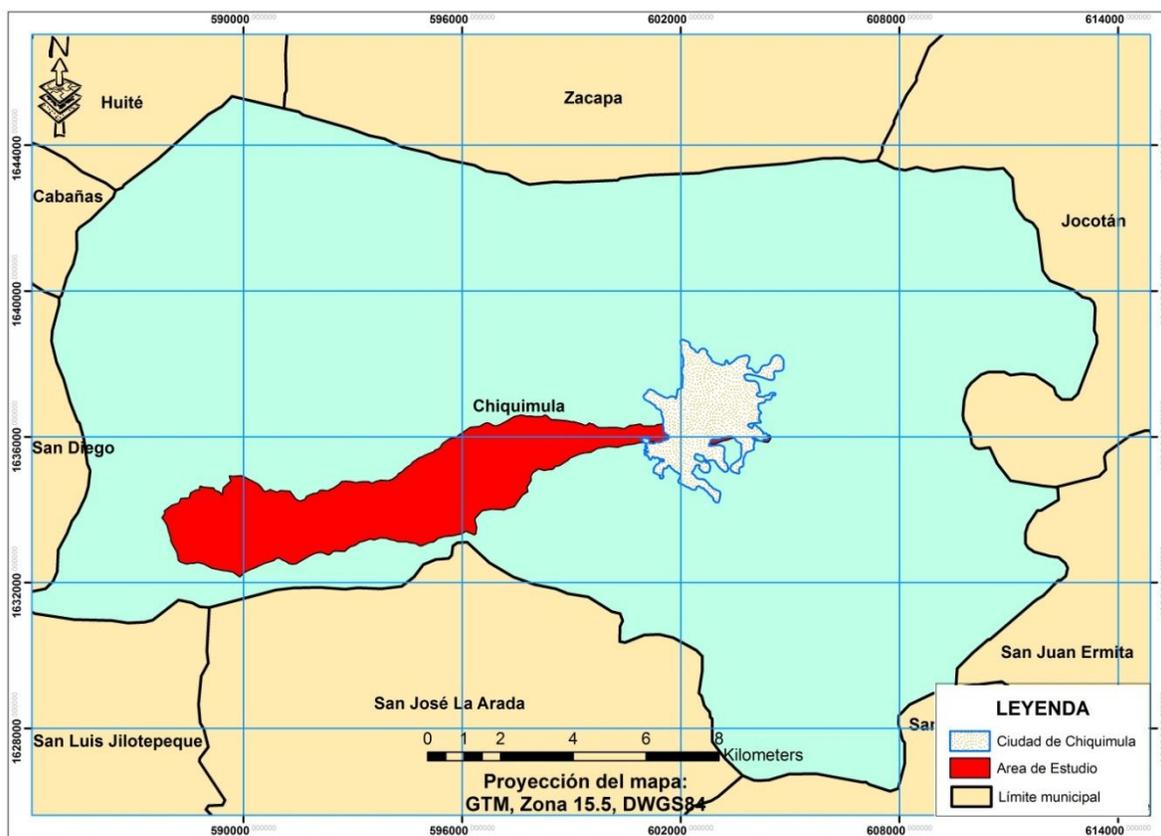
La dinámica de la CCX es la de una bolsa de valores tradicional, en la que oferentes y demandantes, privados y públicos, coinciden en un escenario para intercambiar un bien o servicio, sólo que en este caso lo que se tranza son certificados de emisiones reducidas. En ese sentido, una empresa que tenga como compromiso reducir sus emisiones a 10.000 tCO₂ por año, pero que al momento de evaluar, emite 12.000 tCO₂ por año, debe ir a una Bolsa de Clima a comprar certificados equivalentes a 2.000 tCO₂ por año para compensar su excedente. En este punto resulta válido anotar que esta dinámica es una economía de mercado y por lo tanto la ecuación de oferta y demanda determina el precio de los CER.

V. MARCO REFERENCIAL

4.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en el municipio y departamento de Chiquimula, abarca una extensión de 25.82 km², lo que corresponde a aproximadamente el 7.48% de la superficie que ocupa el municipio de Chiquimula. Según MAGA (2009), la cuenca del Río Tacó le corresponde un nivel 7 y el código 9518272, de acuerdo con la metodología Pfafstetter.

El área se encuentra localizada dentro del cuadrante definido por las coordenadas: 589,000 y 614,000 en "X"; y, 1,630,000 y 1,647,000 en "Y" (Sistema Coordinado GTM, Zona 15.5, Datum WGS84). Dicho cuadrante incluye además a la ciudad de Chiquimula, cabecera departamental de Chiquimula.



Fuente: Elaboración propia en base a información del SIG, Chiquimula, CUNORI, 2011.

Figura 4 Mapa de ubicación de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

4.2. CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.2.1. Zonas de vida

El área de estudio comprende tres zonas de vida, según el mapa de zonas de vida elaborado por el MAGA; el Monte Espinoso Subtropical –meS- , Bosque Seco Subtropical –sb-S- y el Bosque Húmedo Subtropical (templado) –bh-S(t) – Como es muy común en el territorio guatemalteco esto ocasiona que las condiciones climáticas y los ecosistemas que se desarrollan en un área, cambien drásticamente en una extensión relativamente pequeña de terreno.

Entre las especies vegetales indicadoras de estas zonas de vida se encuentran:

Cuadro 7 Especies vegetales indicadoras del monte espinoso subtropical.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
<i>Bursera simaruba</i>	Indio desnudo
<i>Agave sp.</i>	Maguey
<i>Spondias sp.</i>	Jocote de iguana
<i>Tecoma stans</i>	Chacté
<i>Opuntia sp.</i>	Nopal
<i>Acacia farnesiana</i>	Subín

Fuente: Caracterización y diagnóstico realizado por estudiantes de Agronomía del Centro Universitario de Oriente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008.

Cuadro 8 Especies vegetales indicadoras del bosque seco subtropical.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
<i>Gliricidia sepium</i>	Madre cacao
<i>Alvaradoa amorphoides</i>	Plumajillo
<i>Guasuma ulmifolia</i>	Caulote
<i>Hymenaea coubaril</i>	Guapinol
<i>Sanytalia procumbens</i>	Palo de zorrillo
<i>Tecoma stans</i>	Chacté

Fuente: Caracterización y diagnóstico realizado por estudiantes de Agronomía del Centro Universitario de Oriente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008.

Cuadro 9 Especies vegetales indicadoras del bosque húmedo subtropical templado.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
<i>Quercus crispifolia</i>	Roble amarillo
<i>Pinus oocarpa</i>	Pino ocotero
<i>Pinus maximinoi</i>	Pino maximinoi
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nance
<i>Calliandra houstoniana</i>	Yaje
<i>Persea americana</i>	Aguacate

Fuente: Caracterización y diagnóstico realizado por estudiantes de Agronomía del Centro Universitario de Oriente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008.

4.2.2. Ecosistemas

El área de estudio comprende 6 ecosistemas: monte espinoso subtropical, caracterizado por ser un área rocosa; área de arbustos y matorrales, siendo ésta un área que años anteriores fue utilizada para la producción de granos básicos y el proceso de sucesión ecológica ha avanzado hasta convertir este ecosistema en matorrales; área de cultivos, que son las áreas que actualmente son utilizadas para la producción de granos básicos y pasto para ganado; bosque mixto, caracterizado por la presencia de *Quercus crispifolia* y *Pinus oocarpa*; bosque de coníferas, donde predominan el *P. oocarpa* y *P. maximinoi*; y bosque latifoliado que se caracteriza por ser un bosque con diversidad de especies características de lugares templado.

4.2.3. Clima

Aunque el área de estudio tiene una extensión relativamente pequeña, su rango altitudinal varía entre los 314 y los 1800 msnm, esto tiene como consecuencia que las condiciones climáticas a nivel local varíen marcadamente entre la parte baja, media y alta de la cuenca.

De acuerdo con los modelos climáticos generados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala; la precipitación en el área de estudio varía entre 500 y los 800 mm anuales, aunque estas estimaciones

no consideran ciertas situaciones microclimáticas que causan que los valores mencionados en este apartado parezcan demasiado conservadores.

Mientras que la temperatura media anual se encuentra entre los 20 y los 27 grados centígrados, siendo mayor la temperatura en la parte baja de la cuenca y cercanas a la ciudad de Chiquimula, mientras que la parte alta se registran valores de temperatura más bajos. Esto influenciado grandemente por los gradientes adiabáticos que son las variaciones de temperatura que experimentan las masas de aire en movimiento vertical.

En cuanto a la evapotranspiración potencial, ésta se encuentra entre 1973 y 2000 mm por año, en dónde el valor mayor ocurre en la parte más baja de la cuenca bajo estudio. Esto provoca que la parte baja de la cuenca presente condiciones climáticas bastante secas, mientras que la parte alta posee condiciones climáticas más favorables.

4.3. ASPECTOS SOCIALES

El área de estudio comprende una zona urbana –la ciudad de Chiquimula– y varias zonas rurales –la mayor parte del territorio–. Está integrada por 12 centros poblados (según la información cartográfica generada por el INE en 2005), excluyendo a la ciudad de Chiquimula. Por centro poblado, debe entenderse lo que en lenguaje común se conocen como: ciudades, provincias, aldeas, caseríos, entre otros. Una lista de los centros poblados mencionados aparece en el Cuadro 14.

Con respecto a la ciudad de Chiquimula, ésta cuenta con 31,808 habitantes, según el censo de 2002, a esto debe sumarse una gran cantidad de personas que visitan o que se establecen temporalmente en la ciudad. Además, es en la ciudad de Chiquimula en la que se concentra la mayor densidad poblacional del departamento. Esto hace que la demanda de los recursos sea muy alta.

Como toda población humana demanda de su entorno varios recursos para su supervivencia y desarrollo, la interacción humano-naturaleza puede crear un desbalance entre las partes, en primer lugar en forma negativa hacia a los recursos naturales involucrados, y por último hacia la propia sociedad humana. Por tanto, en cualquier estudio sobre los recursos naturales, necesariamente debe considerarse la relación de éstos con el ser humano.

Cuadro 10 Centros poblados dentro del área de estudio según el Instituto Nacional de Estadística, municipio de Chiquimula.

CENTRO POBLADO	CATEGORÍA
Carrizal	Caserío
El Chilar	Caserío
El Filo	Caserío
El Pato	Caserío
El Sauce	Caserío
Guayabillas	Caserío
La Laguna	Aldea
Loma Larga	Caserío
Tacó Arriba	Aldea
Tamiz o Carboneras	Finca
Terreno Barroso	Caserío
Tierra Blancas	Aldea

Fuente: INE, 2002.

VI. MARCO METODOLÓGICO

5.1. OBJETIVOS

5.1.1. Objetivo general

- ✓ Generar información sobre la cantidad de carbono fijado en los ecosistemas de la cuenca del Río Tacó del municipio de Chiquimula, con el propósito de apoyar los procesos de gestión del desarrollo sostenible en el área.

5.1.2. Objetivos específicos

- ✓ Estimar el carbono fijado en los diferentes ecosistemas de la cuenca del Río Tacó, para la conformación de una línea base, que sirva en la formulación de proyectos de beneficio comunal, orientados a la conservación y protección de los recursos naturales de la cuenca.
- ✓ Determinar el potencial que tiene la cuenca del Río Tacó para la generación de ingresos económicos, a través de la venta del servicio ambiental relacionado con la captura de carbono.

5.2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología propuesta para llevar a cabo esta investigación, reúne las consideraciones y experiencias de diferentes autores, quienes han afinado las técnicas de muestreo a lo largo de los años, dependiendo del nivel de detalle y de los recursos existentes.

5.2.1. Diseño del inventario

Para el desarrollo del inventario se utilizaron parcelas concéntricas circulares. El proceso del inventario de carbono consistió primeramente en estratificar la cuenca, de acuerdo a los ecosistemas predominantes. Dicha estratificación se realizó analizando las fotografías aéreas del año 2006, en donde se clasificó el bosque de acuerdo al tipo de vegetación existente. Seguidamente se agruparon los estratos homogéneos, y con la ayuda del software ArcGis 9.2, se calculó el área total. Los estratos que se pudieron identificar son: Monte espinoso, que contempla zonas extremadamente rocosas; área de arbustos y matorrales, caracterizada por áreas que han sido cultivadas en los últimos años, y no se ha regenerado el bosque; área de cultivos, caracterizado por áreas, cuyo uso actual es la siembra de granos básicos o pasto para ganado; bosque de coníferas, caracterizado por la presencia de *P. oocarpa* y *P. maximinoii*; bosque mixto; caracterizado por la presencia de *P. oocarpa* y *Quercus crispifolia*, y bosque latifoliado, caracterizado por ser un bosque de tipo energético.

5.2.2. Diseño del muestreo

Se utilizó una intensidad de muestreo del 0.1%, del total del área. Para la distribución de las parcelas se recurrió el muestreo sistemático estratificado, para lo cual se determinó el área total de cada ecosistema y se calculó el número de parcelas que corresponde a cada uno, que fueron distribuidas de acuerdo al tamaño de los mismos.

La ecuación que se utilizaró para calcular el número de parcelas es la siguiente:

$$N = A * \%I * (10,000/T)$$

Dónde:

N = Número de parcelas por estrato

A = Área total de estratos homogéneos (Ha)

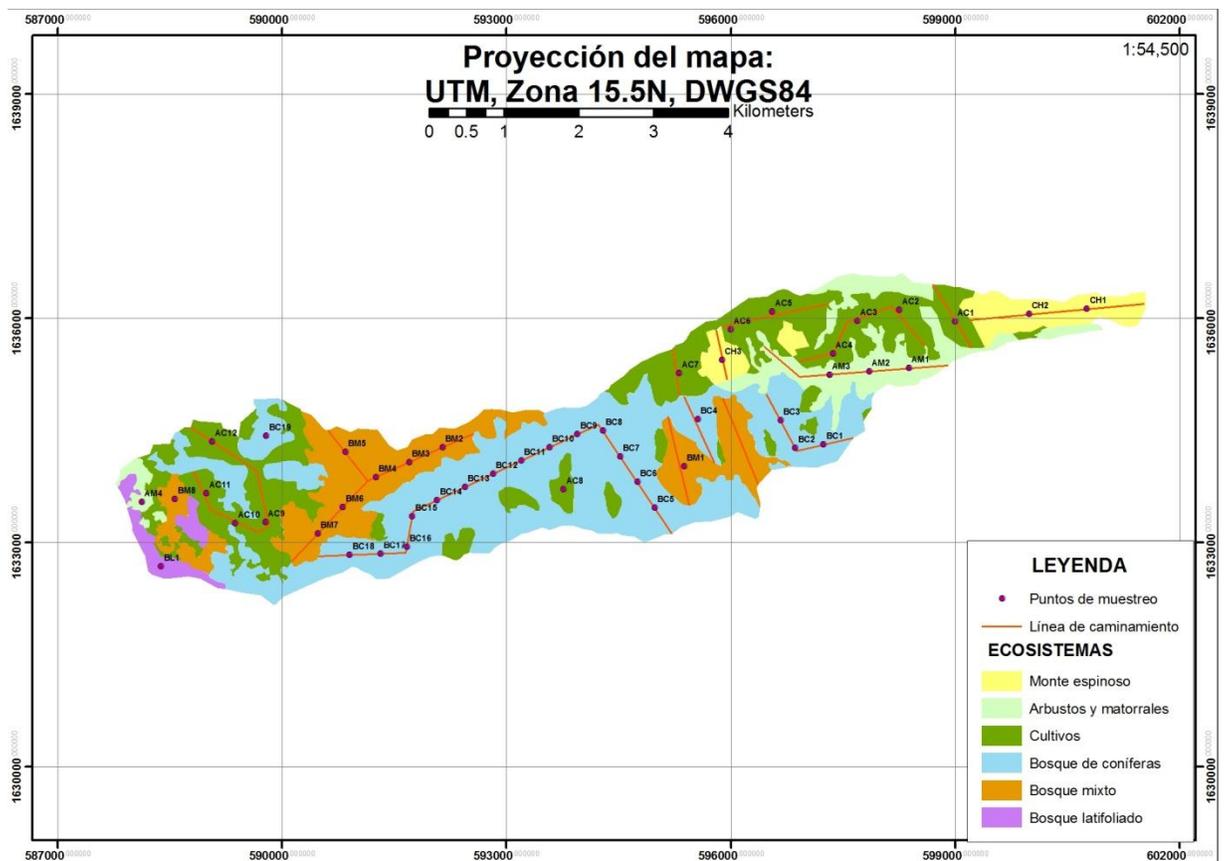
I = Porcentaje de intensidad de muestreo

T = Tamaño de parcela (m²)

Cuadro 11 Determinación del número de parcelas a evaluar por ecosistema en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

ECOSISTEMA	AREA (ha)	NO. DE PARCELAS	TOTAL PARCELAS (500 m ²)
Monte espinoso	142.83	$142.83 * 0.1\% * \left(\frac{10,000}{500}\right)$	3
Área de arbustos y matorrales	221.64	$221.64 * 0.1\% * \left(\frac{10,000}{500}\right)$	4
Área de cultivos	607.64	$607.64 * 0.1\% * \left(\frac{10,000}{500}\right)$	12
Bosque de coníferas	947.87	$947.87 * 0.1\% * \left(\frac{10,000}{500}\right)$	19
Bosque mixto	402.30	$402.30 * 0.1\% * \left(\frac{10,000}{500}\right)$	8
Bosque latifoliado	51.49	$51.49 * 0.1\% * \left(\frac{10,000}{500}\right)$	1
AREA TOTAL	2,373.77		47

Fuente: Elaboración propia, 2011.



Fuente: Elaboración propia, 2011.

Figura 5 Distribución de las parcelas dentro de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

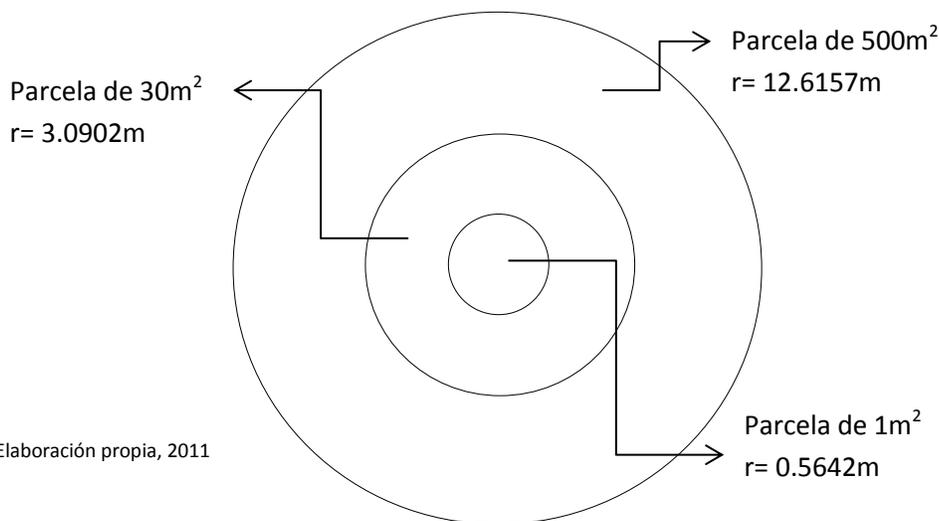
5.2.3. Tamaño de la muestra

El objetivo del levantamiento de información dasométrica radica en considerar todas las edades del bosque como una forma de estimar con mayor precisión la densidad de carbono por unidad de área (brinzales, latizales y fustales). El muestreo comprendió la incorporación de sub-parcelas anidadas dentro de la parcela grande de la siguiente forma: para el muestreo de fustales (individuos mayores a 10 cm de DAP), se utilizarán parcelas de 500 m²; para latizales (individuos entre 1 y 9.9 cm de DAP), parcelas de 30 m²; y para brinzales, parcelas de 1 m², pudiendo variar sus dimensiones dependiendo del factor de corrección por la pendiente del terreno.

Cuadro 12 Tamaños de parcelas utilizadas en el inventario de carbono, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

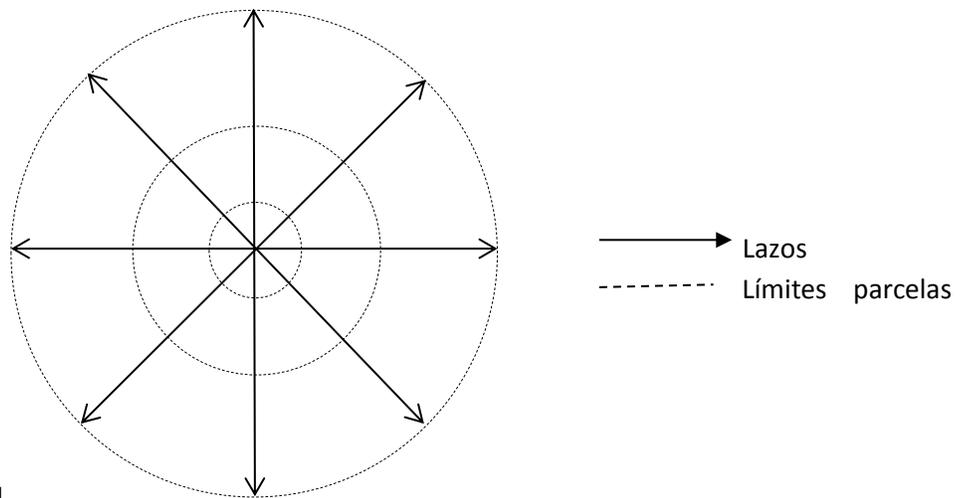
Vegetación a muestrear	Superficie en m ²	Radio de la parcela en metros
Fustales	500	12.6157
Latizales	30	3.0902
Brinzales	1	0.5642

Fuente: Elaboración propia, 2011.



Fuente: Elaboración propia, 2011

Figura 6 Diseño de las parcelas de muestreo a utilizar en el inventario de carbono en la cuenca del río Tacó, Chiquimula, 2011.



Fuente: Elaboración propia, 2011

Figura 7 Distribución de lazos con marcas de radios de parcelas utilizadas en el inventario de carbono en la cuenca del río Tacó, Chiquimula, 2011.

5.2.4. Factor de corrección de pendiente

Debido a que gran parte de la cuenca presenta pendientes elevadas, se hace necesario tomar en consideración el factor de corrección de pendiente, el cual se aplicó para modificar el radio de las parcelas descritas. La ecuación que se utilizó para calcular el nuevo radio es la siguiente:

$$RC = r/\cos A$$

Dónde:

RC = Radio Corregido

r = radio de la parcela

cos A = Coseno del ángulo de la pendiente del terreno

5.2.5. Equipo utilizado

Para realizar el inventario de carbono se utilizó el siguiente equipo:

- ✓ Material cartográfico con ubicación de las parcelas y sus coordenadas
- ✓ Lazos
- ✓ Lápices, marcadores, sacapuntas
- ✓ Formulario de campo
- ✓ Equipo de primeros auxilios, linternas, repelente de insectos
- ✓ Equipo para lluvia
- ✓ Bolsas Ziploc para muestras de hojarasca, vegetación y suelos
- ✓ Cilindro para muestreo de suelos y un martillo
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Cinta diamétrica
- ✓ Brújula
- ✓ Etiquetas
- ✓ Clinómetro CST Abney de 5 1/4" de largo
- ✓ Balanzas de precisión PESOLA de 1Kg y de 5Kg
- ✓ Sierra para podar
- ✓ Pala para colecta de hojarasca
- ✓ Bolsa de plástico para colectar y homogenizar muestras
- ✓ GPS Garmin 60CSx

5.3. ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA EN EL CAMPO

5.3.1. Vegetación arbórea

La biomasa de los árboles se calcula a través de ecuaciones generadas por varios autores. Estas pueden requerir que conozcamos uno o más datos, por ejemplo, DAP, altura y densidad de la madera. A estos datos se les llama variables. Se utilizarán 2 ecuaciones para latifoliadas: una para *Quercus* sp. y otra para las latifoliadas restantes. Además de estas ecuaciones, se utilizó una ecuación para conífera.

Cuadro 13 Ecuaciones de biomasa utilizadas en el inventario de carbono, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

ESPECIE	ECUACIÓN	Rango de DAP (cm)	FUENTE	R ²
Latifoliadas	$Y = \exp(-2.289 + 2.649 \cdot \ln(D) - 0.021 \cdot (\ln(D))^2)$	5-148	Winrock, 2005	0.98
Quercus spp.	$Y = 0.1773 \cdot (D)^{2.2846}$	11-45	CEA UVG, 2006	0.86
Coníferas	$Y = 0.1377 \cdot (D)^{2.4038}$	5-52	CEA UVG, 2009	0.94

Fuente: Jordán, 2010.

Dónde:

Latifoliadas

Y = Biomasa en kilogramos

D = Diámetro a la altura del pecho en centímetros

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

ln = logaritmo natural

Quercus sp. y Coníferas

Y= Biomasa en kilogramos

D= Diámetro de altura al pecho en centímetros

H= Altura en metros

ln = logaritmo natural

El valor de la biomasa en kilogramos se divide dentro de 1,000 para obtener toneladas. La teoría indica que en promedio, la materia vegetal contiene un 50% de carbono, una vez se ha removido el agua. Entonces, las toneladas de biomasa se multiplican por 0.5 para obtener toneladas de carbono. El valor de carbono se divide dentro de la superficie de la parcela de muestreo (en m²) para obtener tC/m². Al multiplicarlo por 10,000 m²/ha se obtienen tC/ha.

Para los árboles que se encuentren en el límite de la parcela, si más de la mitad del tronco se encuentra dentro de la parcela, se tomará en cuenta; si más de la

mitad del tronco se encuentra fuera de la parcela, entonces no se tomará en cuenta. Si el límite de la parcela coincide con el centro del árbol, se tomó uno cada 2 árboles en las mismas condiciones.

5.3.2. Árboles muertos en pie

Para árboles muertos en pie, se midió diámetro y altura normal, y se aplicaron las fórmulas que se utilizan para la vegetación arbórea, pero el resultado obtenido de la ecuación elegida sólo se considerará el 70%. Porcentaje que ha sido estimado como el promedio de la biomasa restante de un árbol seco, el cual no posee hojas ni ramillas.

5.3.3. Arbustos

Para la estimación de este reservorio, se eligieron de 2 a 3 arbustos que sean representativos de las parcelas y se les midió el diámetro, altura y el peso total. Seguidamente se tomó una muestra pequeña, que sea representativa de los arbustos, y se pesaron en el campo y su peso seco en laboratorio, esto con la finalidad de generar una ecuación específica para los arbustos del Río Tacó. A los arbustos restantes se les medirá el diámetro y altura.

5.3.4. Maleza y hojarasca

Para estos dos reservorios se realizaron procedimientos similares, para la estimación del carbono. La colecta de estos materiales se hizo en la parcela de 1 m², dentro de la parcela de 500 m².

El procedimiento a realizado en cada parcela es el siguiente: se reunió toda la maleza colectada y se tomó el peso húmedo total. Seguidamente se homogenizó la muestra y se tomó una submuestra, de tal forma que se llene una bolsa de cierre hermético de 18 cm x 20 cm, la cual debe de estar

debidamente enumerada e identificada. Se repite este procedimiento para la hojarasca.

5.3.5. Suelo

Las muestras de suelos fueron tomadas en el centro de las parcelas. Se utilizó un cilindro liso de acero inoxidable de 2 pulgadas de diámetro y 4 pulgadas de alto, para recoger el suelo en los primeros 10 centímetros.

Se debe tener el cuidado de limpiar bien el área, para evitar hojarasca o raíces en la muestra. Seguidamente, se introdujo el cilindro a presión, hasta que se introduzca completamente en el suelo. Luego se saca el cilindro cuidadosamente. Después de extraer la muestra contenida en el cilindro, se tomó el peso húmedo del suelo y fue guardado en una bolsa de cierre hermético debidamente enumerada e identificada.

5.4. ANALISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO

5.4.1. Material vegetal

Para la determinación de la materia seca de la maleza en el laboratorio, las muestras fueron sometidas en un horno convencional de secado, a una temperatura de 60° C, durante 48 horas. Al finalizar el tiempo de secado fue tomado el peso después de secado, para obtener la materia seca, la cual es el cociente entre el peso seco y el peso húmedo. Se realizó el mismo procedimiento para la hojarasca, y para muestras de arbustos.

$$\mathbf{Ms = Ps/Ph}$$

Dónde:

Ms = Materia seca

Ps = Peso seco de la muestra

Ph = Peso húmedo de la muestra

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

$$\mathbf{Bt = Phc * Ms}$$

Dónde:

Bt = Biomasa total seca (Kg)

Phc = Peso húmedo total en campo (Kg)

Ms = Materia seca

El resultado de la ecuación anterior se debe multiplicar por 0.5 para obtener carbono.

5.4.2. Suelo

Una de las variables necesarias para la determinación de carbono en suelos es la densidad aparente. Para estimarla se utilizó el método del cilindro del volumen conocido el cual consiste en secar las muestras a temperatura ambiente y bajo sombra durante 48 horas. Posteriormente se registra su peso en el laboratorio para que junto con el volumen ya determinado del cilindro, se obtenga la densidad aparente, de la muestra de suelo. La ecuación utilizado es la siguiente:

$$\mathbf{Da = Ps/Vol}$$

Dónde:

Da = Densidad aparente del suelo (g/cc)

Ps = Peso seco (g)

Vol = Volumen del cilindro (cc)

En lo referente a la determinación de carbono orgánico de las muestras de suelo, se procedió a analizarlas en el laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala utilizando el analizador Thermo Finnigan FLASH EA 1112. La ecuación que se utilizó para determinar el carbono en el suelo, fue la siguiente:

$$Cs = Prof * Da * \%C.O$$

Dónde:

Cs = Carbono total en el suelo en los primeros 10 cms.

Prof = Profundidad del muestreo (cm)

Da = Densidad aparente (g/cc)

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

5.5. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL PARA LA GENERACIÓN DE INGRESOS

La conservación y buen manejo de bosques conlleva otros beneficios además de la retención del carbono almacenado, tal como la conservación de biodiversidad, fuentes de agua, entre otros.

En la actualidad existe gran variedad de escenarios donde se puede comercializar el carbono fijado por los bosques, para la presente investigación se tomaron en cuenta dos mercados potenciales para la transacción de los créditos de carbono, como por la cantidad fijada en el área de estudio:

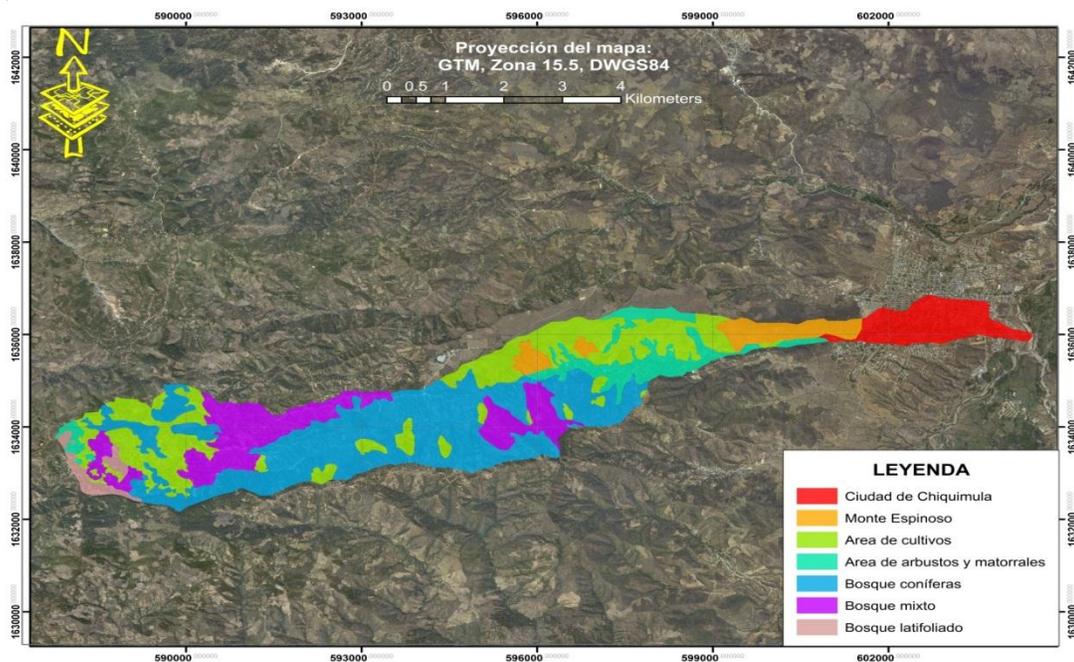
- ✓ La Chicago Climate Exchange (CCX), donde la última transacción realizada tuvo un valor de \$0.60/tC/ha en el mercado voluntario norteamericano.
- ✓ Un proyecto promovido en el 2010 por CARE Guatemala en varios bosques del altiplano, donde el precio por tonelada de carbono que fijan los ecosistemas se estima en \$0.13455/tC/ha.

VII. RESULTADOS

En concordancia con la metodología descrita, los ecosistemas encontrados dentro de la cuenca fueron: el monte espinoso, arbustos y matorrales, área de cultivos, bosque de coníferas, bosque mixto y bosque latifoliado. Además se establecieron parcelas que fueron agrupadas de acuerdo al ecosistema al que pertenecen, mostrando los resultados sobre la densidad de carbono por hectárea de las variables evaluadas (árboles, arbustos, hojarasca, maleza y suelo) en cada una de las parcelas, también la cuatificación de la cantidad de carbono que se encuentra fijado en los distintos ecosistemas de la cuenca, los cuales pueden variar de un ecosistema a otro. Al final se presenta un cuadro comparativo del carbono fijado en los distintos ecosistemas y el total fijado por el área de la cuenca. (Ver figura 8).

6.1. CARBONO FIJADO EN CADA ECOSISTEMA

Para que la estimación del carbono fijado fuera más exacta, se identificaron y analizaron por separado los seis ecosistemas encontrados en la cuenca del Río Tacó, los cuales se describen a continuación:



Fuente: Elaboración propia en base a información del SIG, Chiquimula, CUNORI, 2011.

Figura 8 Ecosistemas identificados en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

6.1.1. Ecosistema de monte espinoso

Este ecosistema cuenta con una extensión de 142.83 hectáreas, representan el 6.02% del área total de la cuenca del Río Tacó. La mayor parte del área se localiza en la parte baja de la cuenca, caracterizándose por ser extremadamente rocosa y su uso principal es protección y en menor grado el cultivo de granos básicos.



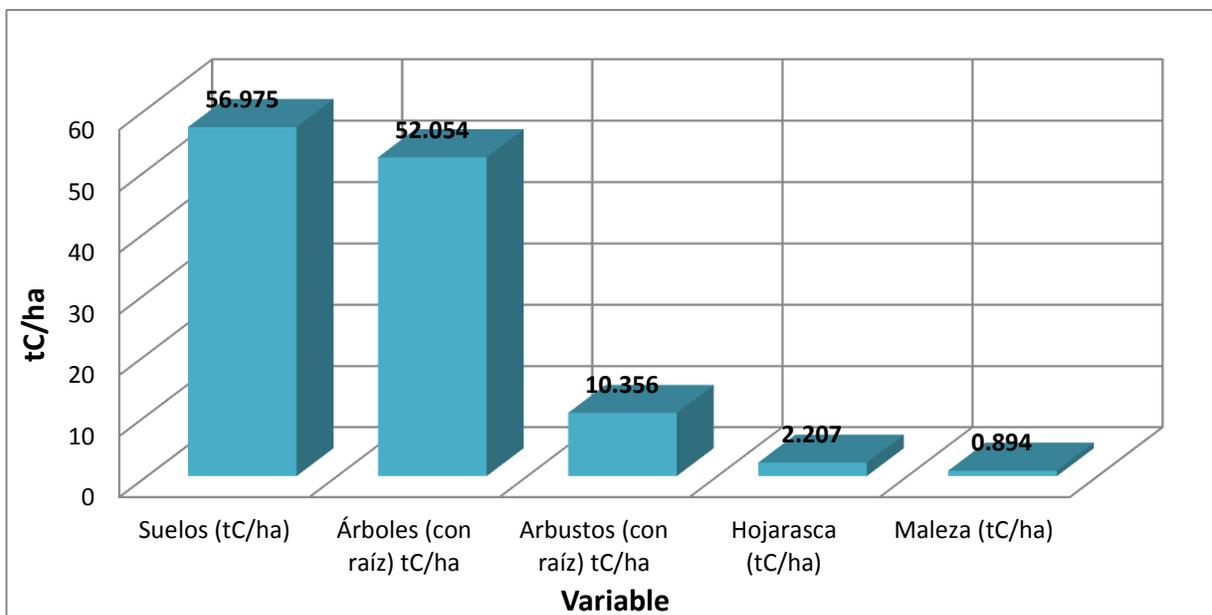
Figura 9 Ecosistema del monte espinoso, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

Cuadro 14 Carbono fijado por variable en el ecosistema de monte espinoso de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

Parcela	Suelos (tC/ha)	Árboles (con raíz) tC/ha	Arbustos (con raíz) tC/ha	Hojarasca (tC/ha)	Maleza (tC/ha)	Densidad de carbono por parcela (tC/ha)
CH1	48.418	35.149	0.000	0.843	2.047	86.458
CH2	67.987	86.152	1.253	3.102	0.000	158.494
CH3	54.520	34.863	29.815	2.674	0.636	122.507
Promedio	56.975	52.054	10.356	2.207	0.894	122.486

Fuente: Elaboración propia, 2012.

En el cuadro 14, se puede observar los datos obtenidos en cada una de las parcelas que fueron establecidas dentro del ecosistema de monte espinoso, presentando también la densidad en toneladas de carbono por parcela; siendo la parcela CH2, la que presenta un mayor aporte a la fijación de carbono de este ecosistema, con 158.494 tC/ha.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 10 Cantidad de carbono fijado por variable en el ecosistema de monte espinoso subtropical.

La figura 10, muestra que el mayor contribuyente al carbono almacenado en el ecosistema de monte espinoso son los suelos, estos aportan un total de 56.975 tC/ha, seguido por los árboles con 52.054 tC/ha, seguido por los arbustos con 10.356 tC/ha, hojarasca con 2.207 tC/ha y las malezas con 0.894 tC/ha. La densidad total encontrada dentro de este ecosistema asciende a la cantidad de 122.486 tC/ha, habiendo un total de 17,494.739 toneladas de carbono almacenadas en este ecosistema de la cuenca.

6.1.2. Ecosistema de arbustos y matorrales

Este ecosistema comprende un área de 221.64 hectáreas, que representa el 9.34% del área total de la cuenca. Estas son áreas donde la cobertura forestal fue talada para posteriormente utilizar el área en la producción agrícola o ganadería extensiva.



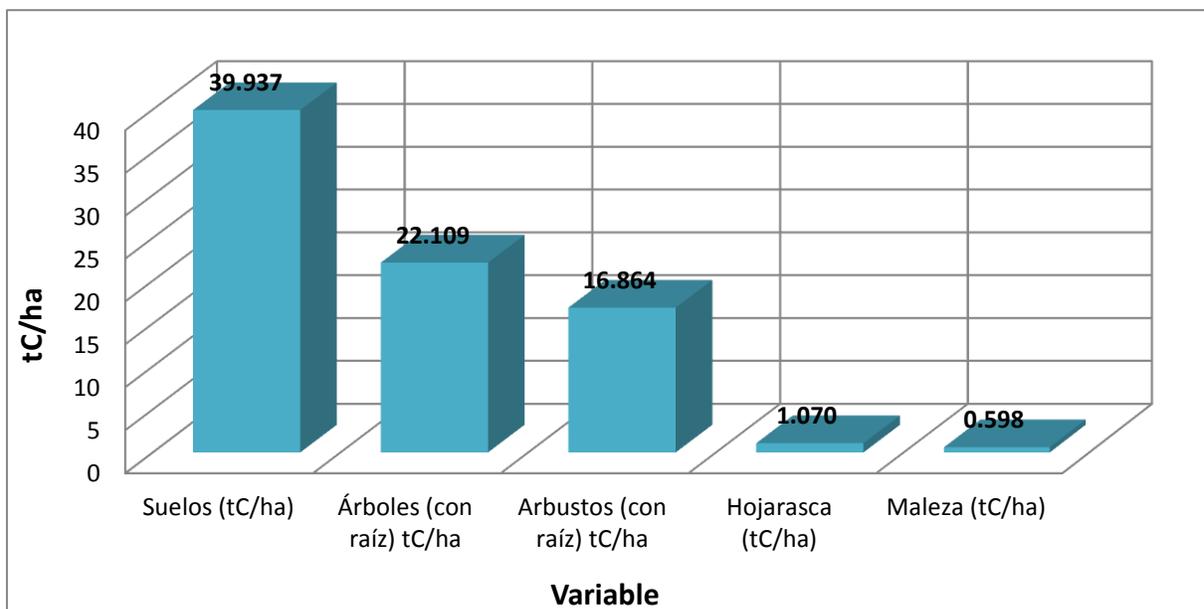
Figura 11 Ecosistema de arbustos y matorrales, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

Cuadro 15 Carbono fijado por variable en el ecosistema de arbustos y matorrales de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

Parcela	Suelos (tC/ha)	Árboles (con raíz) tC/ha	Arbustos (con raíz) tC/ha	Hojarasca (tC/ha)	Maleza (tC/ha)	Densidad de carbono por parcela (tC/ha)
AM1	69.544	8.477	30.880	2.309	0.301	111.512
AM2	33.312	10.327	1.868	0.172	0.035	45.714
AM3	29.007	20.698	27.596	0.624	1.815	79.741
AM4	27.886	48.932	7.112	1.176	0.241	85.346
Promedio	39.937	22.109	16.864	1.070	0.598	80.578

Fuente: Elaboración propia, 2012.

El cuadro 15, muestra los resultados obtenidos dentro de las parcelas establecidas, se puede observar que los árboles y los suelos son los mayores contribuyentes al almacenamiento del carbono, además la parcela AM1 es la que mayor densidad de carbono aporta por hectárea, con 111.512 tC/ha.



Fuente:Elaboraición propia,2012.

Figura 12 Cantidad de carbono fijado por variable en el ecosistema de arbustos y matorrales, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

La figura 12, muestra que en el ecosistema de arbustos y matorrales, los suelos contribuyen en el almacenaje de carbono, al presentar una densidad de 39.937 tC/ha, seguido por los árboles, arbustos, hojarasca y maleza; con densidades de 22.109 tC/ha, 16.864 tC/ha, 1.07 tC/ha y 0.598 tC/ha, respectivamente.

La densidad promedio mostrada en este ecosistema es de 80.578 tC/ha, contribuyendo con 17,859.357 toneladas de carbono fijadas; por lo que se puede considerar esta densidad como baja debido a la densidad de árboles, que en promedio tiene 75 árboles/ha y un DAP promedio de 25 centímetros.

6.1.3. Ecosistema de cultivos

Este ecosistema posee una extensión de 607.64 hectáreas, abarcando un 25.60% del área total de la cuenca, el uso principal de los suelos es para el cultivo de granos básicos.



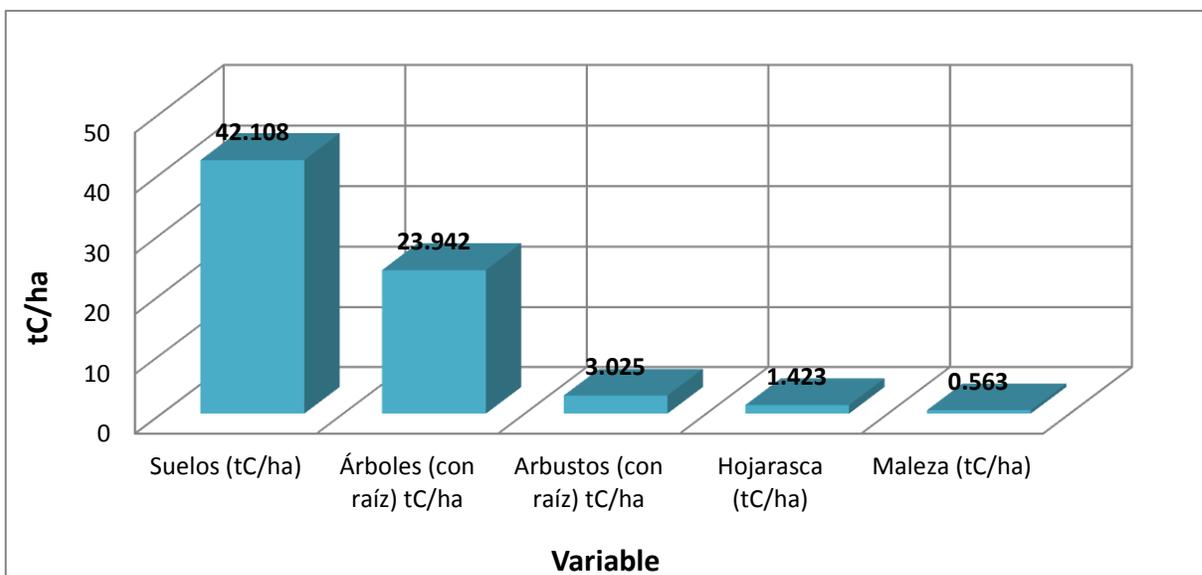
Figura 13 Ecosistema de área de cultivos, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

Cuadro 16 Carbono fijado por variable en el ecosistema cultivos de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

Parcela	Suelos (tC/ha)	Árboles (con raíz) tC/ha	Arbustos (con raíz) tC/ha	Hojarasca (tC/ha)	Maleza (tC/ha)	Densidad de carbono por parcela (tC/ha)
AC1	7.084	0.639	17.899	3.716	1.177	30.514
AC2	67.782	5.311	0.000	4.780	0.215	78.088
AC3	72.852	5.501	0.357	1.027	0.283	80.020
AC4	68.281	17.102	0.000	0.992	1.081	87.456
AC5	25.450	0.000	11.295	0.553	0.550	37.848
AC6	35.758	66.844	0.000	0.852	0.584	104.038
AC7	28.893	38.926	6.750	2.464	0.470	77.504
AC8	32.302	40.476	0.000	0.000	1.454	74.232
AC9	56.166	51.166	0.000	1.389	0.113	108.834
AC10	31.696	30.316	0.000	0.600	0.311	62.922
AC11	31.850	8.709	0.000	0.708	0.140	41.407
AC12	47.177	22.311	0.000	0.000	0.377	69.865
Promedio	42.108	23.942	3.025	1.423	0.563	71.061

Fuente: Elaboración propia, 2012.

El cuadro 16, muestra los resultados obtenidos dentro de las 12 parcelas establecidas en el ecosistema, donde los suelos son los mayores contribuyentes al almacenamiento de carbono, presentando una densidad que va de las 7.084 tC/ha a 72.852 tC/ha, causado principalmente por la incorporación de los restos de cultivos a los suelos.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 14 Cantidad de carbono fijado por variable en el ecosistema de cultivos, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

Este ecosistema presenta un total de 71.061 tC/ha, distribuidas en 42.108 tC/ha en suelos, 23.942 tC/ha en árboles, 3.025 tC/ha en arbustos, 1.423 tC/ha en hojarasca y 0.563 tC/ha en maleza. El ecosistema de cultivos presenta una baja densidad de carbono, causada principalmente porque se encuentran 75 árboles/ha, con un DAP promedio de 25.48 centímetros. Dentro de este ecosistema se encuentran fijadas 43,179.260 toneladas de carbono en las 607.64 hectáreas de extensión que posee.

6.1.4. Ecosistema de bosque de coníferas

Este ecosistema representa el de mayor tamaño con una extensión de 947.87 hectáreas o sea, un 39.93% del área total de la cuenca. Este ecosistema se encuentra localizado en su mayoría en la parte media de la cuenca y se caracteriza principalmente por la presencia de *Pinus oocarpa* y *Pinus maximinoii*.

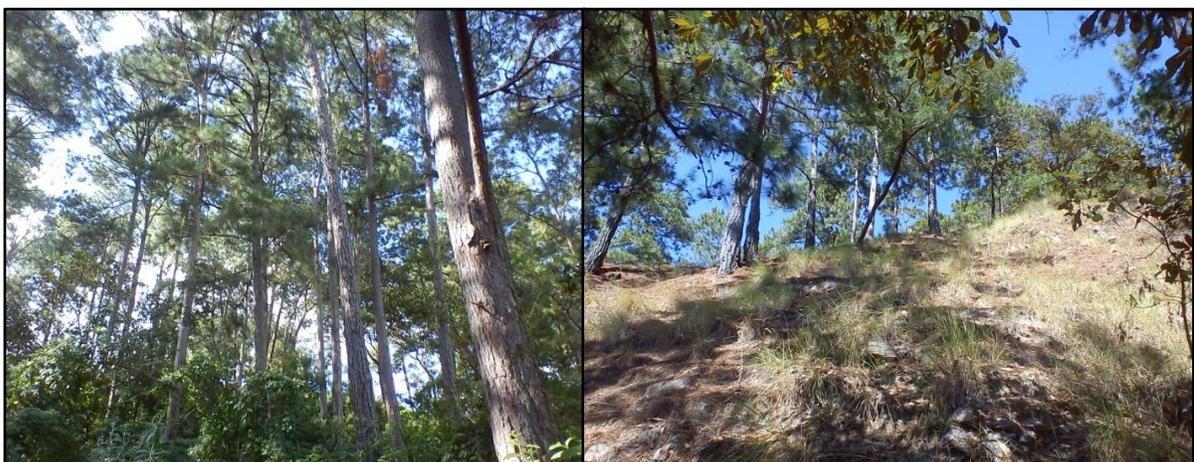


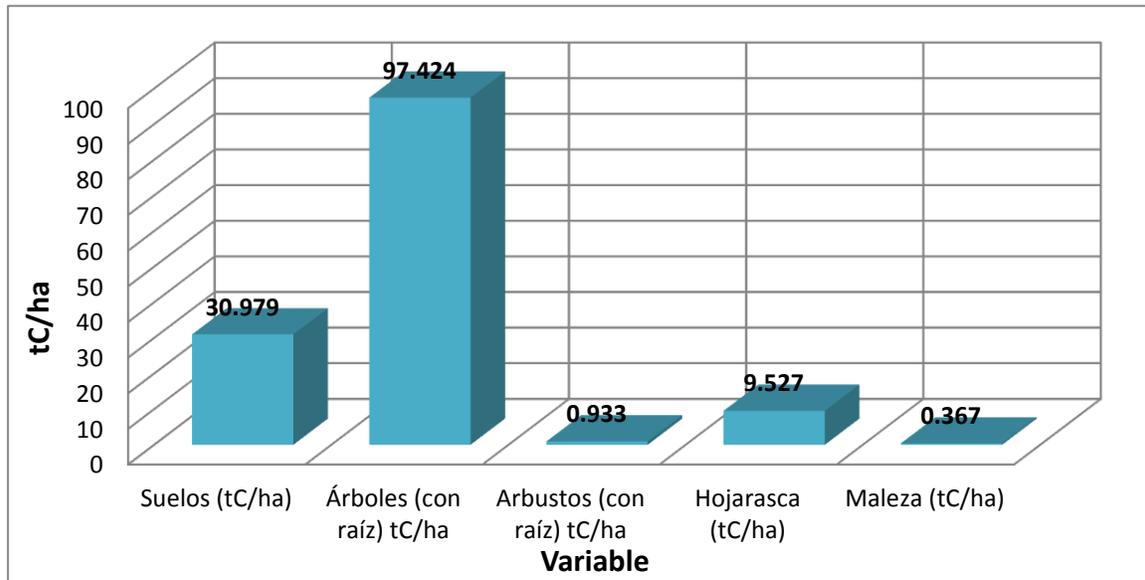
Figura 15 Ecosistema de bosque de coníferas, en la cuenca del río Tacó, Chiquimula, 2011.

Cuadro 17 Carbono fijado por variable en el ecosistema bosque de coníferas de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

Parcela	Suelos (tC/ha)	Árboles (con raíz) tC/ha	Arbustos (con raíz) tC/ha	Hojarasca (tC/ha)	Maleza (tC/ha)	Densidad de carbono por parcela (tC/ha)
BC1	36.708	69.303	3.603	16.569	0.297	126.480
BC2	33.135	76.809	0.000	5.579	0.385	115.908
BC3	34.540	30.547	0.000	4.845	1.712	71.644
BC4	34.125	108.906	0.000	3.531	0.000	146.562
BC5	31.850	72.708	0.922	2.370	0.717	108.567
BC6	29.028	183.511	0.000	21.370	0.837	234.745
BC7	12.370	35.073	0.000	0.667	0.110	48.220
BC8	21.587	64.377	0.000	5.072	0.000	91.036
BC9	9.829	132.376	0.000	1.269	0.000	143.474
BC10	24.766	113.076	0.000	8.785	0.123	146.751
BC11	29.782	98.217	0.000	7.025	0.687	135.711
BC12	32.770	104.611	0.000	3.692	0.000	141.073
BC13	19.454	58.488	2.255	2.227	0.081	82.505
BC14	36.876	162.244	2.796	4.554	0.127	206.596
BC15	17.214	75.149	0.000	0.622	0.083	93.068
BC16	39.004	93.765	8.142	7.699	0.646	149.256
BC17	55.144	190.161	0.000	24.059	0.229	269.593
BC18	56.561	32.866	0.000	56.014	0.421	145.861
BC19	33.854	148.871	0.000	5.072	0.510	188.308
Promedio	30.979	97.424	0.933	9.527	0.367	139.229

Fuente: Elaboración propia, 2012.

El cuadro 17, muestra los resultados del muestreo realizado en el bosque de coníferas, dentro del cual se establecieron 19 parcelas. Los resultados obtenidos muestran que los árboles son los que más aportan a la fijación de carbono en este ecosistema, con una densidad que va de las 30.547 tC/ha a 190.161 tC/ha, seguido por los suelos, hojarasca, arbustos y maleza.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 16 Cantidad de carbono fijado por variable en el ecosistema de bosque de coníferas, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

La densidad de carbono fijado que se encontró en este ecosistema se debe en gran manera a la alta densidad de árboles, con un promedio de 257 árboles/ha y un DAP promedio de 31.18 centímetros. Para las variables evaluadas dentro de este ecosistema se encontró una densidad de 97.42 tC/ha en árboles, 30.979 tC/ha en suelos, 9.33 tC/ha en hojarasca, 0.933 tC/ha en arbustos y 0.367 tC/ha en maleza. (Ver figura 16).

El ecosistema de bosque de coníferas presenta una densidad promedio de 139.229 tC/ha, haciendo un total de 131,971.294 toneladas de carbono fijado en el área, que representa un 50.64% del carbono fijado en la cuenca.

6.1.5. Ecosistema de bosque mixto

Este ecosistema tiene una extensión de 402.3 hectáreas, representa el 16.95% del área total de la cuenca en la parte media y alta, se caracteriza principalmente por la presencia de *Pinus oocarpa* y *Quercus crispifolia*.



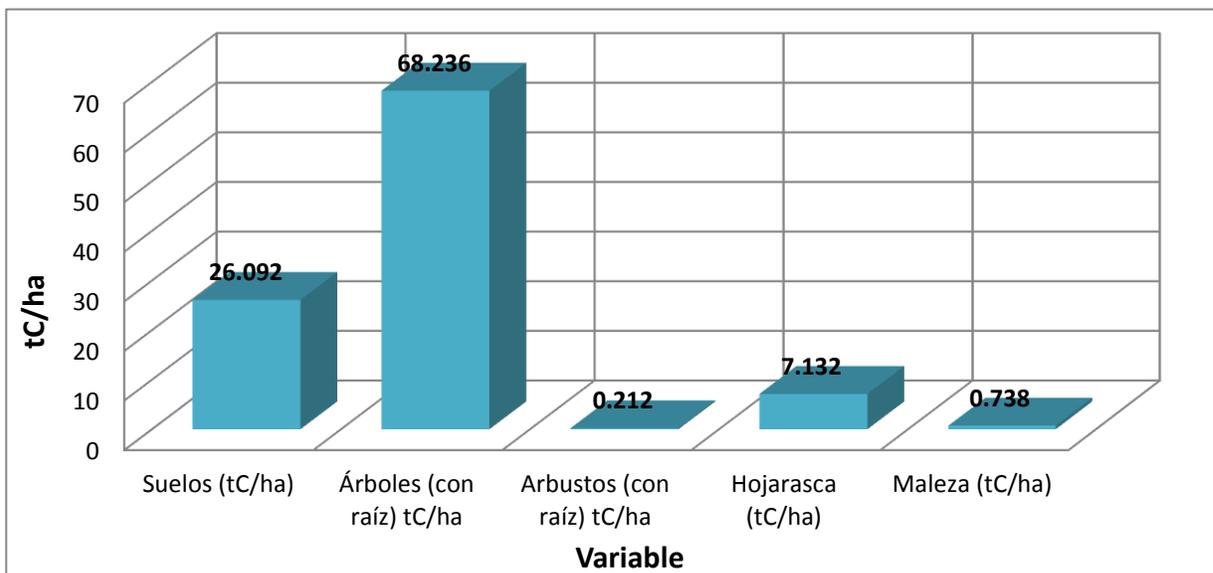
Figura 17 Ecosistema de bosque mixto, en la cuenca del río Tacó, Chiquimula, 2011.

Cuadro 18 Carbono fijado por variable en el ecosistema bosque mixto de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

Parcela	Suelos (tC/ha)	Árboles (con raíz) tC/ha	Arbustos (con raíz) tC/ha	Hojarasca (tC/ha)	Maleza (tC/ha)	Densidad de carbono por parcela (tC/ha)
BM1	36.161	58.457	0.000	14.487	0.142	109.247
BM2	34.034	42.208	0.130	2.541	0.636	79.549
BM3	33.116	132.687	0.000	15.200	2.975	183.978
BM4	27.237	57.659	0.000	5.611	0.052	90.559
BM5	11.519	40.228	0.000	5.357	0.044	57.148
BM6	15.022	98.280	1.563	9.594	1.152	125.611
BM7	25.027	55.726	0.000	3.167	0.904	84.824
BM8	26.618	60.643	0.000	1.099	0.000	88.360
Promedio	26.092	68.236	0.212	7.132	0.738	102.409

Fuente: Elaboración propia, 2012.

El cuadro 18, muestra que el carbono fijado por el bosque mixto alcanza un promedio de 102.409 tC/ha, contribuyendo con 41,199.320 toneladas de carbono fijadas en todo el ecosistema, lo que representa un 15.81% del total de carbono almacenado en la cuenca.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 18 Cantidad de carbono fijado por variable en el ecosistema de bosque mixto, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

En este ecosistema se encontró una densidad de 345 árboles/ha, con un DAP promedio de 23.88 centímetros. Así como en el bosque de coníferas, los árboles son los mayores contribuyentes para el almacenamiento de carbono, ya que presentan una densidad de 68.236 tC/ha, seguido por los suelos con 26.092 tC/ha, hojarasca con 7.132 tC/ha, maleza con 0.738 tC/ha y arbustos con una densidad de 0.212 tC/ha. (Ver figura 18).

6.1.6. Ecosistema de bosque latifoliado

Este ecosistema se encuentra ubicado en la parte alta de la cuenca, está compuesto por árboles de hoja ancha. Se caracteriza por tener gran diversidad de especies y ser un bosque de tipo energético. Con una extensión de 51.49

hectáreas, que representa un 2.17% del área total de la cuenca, que lo constituye en el ecosistema de menor tamaño.

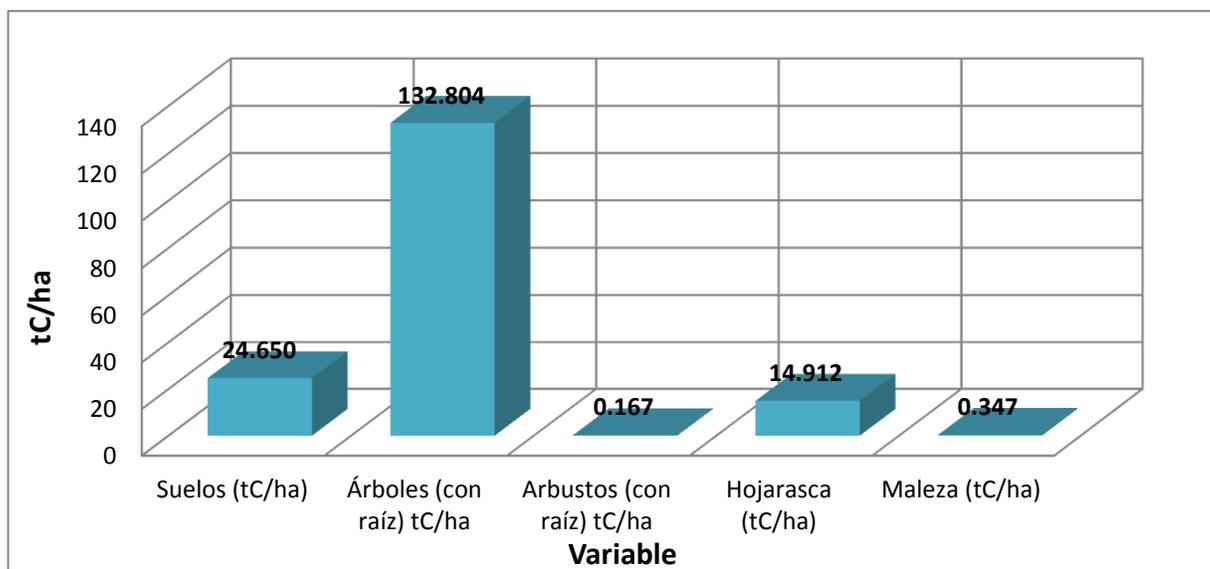


Figura 19 Ecosistema de bosque latifoliado, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

Cuadro 19 Carbono fijado por variable en el ecosistema bosque latifoliado de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

Parcela	Suelos (tC/ha)	Árboles (con raíz) tC/ha	Arbustos (con raíz) tC/ha	Hojarasca (tC/ha)	Maleza (tC/ha)	Densidad de carbono por parcela (tC/ha)
BL1	24.650	132.804	0.167	14.912	0.347	172.880

Fuente: Elaboración propia, 2012.

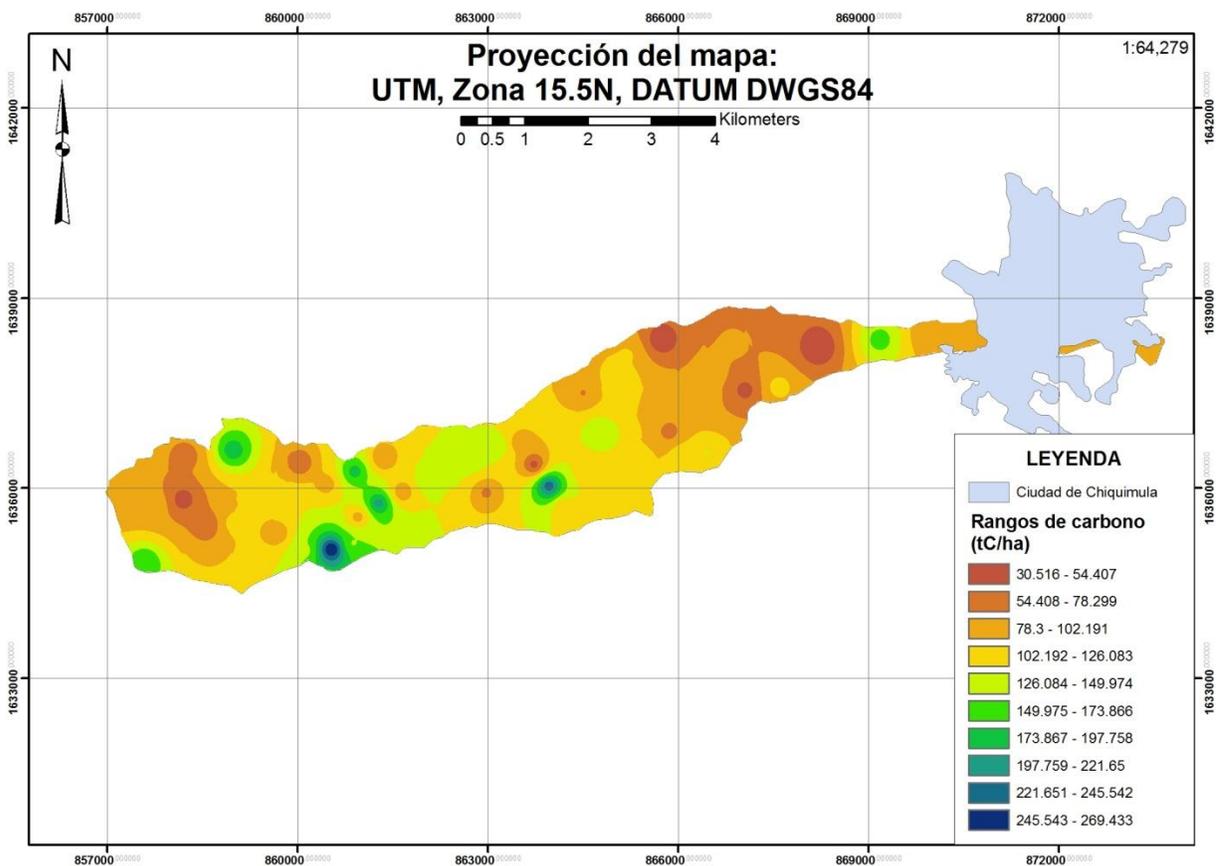


Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 20 Cantidad de carbono fijado por variable en el ecosistema de bosque latifoliado, en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

La figura 20, muestra que los árboles presentan una densidad de 132.804 tC/ha, los suelos con 24.65 tC/ha, hojarasca con 14.912 tC/ha, maleza con 0.347 tC/ha y arbustos con 0.167 tC/ha. La densidad de carbono fijado por los árboles dentro de este ecosistema, es la mayor de las encontradas en la cuenca.

En el ecosistema de bosque latifoliado se realizó únicamente una parcela, donde se encontró un densidad de 420 árboles/ha, con un DAP promedio de 24.74 centímetros. El carbono almacenado en este ecosistema asciende a 8,901.611 toneladas, con una densidad promedio de 172.880 tC/ha, siendo esta la mayor densidad de carbono encontrada en la cuenca.

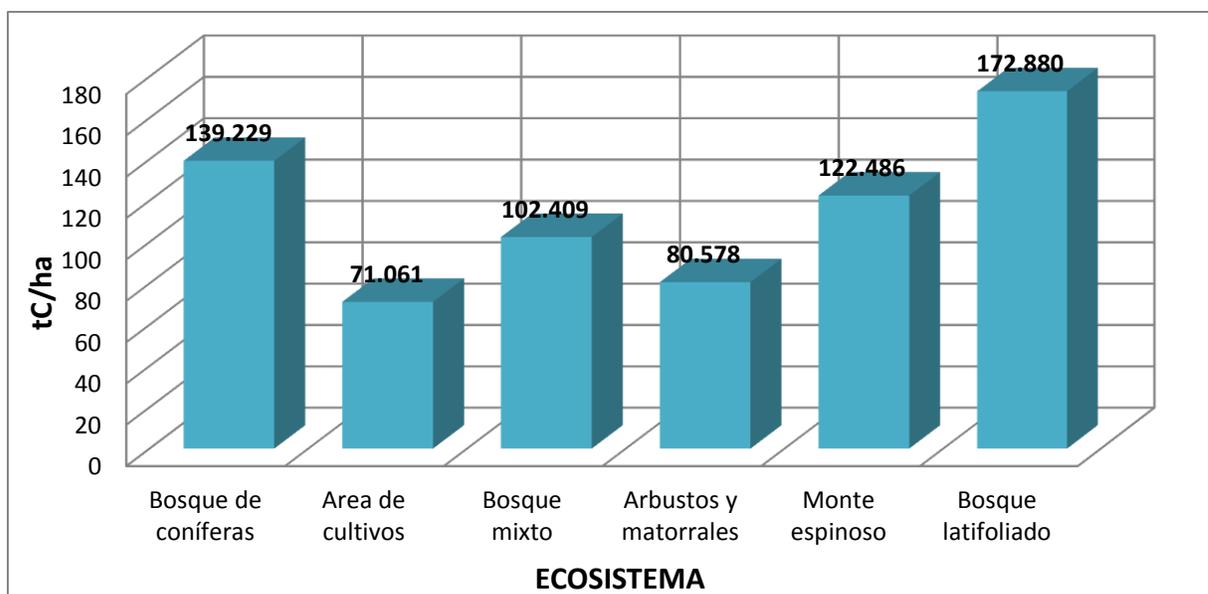


Fuente: Elaboración propia en base a información del SIG, Chiquimula, CUNORI, 2012.

Figura 21 Rangos de carbono fijado por los ecosistemas de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

6.1.7. Densidad de carbono fijado en los ecosistemas de la cuenca del Río Tacó

En la figura 22, se observa que el bosque latifoliado que abarca el 2.19% del área de la cuenca, muestra una densidad de 172.880 tC/ha, por lo que es el ecosistema con mayor densidad; seguido por el bosque de coníferas que tiene un 39.93% del área total, posee una densidad de 139.229 tC/ha; después el monte espinoso con 122.486 tC/ha y 6.02% del total del área; luego el bosque mixto con una densidad de 102.409 tC/ha; el ecosistema de arbustos y matorrales con un 9.34% del área, con una densidad de 80.578 tC/ha y por último el área de cultivos con 71.061 tC/ha, que representa el 2.17% del área total de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 22 Densidad de carbono fijado por ecosistema en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

En el cuadro 20, se presenta la información relacionada con el carbono fijado por las variables de los ecosistemas, donde los árboles son la variable que

presenta mayor contenido de carbono en todos los ecosistemas, con una densidad que va desde los 132.80 tC/ha en el bosque latifoliado a 22.109 tC/ha en el área de arbustos y matorrales, seguido por los suelos con densidades que van de 56.975 tC/ha en el monte espinoso a 24.650 tC/ha en el bosque latifoliado. Luego la variable hojarasca, con datos que van desde los 14.91 tC/ha en el bosque latifoliado a 1.07 tC/ha en el área de arbustos y matorrales. Para la variable arbustos, los datos varían desde las 16.86tC/ha en el área de arbustos y matorrales hasta las 0.167 tC/ha en el bosque latifoliado. En la variable maleza se obtuvo datos desde las 0.347 tC/ha en el bosque latifoliado a 0.894 tC/ha en el monte espinoso.

Cuadro 20 Contenido de carbono fijado por variable en los ecosistemas de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

Ecosistema	Área (ha)	Suelos (tC/ha)	Árboles (tC/ha)	Arbustos (tC/ha)	Hojarasca (tC/ha)	Maleza (tC/ha)	Densidad de carbono (tC/ha)	Contenido total de Carbono por estrato (tC)
Bosque de coníferas	947.870	30.979	97.424	0.933	9.527	0.367	139.229	131,971.294
Área de cultivos	607.640	42.108	23.942	3.025	1.423	0.563	71.061	43,179.260
Bosque mixto	402.300	26.092	68.236	0.212	7.132	0.738	102.409	41,199.320
Arbustos y matorrales	221.640	39.937	22.109	16.864	1.070	0.598	80.578	17,859.357
Monte espinoso	142.830	56.975	52.054	10.356	2.207	0.894	122.486	17,494.739
Bosque latifoliado	51.490	24.650	132.804	0.167	14.912	0.347	172.880	8,901.611
Contenido de carbono en la cuenca del Río Tacó (tC)								260,605.582

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Cuadro 21 Densidad de carbono (tC/ha) en la cuenca del río Tacó, Chiquimula, 2011.

Ecosistema	Área (ha)	Porcentaje de área de cada estrato	Densidad de carbono (tC/ha)	Aporte de estratos a la densidad total (tC/ha)
Bosque de coníferas	947.87	39.93	139.229	55.596
Área de cultivos	607.64	25.60	102.409	26.215
Bosque mixto	402.3	16.95	71.061	12.043
Arbustos y matorrales	221.64	9.34	122.486	11.437
Monte espinoso	142.83	6.02	80.578	4.848
Bosque latifoliado	51.49	2.17	172.880	3.750
Densidad de carbono en la cuenca del río Tacó (tC/ha)				113.889

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Teniendo como referencia la densidad de carbono de cada ecosistema y con base en el porcentaje de área de cada uno, la cuenca del Río Tacó tiene una densidad de 113.889 tC/ha, dato que lo posiciona como un área con bajo contenido de carbono, al comparar los datos obtenidos con los estudios presentados como antecedentes. Sin embargo, puede justificarse la baja densidad al considerar que el 25.60% del área es utilizada por los pobladores de las comunidades para la producción agrícola, provocando la pérdida de los bosques y reduciendo las reservas de carbono. (Cuadro 21).

6.2. POTENCIAL DEL ÁREA PARA LA GENERACIÓN DE INGRESOS

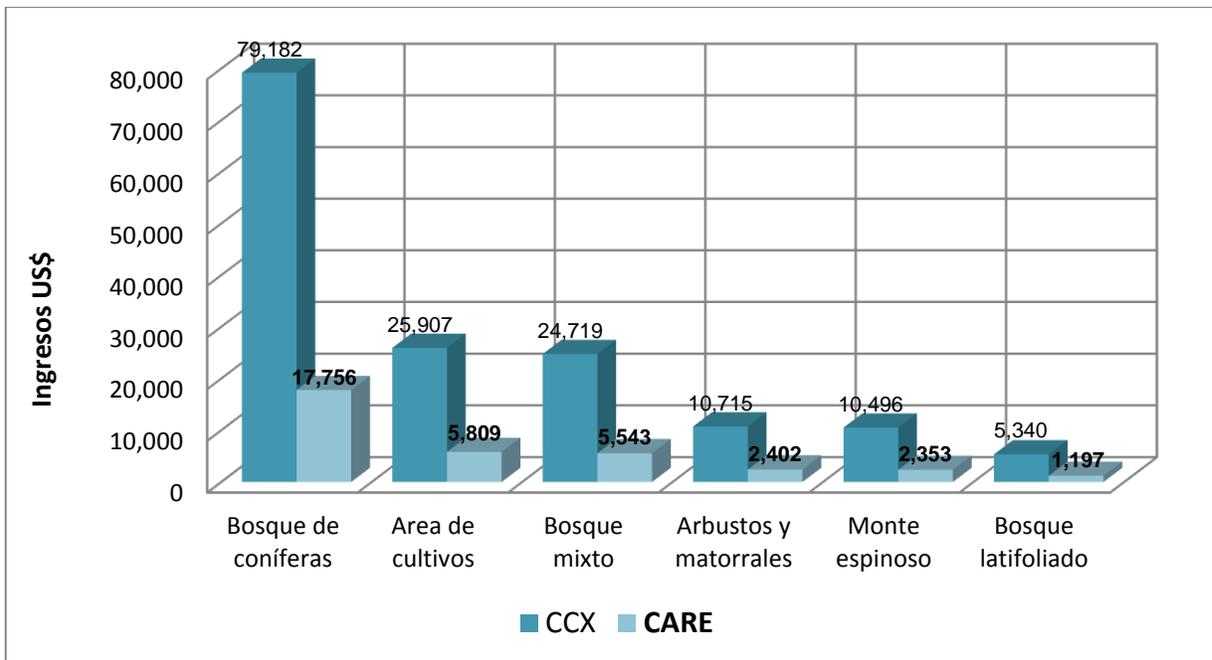
El informe de la última Conferencia Internacional sobre Cambio Climático, que se celebró en Copenhague, Dinamarca, en diciembre de 2009; incluyen a Guatemala dentro de los primeros 10 países más vulnerables al cambio climático en el mundo y en contraposición únicamente produce el 0.04% del total mundial de los gases de efecto invernadero, lo cual se constituye como una buena justificación para acceder en el futuro a gestionar los recursos necesarios, para conservar y proteger los recursos naturales que son patrimonio de la humanidad.

Actualmente existe el mercado voluntario de créditos de carbono, en donde empresas internacionales comprometidas con el medio ambiente pueden adquirir los créditos, a través de un proceso que se hace directamente entre el propietario del bosque y el oferente.

Hasta el año 2010, las transacciones realizadas en el mercado voluntario de carbono pueden ser divididas en dos segmentos: las efectuadas en el marco del CCX, registro de la última transacción, a un valor de \$0.60/tC/ha en el mercado voluntario norteamericano, basada en un sistema “cap-and-trade” legalmente obligatorio y las transacciones realizadas “over the counter” (OTC), es decir, las operaciones directas efectuadas entre dos partes mediante un intermediario financiero, en los cuales el precio varía dependiendo del comprador, encontrándose precios entre los \$0.005 a \$0.50 /tC/ha.

Además, en el año 2010 CARE Guatemala, en asesoría a un proyecto de varios bosques del altiplano occidental de Guatemala, que tienen una densidad alrededor de 275 tC/ha, con el propósito de incorporarlos en el mercado voluntario de créditos de carbono, en donde se estimaron ingresos netos de \$37/ha/año.

Para la estimación del potencial que tiene la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, para generar, ingresos se tomó en cuenta dos escenarios: a) la última transacción realizada en la CCX a un precio de \$0.60/tC/ha y b) el proyecto promovido por CARE Guatemala donde el precio se estima en \$0.13455/tC/ha. Los resultados obtenidos por la generación de ingresos en cada uno de los ecosistemas son los siguientes:



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 23 Potencial para generar ingresos por los ecosistemas de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, 2011.

A través de las 260,605.582 toneladas de carbono que se encuentran fijadas dentro de los ecosistemas de la cuenca del Río Tacó, se puede obtener por medio de la CCX unos \$156,363.35 y \$35,064.48/año si tomamos como referencia el proyecto promovido por CARE Guatemala.

VIII. CONCLUSIONES

- ✓ La densidad de carbono fijado en los ecosistemas de bosque latifoliado, bosque de coníferas, monte espinoso, bosque mixto, área de arbustos y matorrales y área de cultivos de cuenca del Río Tacó, Chiquimula; es de 172.880 tC/ha, 139.229 tC/ha, 122.486 tC/ha, 102.409 tC/ha, 80.578 tC/ha y 71.061 tC/ha, respectivamente; lo que permitió determinar un promedio general de 113.889 tC/ha.
- ✓ La cantidad de carbono fijado en la cuenca del Río Tacó, Chiquimula, se estima en 260,205.582 toneladas, distribuidas en 131,971.294 tC en el bosque de coníferas; 43,179.260 tC en el área de cultivos; 41,199.320 tC en el bosque mixto; 17,859.357 tC en el área de arbustos y matorrales; 17,494.739 tC en el monte espinoso y 8,901.611 tC en el bosque latifoliado.
- ✓ El potencial que posee la cuenca del Río Tacó, para generar ingresos, a través del marcadeo de créditos de carbono es de \$156,363.35/año en la bolsa de Chicago Climate Exchange y \$35,064.48/año tomando como referencia el proyecto promovido por CARE.
- ✓ Una de las principales razones por las que se encuentra una baja densidad de carbono fijado en la cuenca del Río Tacó, es porque el 25.60% del área en la parte media de la cuenca; fue deforestada para establecer granos básicos y ganadería extensiva.

IX. RECOMENDACIONES

- ✓ Promover la conservación de los recursos existentes y aumentar la cobertura forestal, mediante la gestión de proyectos de reforestación; para aumentar la cantidad de carbono fijado en los ecosistemas de la cuenca del Río Tacó, Chiquimula.
- ✓ Realizar los procesos de gestión con organizaciones internacionales comprometidas con el ambiente, para negociar los créditos de carbono generados por la cuenca del Río Tacó, con el propósito de beneficiar a los pobladores y mejorar las condiciones ambientales.
- ✓ Realizar estudios de verificación comparativos, para la evaluación de la dinámica del carbono fijado en la masa forestal de la cuenca del Río Tacó, a corto, mediano y largo plazo.

X. BIBLIOGRAFIA

1. Aragón, R. 2003. Estudio sobre la situación de los servicios ambientales en Guatemala, para el taller de expertos sobre el tema de bienes y servicios ambientales organizado por UNCTAD y CEPAL (en línea). Guatemala, Ministerio de Economía. 7 p. Consultado 21 feb. 2011. Disponible en http://www.unctad.org/trade_env/test1/meetings/cuba/TRABAJODESERVICIOSguatemala.pdf.
2. Aversano, N; Temperini, T. 2006. El calentamiento global: bonos de carbono, una alternativa. 26 p. Consultado 27 ago. 2012. Disponible en http://www.ingenieriaquimica.org/system/files/bonos_carbono.pdf
3. Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, GT. 2007. Proyecto institucionalidad local para el manejo de bosque y agua en comunidades indígenas: sitio finca Pacalaj, sitio bosque El Gigante. Guatemala, UVG. 164 p.
4. Córdova, L. 2009. Análisis de iniciativas REDD actualmente en ejecución: el FCPF del Banco Mundial y UN-REDD. Guatemala, MARN. 15 p.
5. Creative Commons de Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.0, UK. 2009. Manual para la cobertura de REDD+: kit de prensa. Inglaterra. 14 p.
6. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2002. XI censo nacional de población y VI de habitación 2002. Guatemala, INE. 1 disco compacto. 80 min.
7. Jordán Aguirre, MD. 2010. Estimación del carbono fijado en la zona núcleo de la reserva de Biosfera Trifinio (Guatemala), ubicada en los municipios de Concepción Las Minas y Esquipulas, departamento de Chiquimula para el año 2009. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC-CUNORI. 61 p.

8. Kimball, J. 1982. Biología. 4 ed. México, Editorial Fondo Educativo Interamericano, S.A. de C.V. 883 p.
9. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2006. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra: memoria técnica y descripción de resultados. Guatemala. 198 p.
10. _____. 2009. Mapa de cuencas hidrográficas: memoria técnica. Guatemala. 55 p.
11. Márquez, L. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. Guatemala, Fundación Solar. 33 p.
12. Peña, E; Bent, L. 2007. El mercado de carbono (en línea). Colombia. 3 p. Consultado 29 mar. 2012. Disponible en <http://www.revistaperspectiva.com/archivos/revista/No%2015/bent.pdf>
13. PROFOREST (Política Forestal para los Pobres, UK). 2011. Vínculos FLEGT-REDD+ (en línea). Inglaterra. 8p. Consultado 16 ago. 2012. Nota informativa. Disponible en http://www.efi.int/files/attachments/euflegt/flegt_redd__bn_2_spanish_web1.pdf
14. Ruiz, R; Torres, H. 2010. Manual de procedimientos, delimitación y codificación de unidades hidrográficas (en línea). Bolivia, MMA y A. 37 p. Consultado 12 feb. 2012. Disponible en http://75.98.169.113/uploads/documentos/Anexo_3_MANUAL_DE_DELIMITACION_Y_CODIFICACION_UH_Sudamerica_UICN_CAN.pdf
15. White, D; Minang, P. 2011. Estimación de los costos de oportunidad de REDD+: manual de capacitación (en línea). Estados Unidos, Banco Mundial. 292 p. Consultado 26 mar. 2012. Disponible en <https://www.forestcarbonpartnership.org/fcp/sites/forestcarbonpartnership.org/files/Do>

cuments/PDF/Jul2011/Manual%20para%20Estimar%20Costos%20de%20Oportunidad2.pdf

16. Wunder, S. 2006. Pagos por servicios ambientales: principios básicos esenciales (en línea). Indonesia, CIFOR. 32 p. Consultado 20 feb. 2011. Disponible en <http://www.ibcperu.org/doc/isis/6980.pdf>.



XI. ANEXOS

Anexo 1. Boleta de campo a utilizar en el inventario de carbono en la cuenca del Río Tacó, 2011.

ESTUDIO DE FIJACIÓN DE CARBONO EN LA ZONA NÚCLEO DE LA RESERVA DE BIOSFERA TRIFINIO

ID Parcela: _____
 Nombre del Colector: _____ Fecha: _____ Estrato: _____
 Tipo de Vegetación: _____ Grados pendiente: _____ Altitud (m): _____
 Coordenadas UTM: X= _____ Y= _____

I. DATOS DE ÁRBOLES

No.	Especie	DAP (cm)	Altura (m)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

No.	Especie	DAP (cm)	Altura (m)
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			

Observaciones:

II. DATOS DE ARBUSTOS:

No.	Especie	Diámetro Basal ¹ (cm)	Altura (m)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

Arbustos talados:

No.	Especie	Diámetro Basal ¹ (cm)	Altura (m)	Peso Total (Kg)	PHS ² (g)	PSS ³ (g)
1						
2						
3						

¹ Diámetro basal a 20 cm de altura

² Peso húmedo submuestra

³ Peso seco submuestra

Observaciones:

III. DATOS DE MALEZAS, HOJARASCA Y SUELO:

Datos Malezas:

Peso Humedo Campo (Kg)	Peso Húmedo Submuestra (g)	Peso Seco Submuestra (g)

Datos Hojarasca:

Peso Humedo Campo (Kg)	Peso Húmedo Submuestra (g)	Peso Seco Submuestra (g)

Datos de Suelo:

Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	% Carbono

Observaciones:

Anexo 2. Coordenadas de las parcelas ubicadas en el área de estudio.

No.	X	Y	Parcela
1	601161	1636158	CH1
2	600115	1636062	CH2
3	595918	1635322	CH3
4	598475	1635336	AM1
5	597601	1635266	AM2
6	596773	1635338	AM3
7	588121	1633541	AM4
8	595265	1635328	AC7
9	593762	1633711	AC8
10	599016	1635946	AC1
11	598475	1635770	AC2
12	597888	1636063	AC3
13	597383	1635555	AC4
14	597034	1636133	AC5
15	596270	1635972	AC6
16	589107	1634327	AC9
17	589688	1633850	AC10
18	589700	1633152	AC11
19	589022	1633484	AC12
20	597475	1634362	BC1
21	596995	1634248	BC2
22	596705	1634553	BC3
23	596472	1634987	BC4
24	595575	1634518	BC5
25	595780	1634070	BC6
26	594939	1633523	BC7
27	594665	1633932	BC8
28	594390	1634342	BC9
29	594044	1634491	BC10
30	593598	1634282	BC11
31	593152	1634072	BC12
32	592706	1633863	BC13
33	592260	1633654	BC14
34	591814	1633444	BC15
35	591676	1632999	BC16
36	591297	1632847	BC17
37	590805	1632826	BC18
38	589766	1634405	BC19
39	596222	1634129	BM1
40	595905	1634902	BM2
41	595335	1633945	BM3
42	592109	1634252	BM4
43	591279	1633884	BM5
44	590659	1634440	BM6
45	590520	1633161	BM7
46	588562	1633577	BM8
47	588377	1632678	BL1

Fuente: GTM, Zona 15N, DWGS84

Anexo 3. Glosario de siglas.

CEA	Centro de Estudios Ambientales (de la Universidad del Valle de Guatemala)
COP	Conferences of the Parties (Conferencias de las partes)
DAP	Diámetro de altura al pecho
FCPF	Forest Carbon Partnership Facility
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IFRI	International Forestry Resources and Institutions
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental de Cambio Climático)
MAGA	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
PEA	Población Económicamente Activa
REDD	Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation (Reducción de emisiones causadas por la deforestación y la degradación de bosques)
R-PIN	Readiness Plan Idea Note (Nota de idea del plan de preparación)
R-PLAN	Readiness Plan (Plan de preparación)
UNDG	United Nations Development Group (Grupo de las Naciones Unidas para el desarrollo)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático)
UN-REDD	The United Nations collaborative programme on Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation (Programa de colaboración de las Naciones Unidas para la Reducción de emisiones causadas por la deforestación y la degradación de bosques)
UVG	Universidad del Valle de Guatemala