



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**CAPTURA DE CARBONO EN CAFETALES DE LA
CUENCA ALTA DEL RÍO PIJJIAPAN, CHIAPAS.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
P R E S E N T A

DIANA GUADALUPE GUERRERO FRAGOSO

DIRECTOR DE TESIS:

LIC. ANDRÉS FERNANDO BENITEZ OMAÑA



MÉXICO, D.F.

CIUDAD UNIVERSITARIA, 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A Elvira Lora y Adolfo Fragoso

Mis abuelos, a quienes agradezco sus consejos, su apoyo y su motivación permanente. Por ser testigos y participes de los momentos más importantes de mi vida, por cuidar de mi y quererme tanto... pero sobre todo, GRACIAS POR ESTAR SIEMPRE.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por permitirme concluir una etapa más de mi vida y darme la fuerza necesaria para salir adelante siempre.

A mi madre por diseñar y construir para mi, siempre el mejor escenario para cumplir todas mis metas, gracias porque nunca me dejas caer, por tu apoyo incondicional siempre, te admiro y te quiero mucho.

A mi padre por el apoyo y los consejos y por las experiencias que me has dado y que hoy puedo decir que me han hecho una persona más fuerte.

A mi familia por los buenos momentos y las pláticas, por escucharme y estar conmigo, pero principalmente por apoyarme durante este proceso que no fue nada fácil y que estuvo lleno de obstáculos.

A Juan Carlos Molina López, gran geógrafo, compañero y amigo, pero sobre todo gran ser humano, gracias por tu tiempo y palabras de aliento, por tu infinito apoyo y compañía en este larga travesía. Gracias por hacerme tan feliz.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, gracias por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de acceder a una formación profesional de calidad.

A mi asesor Prof. Andrés Benitez Omaña, gracias por su tiempo y dedicación a esta tesis, por el interés que siempre mostró durante el desarrollo de este trabajo y la energía que siempre me transmitió, pocos geógrafos quedan como usted, mis respetos y más sinceros agradecimientos.

Al jurado por su tiempo y comentarios hechos para mejorar la calidad del trabajo expuesto:
Lic. María Teresa López Castro, Mtra. María de la Paz Medina Barrios, Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez y Mtro. Eduardo Pérez Torres.

A las autoridades del H. Ayuntamiento del Municipio de Pijijiapan, Chiapas y al Consejo de Cuenca del Río Coapa, por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

A la comunidad "El Cerrón" por darme la oportunidad de conocerlos y aprender de ellos, a los productores de café que formaron parte del equipo de trabajo: Miguel Hernández, Asunción Franco, Pánfilo Ruiz, Magdaleno Basurto, José Villatoro, Victor Roblero, Francisco Sánchez, Sergio Sánchez, Nicolás Tolentino y Concepción Ruiz, gracias por regalarme esta experiencia tan enriquecedora.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	- 3 -
ÍNDICE	- 5 -
INTRODUCCIÓN	- 7 -
HIPÓTESIS	- 10 -
OBJETIVOS	- 10 -
GLOSARIO DE SIGLAS	- 11 -
CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	- 14 -
1.1 Medio Físico	- 14 -
1.1.1 Localización Geográfica	- 14 -
1.1.2 Relieve	- 18 -
1.1.3 Hidrología	- 21 -
1.1.4 Geología	- 22 -
1.1.5 Suelos	- 22 -
1.1.6 Clima	- 26 -
1.1.7 Vegetación y Uso de Suelo	- 29 -
1.2 Medio Socioeconómico	- 32 -
1.2.1 Población	- 32 -
1.2.2 Actividades Económicas	- 34 -
CAPÍTULO II. CAMBIO CLIMÁTICO	- 37 -
2.1 El cambio climático global	- 37 -
2.1.1 El efecto invernadero	- 39 -
2.1.2 Cambios climáticos naturales y de origen antropogénico	- 41 -
2.1.3 Origen de la problemática ambiental: El uso de combustible fósil y la explotación de sistemas naturales (deforestación)	- 47 -
2.2 Acciones en contra del cambio Climático	- 49 -
2.2.1 Organizaciones detrás del Cambio Climático	- 49 -
2.2.2 Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL)	- 52 -
CAPÍTULO III. EL CULTIVO DE CAFÉ	- 56 -
3.1 Antecedentes del cultivo de café en México y Chiapas	- 56 -
3.2 Sistemas de producción y su problemática	- 60 -

3.2.1	Sistemas de policultivo de café: Sombra	- 62 -
3.2.2	Productividad de los sistemas de café de sombra y no sombra	- 69 -
3.3	Requerimientos agroecológicos del café.....	- 71 -
3.4	Situación actual de la cafecultura en Chiapas	- 72 -
3.5	El cultivo del café frente al cambio climático.....	- 73 -
CAPÍTULO IV. SERVICIOS AMBIENTALES: CAPTURA DE CARBONO Y SU METODOLOGÍA		
4.1	Los servicios ambientales.....	- 76 -
4.1.1	Organizaciones mundiales ante el pago de servicios ambientales.....	- 76 -
4.2	Emisión y captura de CO ₂	- 77 -
4.2.1	El ciclo del carbono.....	- 78 -
4.2.2	El carbono en ecosistemas forestales.....	- 80 -
4.2.3	La captura unitaria de Carbono.....	- 81 -
4.3	Potencial del sector forestal.....	- 81 -
4.3.1	El proyecto Scolel te´	- 82 -
4.4	Metodología para la captura de carbono en sistemas agroforestales de café.....	- 85 -
4.4.1	Línea de base.....	- 86 -
4.4.2	Inventario de carbono.....	- 86 -
4.4.3	Cálculos para estimar el carbono acumulado	- 95 -
4.4.4	Cálculo estadístico para determinar número de parcelas	- 97 -
4.4.5	Error de estimación	- 98 -
CAPÍTULO V. USO DE LA METODOLOGÍA DE CAPTURA DE CARBONO EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ, EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PIJIJAPAN		
5.1	Descripción geográfica de la zona de estudio: Rincón del Tigre.....	- 99 -
5.2.1	Selección del sitio de Muestreo.....	- 101 -
5.2.2	Obtención de muestras.....	- 102 -
5.3	Extensión y conservación de las áreas forestales de la cuenca	- 111 -
5.3.1	Almacenamiento de Carbono	- 111 -
RESULTADOS Y ANÁLISIS		
CONCLUSIONES.....		
BIBLIOGRAFÍA.....		
A N E X O S.....		

INTRODUCCIÓN

La actividad cafetalera en México se ha desarrollado de forma creciente desde hace casi 300 años, siendo el estado de Chiapas, el principal productor de café, además de ser el primer productor de café orgánico a nivel mundial con 18 millones de toneladas anuales (SIAP, 2011). En la actualidad es uno de los mayores generadores de divisas dentro de los productos agrícolas del país y es el primer producto de exportación de este sector, así como el cultivo que emplea la mayor mano de obra para su cosecha.

Aunado a todo esto, los cafetales del estado de Chiapas forman parte de uno de los sistemas agroforestales más importantes de México, pues el Sistema *Rusticano* o tradicional bajo sombra, es el que ocasiona el menor daño ambiental a los ecosistemas donde es introducido el cultivo. Este sistema agroforestal tiene el potencial de proporcionar a la población ciertos servicios ambientales esenciales, como lo es la captación de agua, la conservación del suelo, la vegetación y la biodiversidad. Entre estos servicios ambientales destaca uno, que es de particular interés para este estudio y se enfoca en la capacidad que tienen los Sistemas Agroforestales de Café para regular y almacenar carbono atmosférico en el suelo y la biomasa vegetal.

Los cafetales con sombra son sistemas agroforestales con gran potencial para ser incorporados dentro del Mercado Mundial de compensaciones por captura de CO₂ así como la gran virtud de contribuir al mantenimiento y cuidado de estas zonas cafetaleras y a la producción de café de conservación orgánico.

El mercado ambiental se ha fortalecido en los últimos años, gracias a la implementación de los mecanismos de mitigación al cambio climático y al acuerdo de reducción de emisiones de carbono establecido en el protocolo de Kioto en 1997.

Dentro del marco normativo del Mecanismo Desarrollo Limpio (MDL), la compra-venta de compensaciones de carbono propuesta en el protocolo de Kioto, es una de las estrategias de mitigación que tiene mayor relevancia para los países en vías de desarrollo.

En el MDL se estipula que los agentes emisores generados por los países industrializados, pueden cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones financiando proyectos de manejo forestal certificados, en los países en vías de desarrollo. El principal beneficio de los MDL es que consideran el aprovechamiento de un servicio ambiental, como en este caso es la captura de carbono, para ofrecer opciones de mitigación a los efectos adversos del cambio climático obteniendo a cambio asistencia financiera, tecnología e inversión. No obstante, la compra-venta de compensaciones de carbono es un servicio ambiental complejo donde se ven involucrados numerosos requerimientos, condicionantes, metodologías poco claras para estimar el contenido y potencial de captura, hasta preparación técnica, monitoreos, verificaciones nacionales y del extranjero y por su puesto una certificación internacional que avale la efectividad del proyecto y los resultados obtenidos por el mismo.

México posee las condiciones naturales idóneas que comprenden los requerimientos agroecológicos del café y los ecosistemas adecuados para ejecutar proyectos de esta índole, así como las instancias académicas y gubernamentales con las herramientas necesarias para llevar acabo dichos proyectos.

Este estudio se llevó a cabo en una localidad llamada "El Cerrón" que se encuentra ubicada dentro de la cuenca alta del río Pijijiapan en el estado de Chiapas, y que está integrada únicamente por productores de café, que contribuyeron enormemente a la realización de este

trabajo con la contestación de encuestas y la toma de muestras en el área de estudio, donde fueron levantadas las parcelas.

El presente estudio contribuirá al medio geográfico en un tema poco desarrollado como lo es el pago de servicios ambientales, ofreciendo una propuesta sobre la metodología a seguir para llevar a cabo proyectos de captura y venta de carbono; fomentando así la actividad investigativa en este rubro.

El presente estudio persiguió el desarrollo de una metodología que permitiera evaluar la capacidad de captura y almacenamiento de carbono en un sistema de café bajo sombra; donde complementariamente se analizó el potencial de almacenamiento y captura de carbono y los beneficios que el pago de este servicio traería consigo en la economía de los productores de las localidades comprendidas en la cuenca alta del río Pijijapan.

HIPÓTESIS

La captura de carbono en cafetales es un servicio ambiental bien remunerado pero desconocido por los productores de café orgánico de la cuenca alta del río Pijjiapan, por tal motivo la implementación de esta metodología puede representar una oportunidad de desarrollo para la comunidad, gracias al aprovechamiento de los recursos y el potencial de captura que poseen los sistemas agroforestales de café.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología para la captura y venta de carbono en sistemas agroforestales de café de la cuenca alta del río Pijjiapan.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Interpretar la fisiografía y situación de la cuenca así como su situación ambiental.
- Identificar el papel de la actividad cafetalera en la cuenca.
- Conocer la situación mundial del cambio climático y el calentamiento global.
- Explicar los mecanismos de mitigación al cambio climático y el papel que juegan los países subdesarrollados.
- Evaluar el potencial de la cuenca como reservorio de carbono y las perspectivas futuras para ofrecer servicios ambientales.
- Analizar las ventajas y problemática del establecimiento de pagos por servicios ambientales en el caso del cobro por la captura y venta de carbono.

GLOSARIO DE SIGLAS

AMBIO: Asociación Mexicana para la Biodiversidad

AMECAFE: Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café

CEI EG: Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas

CFC: Clorofluorocarbonos

COMCAFÉ: Consejo Mexicano del Café

CON: Café Natural Orgánico

CONAFOR: Comisión Nacional Forestal

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua

CSA: Compensación por Servicios Ambientales

DAP: Diámetro a la Altura del Pecho

DN: Diámetro Normal

ECOSUR: El Colegio de la Frontera Sur

GEF: Fondo Mundial para el Medio Ambiente.

GEI: Gases de Efecto Invernadero

HFC: Hidrofluorocarbonos

INEGI: Instituto Nacional de estadística y Geografía

IPCC: Panel Intergubernamental Para del Cambio Climático

IUCN: Unión de Conservación Mundial

MDL: Mecanismo Desarrollo Limpio

MOM: Materia Orgánica Muerta

MPCC: Menú de Buenas Prácticas de Conservación

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

OMM: Organización Meteorológica Mundial

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PEA: Población Económicamente Activa

PFC: Perfluorocarbonos

PIB: Producto Interno Bruto

PNH: Programa Nacional Hídrico

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

PSA: Pago por Servicios Ambientales

PSACABSA: Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono

RCS: Ramas Caídas en el Suelo

SAF: Sistemas Agroforestales

SAGARPA: Secretaría de Agricultura Pesca y Alimentación

SEDESOL: Secretaría de Desarrollo Social

SEMARNAT: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales

SIG: Sistema de Información Geográfica

SMBS: Sistema de Monocultivo Bajo Sombra

SPT: Sistema de Policultivo Tradicional

SRT: Sistema Rusticano tradicional

tCERs: Créditos Temporales de CO²

UNFCCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

WB: Banco Mundial

“El café, negro como la noche,
amargo como las penas y
ardiente como el amor”.

Proverbio turco.

CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.1 Medio Físico

1.1.1 Localización Geográfica

Todo estudio de índole geográfico-ambiental basa la localización del área objeto de estudio con respecto a una cuenca, pues son los factores geográficos: físicos y sociales, los que poseen la virtud de modificar de forma directa o indirecta las características físicas y socioeconómicas de esta unidad básica de relieve.

El presente estudio corresponde al trabajo realizado en la cuenca alta del río Pijijapan, en el estado de Chiapas. Figura 1.1



Figura 1.1 Localización de la cuenca. Fuente: Google Earth, 2011.

La cuenca alta del río Pijijiapan se ubica geográficamente entre los paralelos 15°40'54" y 15°52'45" N de latitud Norte y los meridianos 93°04'54" W y 93°13'21" W de longitud Oeste.

Figura 1.2

Ubicación y Colindancias de la Cuenca Alta del Río Pijijiapan.

DIRECCIÓN	COORDENADAS GEOGRAFICAS	COORDENADAS UTM EN METROS	REGIONES COLINDANTES
Norte	15° 52' 45" 93° 08' 12"	1,755,500 485,350	Cuenca del río Grijalva
Sur	15° 40' 54" 93° 10' 13"	1,733,650 482,050	Planicie costera de Chiapas
Este	15° 45' 00" 93° 04' 54"	1,741,200 491,200	Cuenca del río Coapa
Oeste	15° 42' 58" 93° 13' 21"	1,737,500 476,150	Cuenca del río Urbina

Figura 1.2. Fuente: Trabajo de Campo. Guerrero, Diana. 2011.

De acuerdo con el Programa Nacional Hídrico 2007-2012, la zona investigada se sitúa en la Región Hidrológico-Administrativa XI, denominada Frontera Sur, compuesta en su totalidad por las superficies que comprenden los estados de Chiapas y Tabasco, así como una pequeña porción del estado de Oaxaca y Campeche. (CONAGUA, 2007). Fig.1.3

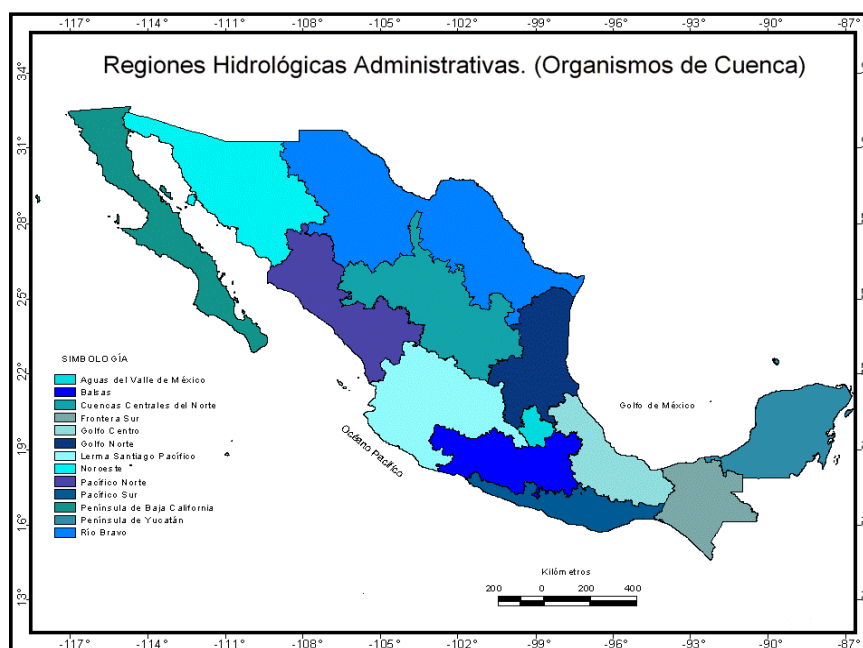


Figura 1.3 Regiones Hidrológico-Administrativas. Fuente: CONAGUA, 2007.

Esta región se encuentra subdividida a su vez en dos Regiones Hidrológicas: Grijalva-Usumacinta (No.30) y Costa de Chiapas (No.23). Siendo esta última donde se localiza el área objeto de estudio. Figura 1.4

La región Hidrológica Número 23, denominada Costa de Chiapas, agrupa a las cuencas hidrológicas de la zona costera del estado que comparten niveles muy similares de escurrimiento superficial, a nivel nacional es la cuarta región más húmeda y la primera de la vertiente del Pacífico.

La región Hidrológica Número 23 Costa de Chiapas según el PNH (2007) está integrada por 25 cuencas, posee una extensión territorial de 12 293 km², en el periodo de 1941-2000 registró una precipitación normal anual de 1968.9 mm y en la actualidad registra un escurrimiento natural medio superficial de 12 554 hm³/año.

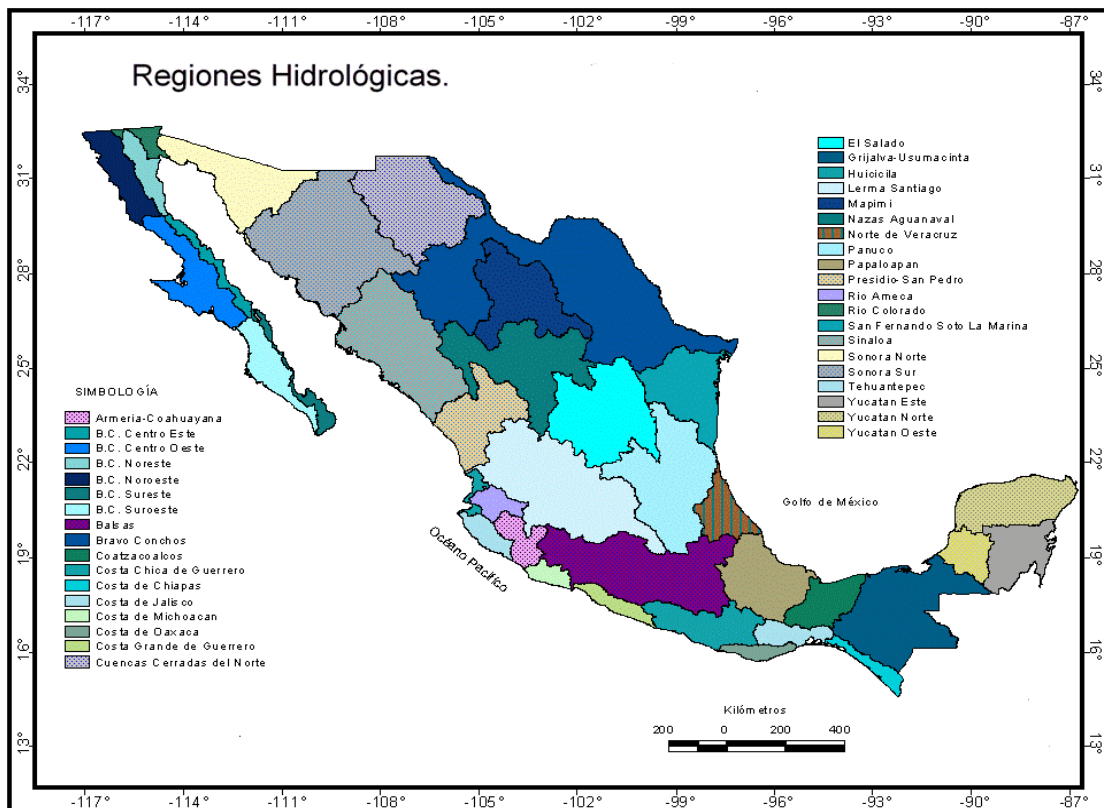


Figura 1.4 Regiones Hidrológicas. Fuente: CONAGUA, 2007

“La región hidrológica número 23 Costa de Chiapas, es una de las regiones hidrológicas, de mayor importancia en el Estado de Chiapas, dado que en ella se encuentran dos ríos principales, el primero se refiere al río Suchiate, el cual sirve como límite entre la República de Guatemala y los Estados Unidos Mexicanos; el segundo de no menos importancia es el río Coatán, el cual abastece de agua a un gran número de fincas cafetaleras, así como para consumo humano del Municipio de Tapachula”. (Diario Oficial de la Federación, 2007). Figura 1.5

El territorio del Consejo de Cuenca de la Costa de Chiapas está constituido por 20 municipios chiapanecos entre los más importantes destacan por su extensión: Pijijiapan, Tonalá, Mapastepec y Tapachula. La Costa de Chiapas se divide en 25 cuencas hidrológicas, siendo las principales las correspondientes a los ríos Suchiate, Novillero, San Nicolás, Huehuetán, Cahoacán, Huixtla, Coatán y Pijijiapan y 3 del estado de Oaxaca (San Pedro Tapanatepec, San Francisco Ixhuatan y Chahuites). (Consejo de Cuenca de los ríos Grijalva-Usumacinta y Costa de Chiapas, 2009).

La cuenca alta del río Pijijiapan ocupa una superficie de 206.00 km² que equivalen a 20,600 ha, al perímetro de la zona de estudio le corresponde una longitud de 67.62 km. La cuenca tiene una orientación NNW-SSE, situación geográfica que provee de humedad a la región durante todo el año.

Figura 1.5 Región Hidrológica No. 23 Costa



de Chiapas. Fuente: Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas, 2010.

1.1.2 Relieve

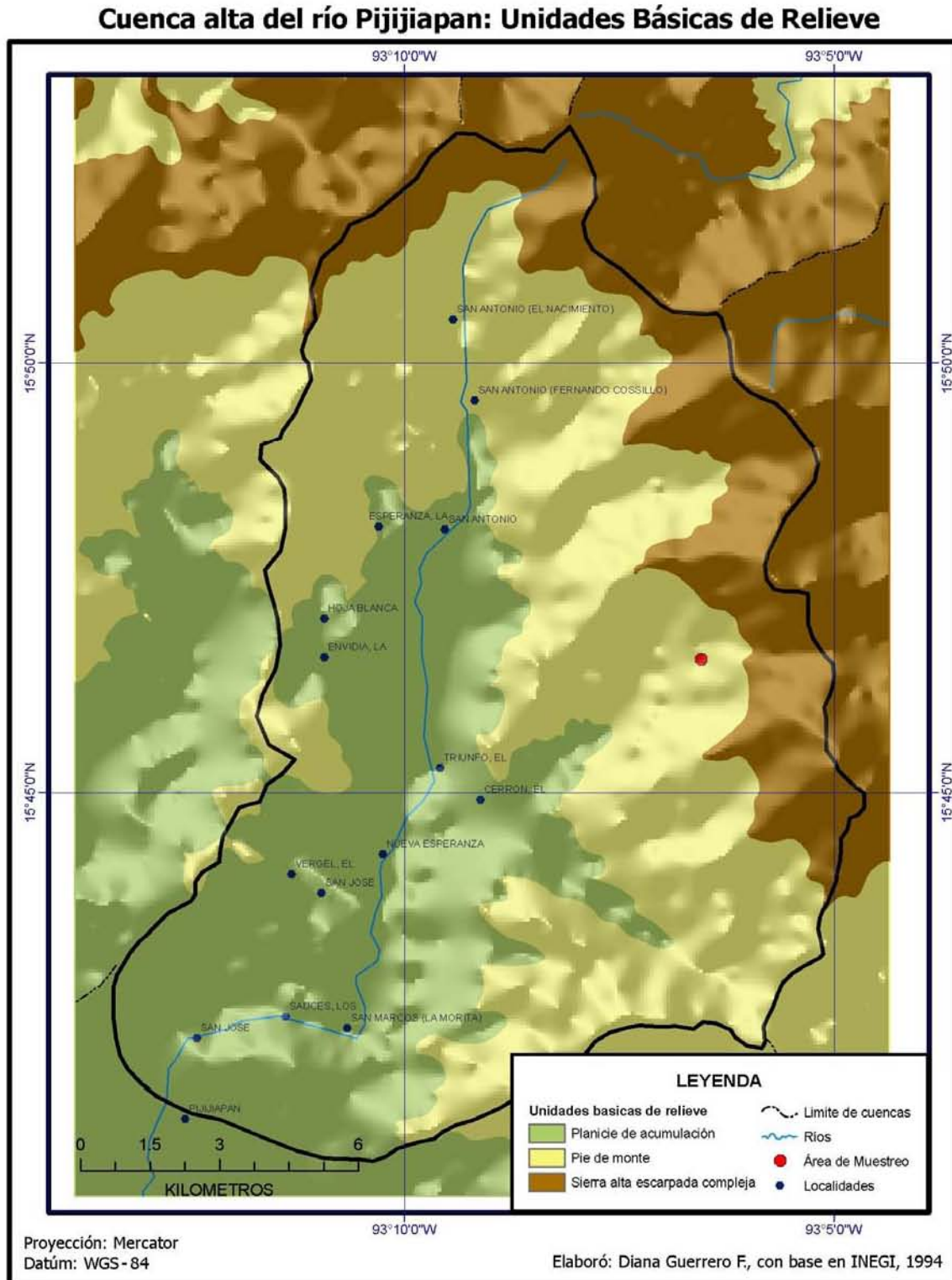
El área de estudio se sitúa en la denominada "Provincia Terrestre Sierra Madre del Sur, cuya región está conformada por áreas montañosas, con sistemas de cordilleras no orientadas bien fracturadas y con un patrón de drenaje angular". (Cuanalo, 1989) Fig. 1.6 Fisiográficamente la cuenca alta del río Pijijiapan, se localiza en la región denominada Llanura Costera del Pacífico, caracterizada por correr en forma casi paralela al Océano Pacífico y a su Planicie Costera, donde su formación se debe a procesos erosivos y de deposición de sedimentos provenientes de la Sierra Madre de Chiapas. Este proceso aún activo, ha generado una zona costera inundable y de grandes lagunas que crece lentamente hacia el océano.



Figura 1.6 Regiones Fisiográficas. Fuente: Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas, 2010.

El municipio de Pijijiapan se encuentra conformado en un 45.46% por sierra alta escarpada compleja; el 38.73% por llanura costera; el 13.10% por llanura costera inundable y salina; el 0.94% por lomerío típico y el 0.94% de cuerpos de agua. (CEIEG, 2009).

Sin embargo estas proporciones no son representativas de la cuenca, donde de acuerdo con Ramírez Laguna, 2003 el relieve está conformado por tres tipos de unidades básicas, diferenciadas por su altura: Fig. 1.7



a. **Montañas y Laderas altas (Sierra Alta escarpado compleja).** Esta unidad se caracteriza porque sus elevaciones van de 2480-1200 m.s.n.m., se encuentran distribuidas en la porción meridional de la Sierra Madre de Chiapas, caracterizada también por ser una región con gran aporte de detritos debido a sus pronunciadas pendientes y una escasa acumulación de material aluvial. En esta unidad se encuentran dos de los puntos de mayor altura:

- *Cerro Azul* ubicado a 21.7 km al Nor-noroeste de la Cd. De Pijijiapan y que tiene una altitud de 2480 m.s.n.m., y es aquí donde nace el río Pijijiapan.
- *Cerros La Cumbre*, ubicados al noreste de la cuenca, con una altitud que oscila entre los 2420 y los 2100 m.s.n.m., estos cerros sirven de parteaguas en la cuenca alta del río Pijijiapan y las cuencas de los ríos Coapa y Grijalva.

b. **Pie de Monte o talud de transición.** Su altura comprende de 1200-400 m.s.n.m. y que se caracteriza por ser un área de transición entre las grandes elevaciones y las planicies de acumulación. Es aquí donde se localiza el área de estudio denominada Rincón del Tigre, a una altura de 740 m.s.n.m.

c. **Planicie de acumulación.** Como su nombre lo indica, esta unidad corresponde a una región cuya principal características es la acumulación de material aluvial que es arrastrado por el río Pijijiapan, su rango de altura va de los 400-60 m.s.n.m. y se sitúa en la base de la cuenca.

En términos estrictos, una cuenca es el área drenada por una corriente fluvial y sus tributarios. Sus componentes están definidos por el relieve, es decir, por la altitud y cambios en la altitud: canales o cursos principales y tributarios, laderas, divisorias de aguas, y nivel de base. Las cuencas y sus canales se organizan a nivel jerárquico: subcuencas y órdenes de cauces, sin embargo la cuenca no encierra la idea de homogeneidad a ninguno de los niveles subordinados. La delimitación de las subcuencas está dada por la organización de los cauces.

No así por las demás características del terreno. En tanto la unidad territorial, y a efectos de poder manejar o gestionar el recurso agua en forma eficiente, es preciso considerar aspectos tales como pisos altitudinales (por cambios en precipitación y temperatura), formas del relieve y suelos -por los cambios en las rocas y materiales superficiales- (Bocco,2004).

1.1.3 Hidrología

La Costa de Chiapas comprende una franja litoral de alrededor de 270 km² sobre la vertiente del Océano Pacífico; cuenta con 87,954 km² de zona económica exclusiva, 11,734 km² de plataforma continental y 75,828 has de lagunas y esteros costeros (INEGI, 1985).

Inmersa como ya se mencionó anteriormente en la región hidrológica No. 23, que incluye a las cuencas de los ríos Coapa, San Diego y El Porvenir. El río Pijijiapan tiene una importante red de corrientes tributarias que lo alimentan, su patrón de drenaje es dendrítico de cuarto orden, parámetro representativo de un sistema bien drenado de rápida respuesta a precipitaciones y por ende generador de grandes picos de escurrimiento.

Hidrológicamente es un sistema mediano seccionado en dos partes; la parte alta tiene una muy alta eficiencia en la colecta y concentración de escurrimientos, pero en contraparte, la zona costera se caracteriza por tener una baja eficiencia en colecta y conducción de caudales, con bajo potencial de desarrollo por parte del canal, por lo que se producen inundaciones recurrentes, aún para eventos de baja magnitud.

En cuanto a la hidrología de la cuenca, se puede inferir gracias al relieve, que es en las zonas altas de las montañas donde pequeños ríos intermitentes confluyen para integrarse al cauce del río Pijijiapan.

El principal río colector de la cuenca (Pijijiapan) nace en el Cerro Azul a una altura de 2480 m.s.n.m. y recorre desde su nacimiento y hasta el considerado punto terminal de la cuenca una distancia de 28 km.

El relieve de la cuenca permite inferir que el drenaje es de tipo dendrítico o arborescente, configuración característica de las cuencas donde el tipo de roca es homogéneo o donde el origen de ellas es ígneo con estructura sólida como en este caso lo es el granito.

1.1.4 Geología

La cuenca del río Pijijiapan está situada sobre ocho fracturas, cuatro de ellas ubicadas en la porción Oriental del río y cuatro más al margen occidental de la cuenca, todas ellas se encuentran alineadas con las principales cañadas de la región.

En cuanto a la unidad litológica, sus orígenes datan del periodo cámbrico en la era paleozoica, y está compuesta en su totalidad por granito (rocas de origen ígneo intrusivo), cuya composición mineralógica es: ortoclasta 40%, cuarzo 35%, feldespato 15% y ferromagnesiano 10%.

1.1.5 Suelos

En la cuenca alta del Pijijiapan, se manifiestan tres asociaciones edafológicas, basadas en la clasificación de la FAO y se describen a continuación:

Asociación G1: Litosol+Regosol eutrítico+Feozem háplico con textura media (I+Re+Hh/2)

Asociación G2: Luvisol crómico con textura fina (Lc/3)

Asociación G3: Fluvisol+Cambisol eutrítico con textura media (Je+Be/2)

○ **Litosol:** Su nombre proviene del Griego *lithos*, piedra, connotativo de suelos con roca dura a muy poca profundidad. Se encuentra como unidad de suelo dominante en la cuenca, en las dos principales unidades básicas de relieve (montañas y pie de monte) ocupando con ello una extensión de 197.57 km² equivalentes al 95.91% de la superficie de la cuenca. Este

tipo de suelo se caracteriza por ser poco profundo (menor de 0.10 m hasta la roca madre). La utilización de estos suelos es forestal al encontrarse en bosques y selvas, no son aptos como tierras de cultivo y tienen una alta susceptibilidad a la erosión, porque se presentan en terrenos con una topografía accidentada y se realiza un cambio del uso del suelo inadecuado. Su textura es arcillosa, con una fase física Pedregosa. Fig. 1.8

Regosol: Su nombre proviene del griego *rhegos*, manto; connotativo de un manto de material suelto que reposa sobre roca dura, estos son suelos sin horizontes de diagnóstico, se encuentra como una unidad de suelo secundaria, asociada a la presencia del Litosol, son suelos claros, sin estructura muy parecidos a la roca madre cuando no son profundos y están formados por material suelto. Tiene subunidad de suelo secundario eútrico es decir ricos en nutrientes, con una fertilidad moderada a alta y con susceptibilidad variable a la erosión.

○ **Feozem:** Su nombre proviene del griego *phaidos* (negrusco) y del ruso *zemlja* (tierra), connotativo de suelos ricos en materia orgánica, se presenta como una tercera unidad de suelo, asociada al Regosol y Litosol; estos suelos se caracterizan por tener una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes, su fertilidad varía de moderada a alta. Se presenta como una unidad de suelo háplico, del griego *haplos*, (simple); sinónimo de un suelo con una secuencia de horizontes simples o normales, sin ninguna propiedad especial, su susceptibilidad a la erosión depende del uso al que es sometido, así como a la topografía, tiene una textura media es decir, <35% de arcilla <65% de arena, esto en los primeros 0.30 m de suelo.

▪ **Luvisol:** Su nombre proviene del Latín *livi*, de Luo, lavar, lixiviar, connotativo de acumulación iluvial de arcilla, se presenta en la zona como Luvisol crómico del griego *chomos*, color, este como una unidad de suelo dominante, que por extensión ocupa el segundo lugar dentro de la cuenca, se distribuye en la porción baja de la cuenca, su límite coincide con la zona de cultivo de pastizal; el subsuelo es rico en arcilla y están asociados a un

alto rendimiento en productos como el café y algunos frutales tropicales, el uso forestal también es muy importante y sus rendimientos altos.

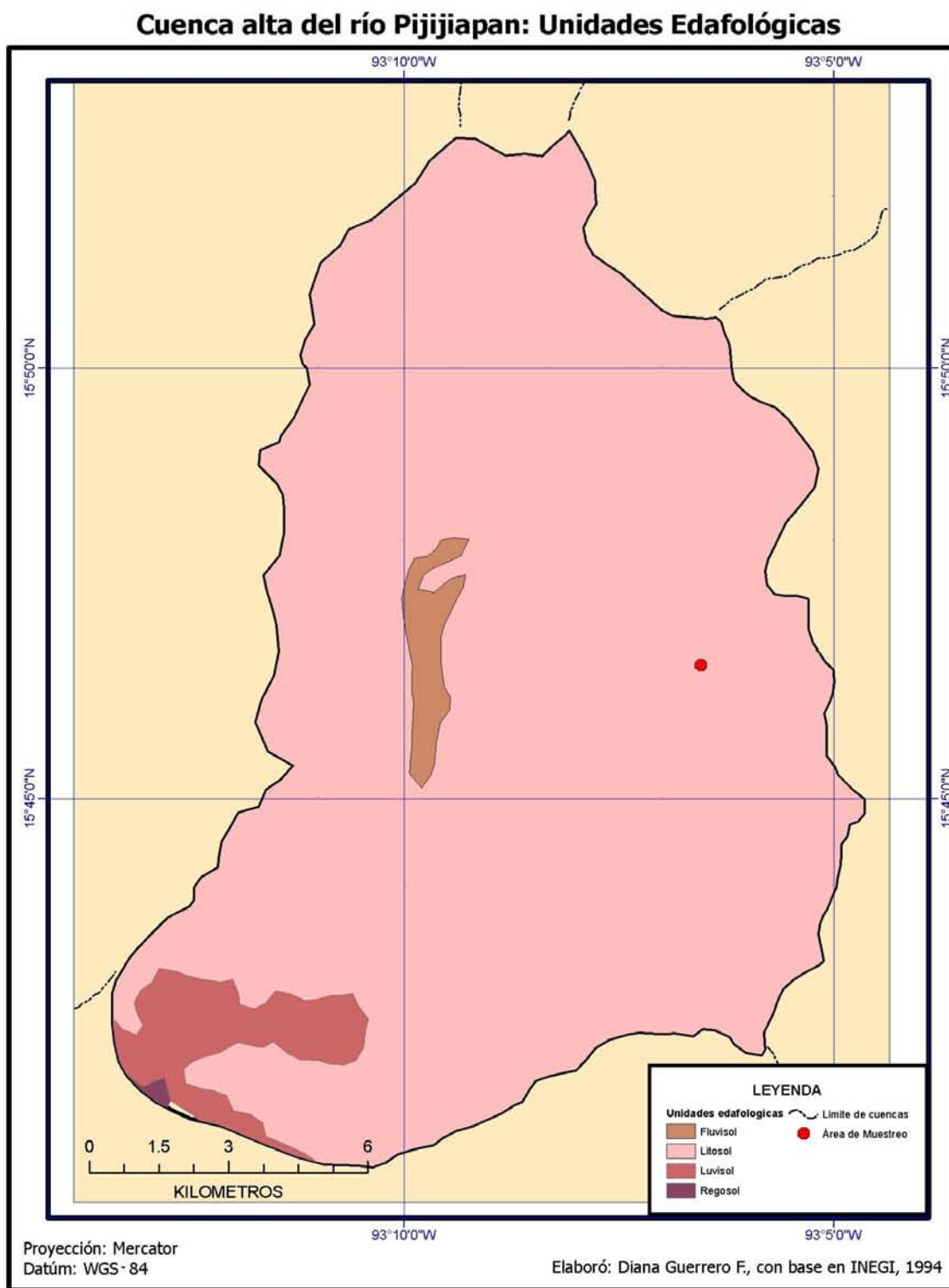


Figura 1.8. Mapa Edafológico de la Cuenca.

Los luvisoles son más fértiles y menos ácidos que los acrisoles, la subunidad crómica está asociada al color y se traduce en que estos suelos cuando están húmedos son de color rojo o amarillento en el subsuelo y tienen una fertilidad moderada. La textura de estos suelos es fina lo que se traduce en un 35% de arcilla y una fase física pedregosa (abundancia de rocas en la superficie y/o dentro de las capas superficiales del suelo) su tamaño es mayor al de las gravas. Esta unidad edafológica es altamente susceptible a la erosión debido a los pocos cuidados que la actividad agropecuaria le proporciona.

- **Fluvisol:** Su nombre proviene del Latín *fluvi*, río, connotativo de llanuras aluviales y depósitos aluviales, no presentan horizontes de diagnóstico excepto un horizonte A pálido. Ocupa el tercer lugar por extensión dentro de la cuenca con 2.02 km² que representan el 0.98% restante de la superficie bajo estudio. Se encuentra distribuido en la porción central de la cuenca, sobre el curso medio y las vegas del río Pijijiapan. Su origen es fluvial, debido al arrastre de materiales por el agua, son poco desarrollados, con un contenido medio-alto de nutrientes, se distribuyen a lo largo de las márgenes de los ríos y generalmente se encuentran como una unidad dominante. En ocasiones presentan problemas de fertilidad cuando se ubican en pendientes pronunciadas, y su drenaje interno con tendencias a deficiente lo que lo hace susceptible a la erosión, bajo riego puede utilizarse para una amplia variedad de cultivos adaptados climatológicamente.

- **Cambisol:** Su nombre proviene del Latín *cambiare* connotativo de cambios de color, estructura y consistencia como resultado del intemperismo in situ. Es una subunidad de suelo asociada al Fluvisol, el término eútrico, del griego eu, bien, eutrófico, fértil, de acuerdo a como se identificó en la zona de estudio indica que es un suelo fértil, caracterizado por ser joven y poco desarrollado con un subsuelo en el que se forman terrones, la capa superficial es pobre en nutrientes y en ocasiones no existe, puede presentar en algunos casos, acumulaciones de arcillas, carbonato de calcio, fierro y

magnesio, sin que sea abundante. Estos suelos no son apropiados para la agricultura, cuando se presentan en una topografía accidentada, son pedregosos y de espesor medio, por lo que su uso es para pastizal o silvícola.

1.1.6 Clima

De acuerdo con la carta de climas escala 1:50 000 editada en 1970 por la Secretaría de la Presidencia y la Universidad Nacional Autónoma de México, así como la publicación de 2009 realizada por el Comité Estatal de Información Estadística y Geografía, en la zona de estudio, los climas existentes son:

- **Am(f)**: Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, que abarca el 46.17% de la superficie de la cuenca y comprende las porciones de las montañas y laderas altas.
- **Aw0(w)**: Cálido subhúmedo con lluvias en verano, comprende el 43.19% del área.
- **A(C)m(W)**: Semicálido húmedo con lluvias abundantes en verano, es el de menor extensión superficial con el 9.75%

C(m)(w): Templado húmedo con lluvias abundantes en verano que ocupa el 0.89% de la superficie municipal. Figura. 1.9

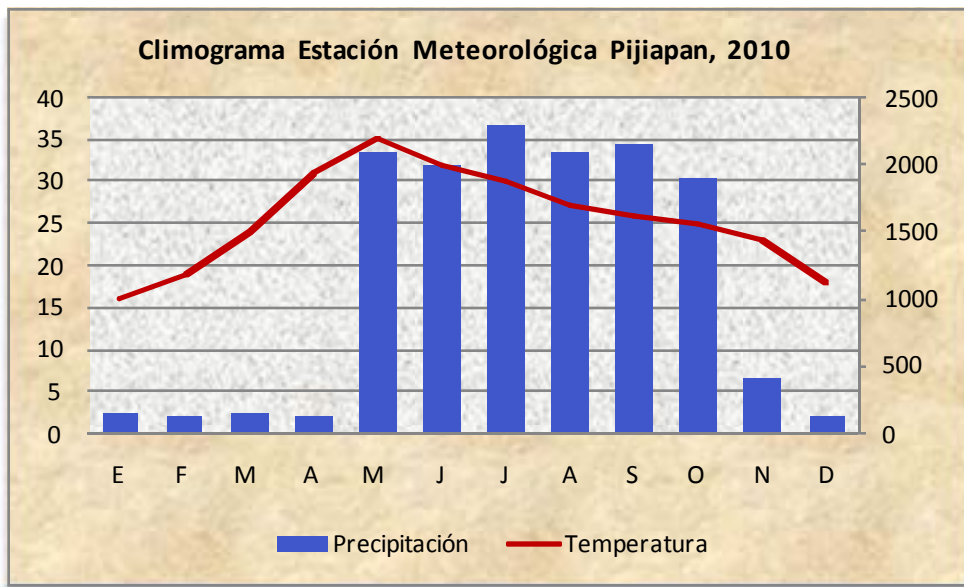


Figura 1.11. Climas. Fuente Ramírez L, Basado en SP y CENETAP, 1970.

Cuenca alta del río Pijijiapan: Climas

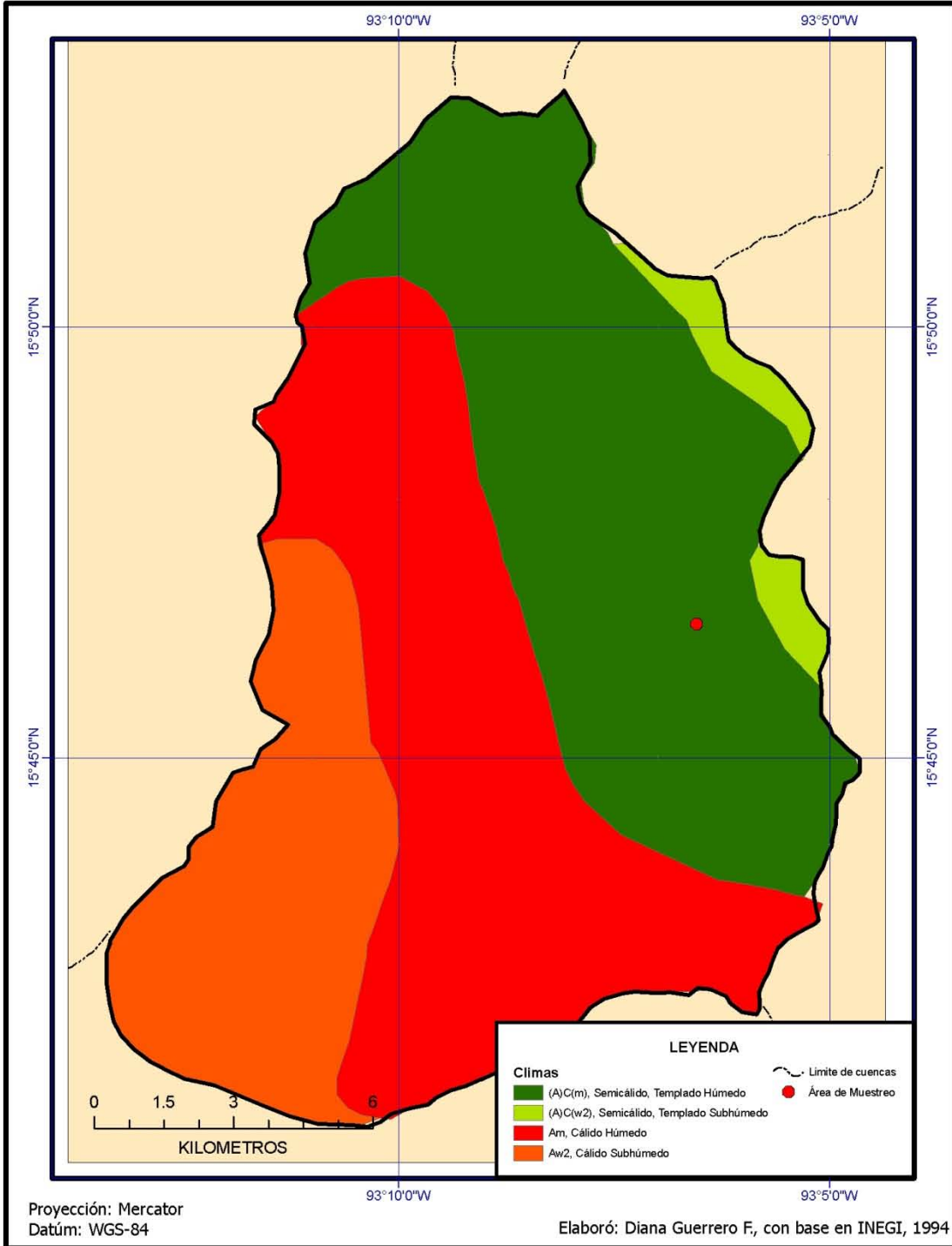


Figura 1.9. Mapa climático de la Cuenca alta del río Pijijiapan.

En el periodo de noviembre - abril, la temperatura mínima promedio va de 9°C a 19.5°C, La temperatura máxima promedio oscila entre 21°C y 34.5°C, en el periodo de noviembre -

abril, la temperatura máxima promedio fluctúa entre 18°C y 33° C. La precipitación media en este periodo que fluctúa entre los 2000 mm y los 2600 mm.

En el periodo de noviembre - abril, la temperatura mínima promedio va de 9°C a 19.5°C, y la máxima promedio fluctúa entre 18°C y 33°C, en cuanto a la precipitación, la media de este periodo va de los 50 mm a 250 mm. El viento dominante a lo largo del año proviene del suroeste, es decir del océano Pacífico, lo que acarrea la humedad que está presente en todo el año.

1.1.7 Vegetación y Uso de Suelo

De acuerdo con el mapa de cobertura vegetal, publicado por INEGI, SEMARNAT y la UNAM en 2000, la región de la selva alta perennifolia sufrió un cambio en la clasificación respecto de la última carta publicada por INEGI (1985), pues aparecía como selva alta perennifolia con vegetación secundaria arbórea y para el año 2000 la vegetación fue denominada como secundaria arbustiva. Figura 1.10

En el mapa de vegetación y uso de suelo, se diferencian los siguientes tipos:

- **Selva alta perennifolia:** Las especies representativas de este tipo de vegetación son el cedro, cedro rojo, ceiba y árbol del hule. Las especies dominantes de esta comunidad arbórea, se caracterizan por sobrepasar los 30 metros de altura y conservar su follaje durante todo el año, esta vegetación se localiza principalmente en el margen oriental de la cuenca del río, esencialmente en el pie de monte de los cerros La Cumbre, (1200 a los 400 metros de altura), al sur se localiza también en el cerro Las Tres Crestas (1800 m.s.n.m.), así como en la cima del cerro Zapotalito hasta los 700 metros. En cuanto a la porción occidental, este tipo de vegetación se encuentra en el cerro la caída (desde los 1400 a los 800 m.s.n.m.), la segunda área de la cuenca en su porción occidental, que comprende esta vegetación es en el parteaguas principal de los (1200-600 m.s.n.m.) Esta vegetación, corresponde al 40.17% con respecto al área total de la zona de estudio.

Cuenca alta del río Pijjiapan: Uso de Suelo y Vegetación

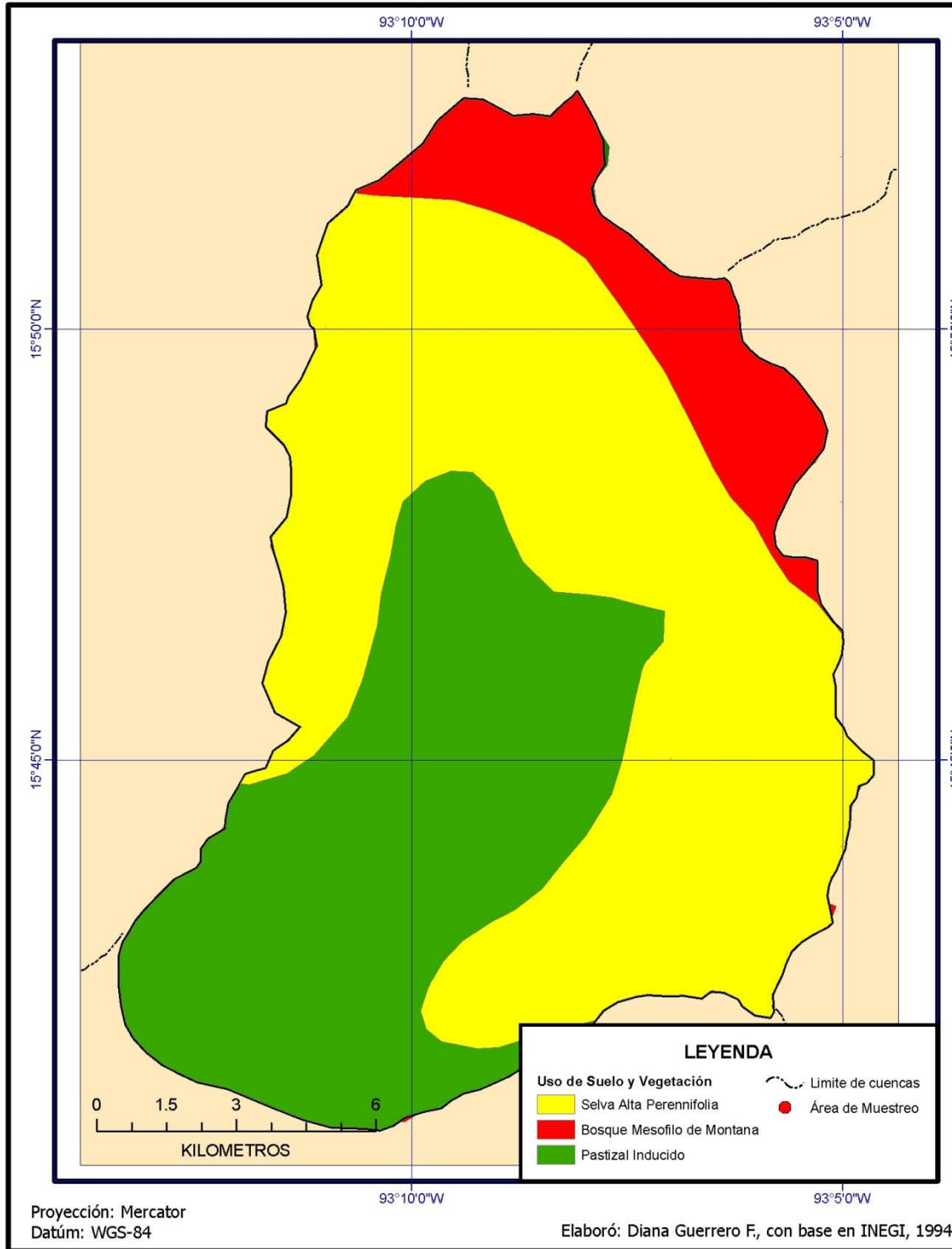


Figura 1.11 Mapa de Vegetación y Uso de suelo de la cuenca

- **Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria arbustiva:** las especies vegetales se encuentran distribuidas al margen occidental de la cuenca, en dos

porciones, la primera en la estribaciones del cerro la campana (600-400 m.s.n.m.) y la segunda en las cañadas del cerro La Caída aproximadamente a los 1400 a 600 metros de altitud. En los márgenes occidentales, podemos encontrar a los 800 metros de altura a la porción este del cerro Las Tres Crestas. Este tipo de vegetación abarca un 13.67% de la superficie total de la cuenca.

- **Pastizal inducido:** se encuentra en pequeñas porciones en las dos principales unidades básicas de relieve –montañas y laderas altas y pie de monte-, en esta última se destruyeron considerables áreas que a 1985 correspondían al Bosque Mesófilo, este proceso de desmonte también destruyó una zona de selva alta perennifolia localizada al noreste del Cerro Las Tres Crestas, amplio también su extensión en las cañadas del río encuentro. Dentro de la cuenca su distribución comprende el 32.06% de la superficie total.

- **Bosque mesófilo de montaña:** Esta vegetación está compuesta por especies como el abeto, oyamel, encino y roble y otras en menores proporciones. Según la carta de vegetación publicada en 1985 al año 2000, el Bosque Mesófilo redujo su extensión en un 7.48 km², sin embargo este proceso no ha incrementado en la actualidad, esto debido en gran medida al relieve tan escarpado que soporta esta vegetación. El 10.68% del área la cuenca está ocupado por Bosque Mesófilo de Montaña.

- **Pastizal cultivado:** Su extensión es la menor, pues comprende apenas 7.05 km² que corresponden al 3.42% del total de la cuenca y se encuentran ubicados en la planicie.

Recorrido en trabajo de campo

Uso de suelo

El uso de suelo visible en el trayecto hacia la Cuenca Alta del Río Pijijiapan es de pastizal, sin embargo conforme los pisos altitudinales cambian la vegetación representativa de la región comienza a hacerse presente, con especies arbóreas que sobrepasan los 30 metros de altura.

A lo largo del trayecto e incluso adentrados ya en la zona de estudio es muy visible la presencia de árboles muertos en pie o troncos caídos en proceso de descomposición, de acuerdo con los habitantes de las localidades de la cuenca, esto se debe a las lluvias torrenciales ocurridas en 1998, como resultado del paso del Huracán Mitch, según el departamento de Protección Civil del Estado de Chiapas, este fue uno de los dos Huracanes del siglo (Mitch, 1998) y (Stan, 2005) que ha causado la mayor devastación en el estado, pues las cifras arrojan más de 29000 damnificados y 229 muertos, además de cientos de personas desaparecidas y graves daños en infraestructura, sin considerar el serio daño ecológico provocado en la región costera de Chiapas.

La región de la Cuenca Alta presenta un alto grado de conservación pues tanto la vegetación como el río y arroyos existentes a lo largo de la Cuenca se encuentran en óptimas condiciones, esto gracias a la baja existencia de elementos contaminantes y la nula presencia de actividades como la tala o quema de la vegetación, así como practicas de conservación llevadas a cabo por los habitantes de las localidades inmersas en esta región. En términos generales la Cuenca Alta del Río Pijijapan presenta un muy bajo grado de alteración, condición que en gran medida se debe a los conocimientos que tienen los habitantes a cerca de los servicios ambientales.

1.2 Medio Socioeconómico

1.2.1 Población

La zona de estudio abarca siete pequeñas localidades, ya que al encontrarse lejos de la cabecera municipal, por la inaccesibilidad de la región los asentamientos humanos en altitudes mayores son escasos y los existentes no sobrepasan los cien habitantes.

El trabajo de campo, fue realizado con el apoyo de una localidad en particular, llamada "El Cerrón" que fue elegida entre el resto por contar con el mayor número de habitantes, así mismo todos los habitantes se encuentran en una misma área a diferencia del resto de las

comunidades –cuya ocupación es dispersa- y la característica más importante para su elección que fue la particularidad de sus habitantes de dedicarse al cultivo de café y ser la única comunidad en el municipio que realiza esta actividad.

Características de la Población

Los datos que a continuación se expresan, son resultado de las encuestas aplicadas al cien por ciento de las viviendas de la comunidad "El Cerrón".

La localidad está compuesta por 27 habitantes (19 mujeres y 8 hombres), -14 de ellos adultos (entrevistados) y 13 niños.

La comunidad es relativamente joven, pues los habitantes aseguran que esta debió establecerse a fines de 1947. El cien por ciento de los habitantes son originarios de Pijijiapan y habla como única lengua el español. Todos profesan como religión el catolicismo.

Pese a que la comunidad cuenta con tres aulas y 2 profesores, para impartir los tres niveles educativos básicos –preescolar, primaria y secundaria-, el 65% de los habitantes son analfabetos, 29% tienen educación primaria y el 6% restante estudio la secundaria. La comunidad de "El Cerrón" forma parte de los denominados Proyectos de Educación Comunitaria del Consejo Nacional de Fomento Educativo (CONAFE).

Catorce son las viviendas que integran dicha comunidad, todas están construidas de madera techos de lamina y tierra apisonada, en promedio viven en ellas entre 4 y 5 personas. No cuentan con energía eléctrica.

Su dieta está basada en el consumo de arroz, pasta, frijol, maíz, chile y huevo, el 90% adquieren dichos productos en la DICONSA de la localidad de San Antonio, el resto los adquiere en eventuales viajes a la ciudad de Pijijiapan y algunos otros se abastecen de

cultivos propios destinados al autoconsumo como el frijol, maíz y chile, sin embargo comentan que en varias ocasiones los cultivos no han prosperado.

El transporte hacia la comunidad es escaso, únicamente se puede acceder a ella con camionetas particulares o con el lechero que sube a la localidad de San Antonio todos los días y los deja a unos dos kilómetros de la localidad de "El Cerrón".

El cien por ciento de los habitantes usa los servicios médicos que le proporciona el centro de salud, aunque según comentan el abasto de medicinas es insuficiente.

La comunidad forma parte del 72.52% de la población rural del Municipio de Pijijiapan, según el Censo de población y Vivienda de 2010, sin embargo la gente de la localidad comenta que no fueron considerados en el Censo.

1.2.2 Actividades Económicas

En el año 2010 en el municipio de Pijijiapan, la Población Económicamente Activa (PEA) ocupada fue de 14,005 habitantes, distribuyéndose por sector, de la siguiente manera:

Sector primario. El 54.56% realiza actividades agropecuarias. El porcentaje de este sector en los ámbitos regional y estatal fue de 41.65% y 47.25% respectivamente.

Sector secundario. El 12.47% de la PEA ocupada laboraba en la industria de la transformación, mientras que en los niveles regional y estatal los porcentajes fueron de 15.03% y 13.24% respectivamente.

Sector terciario. El 31.17% de la PEA ocupada se emplea en actividades relacionadas con el comercio o la oferta de servicios a la comunidad, mientras que en los niveles regional y estatal el comportamiento fue de 41.77% y 37.31% respectivamente.

En la percepción de ingresos, en el municipio, se tienen los siguientes resultados: el 14.74% de los ocupados en el sector primario no perciben ingresos y sólo 1.23% reciben más de cinco salarios. En el sector secundario, 4.93% no perciben salario alguno, mientras que 1.95% reciben más de cinco. En el terciario, 7.38% no reciben ingresos y el 7.70% obtienen más de cinco salarios mínimos de ingreso mensual. Figura 1.11

En este mismo rubro la región reporta los siguientes datos: 11.42% de la PEA ocupada en el sector primario no recibe salario alguno y 1.05% recibe más de cinco salarios. En el sector secundario, 3.99% no percibe ingresos por su actividad, mientras que sólo 2.28% percibe más de cinco salarios. En el terciario, 5.11% no recibe ingresos y 10.05% más de cinco salarios mínimos mensuales de ingreso, por su actividad.

La distribución de ingresos de la PEA en el estado reporta que el 40.66% del sector primario no recibe salario alguno y sólo 0.76% recibe más de cinco salarios mínimos. En el sector secundario, 6.63% no percibe ingresos y 4.46% recibe más de cinco salarios. En el terciario, 5.73% no recibe ingresos y el 11.98% obtiene más de cinco salarios mínimos.

De acuerdo al Informe de Gobierno, los recursos públicos ejercidos por las dependencias estatales y federales en el año 2000, fueron del orden de los 34.09 millones de pesos, que se destinaron principalmente en Educación, 47.99%, Desarrollo Agropecuario, 12.46% y Comunicaciones y Transportes, 30.73%.

MUNICIPIO	OCUPACIÓN		INGRESOS		MÁS DE 5 SALARIOS MÍN.		MÁS DE 5 SALARIOS MÍN. ESPECIFICADO	
	OCUPADA	%	INGRESOS	%	SALARIOS MÍN.	%	ESPECIFICADO	%
CHAMPÓN	414	42.50	6.25	15.09	7	1.69	100	100
CHICHÓN	114	11.2	7	6.14	14	1.79	40	1.90
CHUMEL	477	22.17	102	21.38	117	7.70	100	100

Figura 1.12. INEGI, Chiapas XII Censo general de Población y Vivienda, 2010.

La población de la zona de estudio forma parte de la Población Económicamente Activa, dentro del sector primario (54.56%), dentro del rubro "No recibe ingresos" o con ingresos menores a 5 salarios mínimos (14.74%).

Del total de los encuestados el 74% son productores de café y el 26% restante practican esta actividad alternándola con otras como son la albañilería y actividades propias del campo –principalmente la ganadería- en otras fincas cercanas. Así mismo practican la agricultura de autoconsumo en pequeñas parcelas.

Los habitantes de la comunidad "El Cerrón" reciben apoyos gracias a diversos programas como los auspiciados por la Secretaria de Agricultura Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, que son entregados anualmente bajo el Programa Fomento Productivo operado por la Asociación Mexicana de la Cadena Productiva de Café (AMECAFE), y se encuentran en función de las hectáreas sembradas, así como el origen del producto: orgánico o convencional, también son entregados apoyos en especie, como lo son sacos de cemento para la construcción de piso que es utilizado para el secado de café.

Por otra parte las mujeres de la localidad se encuentran inscritas en el Programa Oportunidades de la Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL), donde mensualmente les es entregado un apoyo de \$ 700 pesos usado para su manutención.

Por último dos de los habitantes de la localidad reciben un pago anual por los Servicios Ambientales que brinda una de las áreas que ellos reforestaron en los Cerros La Cumbre, este apoyo según comentan proviene de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), quienes monitorean periódicamente el área y les brindan capacitación constante para su mantenimiento y cuidado.

CAPÍTULO II. CAMBIO CLIMÁTICO

2.1 El cambio climático global

Durante la últimas décadas (1990-2010) y cada vez con mayor recurrencia hemos escuchado hablar del cambio climático y el calentamiento global, como grandes problemas que aquejan al Planeta y por ende a nuestra estancia en él, usualmente estos temas vienen acompañados de un gran listado de consecuencias negativas que mermaran la calidad de vida de los seres humanos en la Tierra. Cada vez es mayor la información obtenida a través de la investigación científica; sin embargo, poco se ha dicho al dominio público y la información manejada no es precisamente la más adecuada.

Si bien es cierto que los cambios climáticos han existido a lo largo de la historia del planeta Tierra, incluso cuando la humanidad estaba integrada por seres primitivos y poco se conocía de los adelantos tecnológicos que hoy en día son señalados como los grandes culpables del cambio en las condiciones climáticas, también es cierto que la presencia humana ha sido un factor fundamental en la detonación de múltiples problemas de carácter natural así como la aceleración de diversos procesos del mismo orden. El factor tiempo ha sido decisivo en la concepción que se tiene del problema, pues lo percibimos tan alejado pese a que el problema no consiste sólo en alteraciones a futuro, pues ya se observan cambios resultantes de este proceso en el presente.

Temperatura Media Mundial

Global Mean Temperature

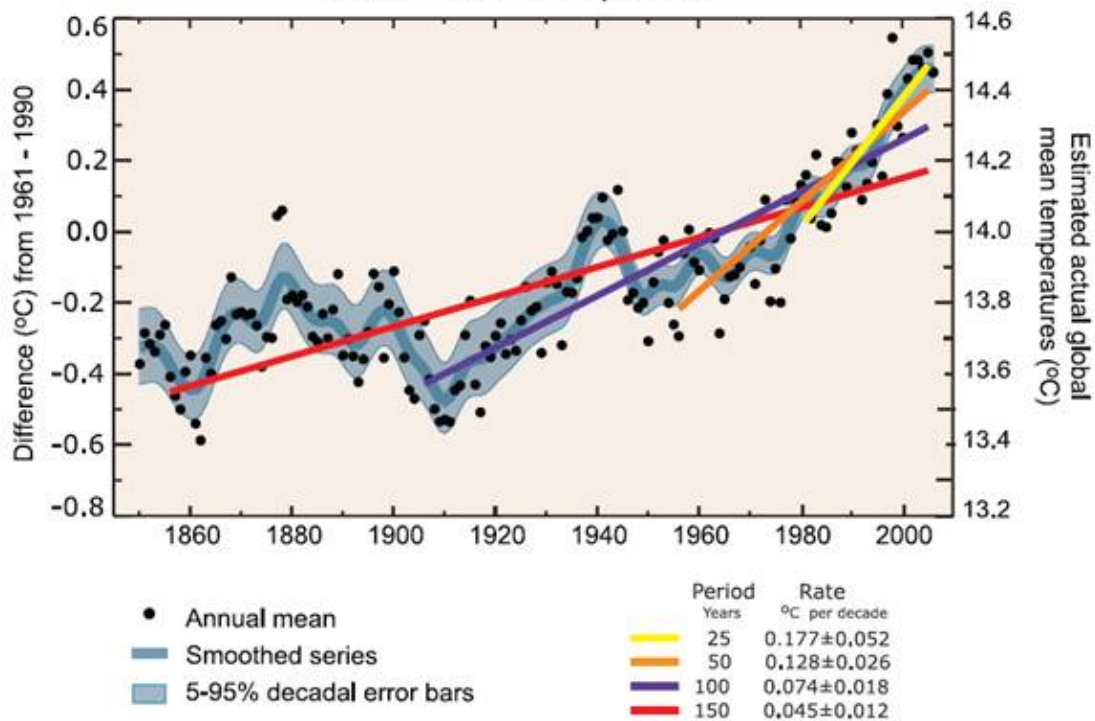


Figura 2.1 Temperatura Media Mundial. Fuente: Community Windpower. 2009



Figura 2.2 Reducción de los Glaciares del Ártico Community Windpower, 2009.

De acuerdo a las predicciones de científicos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), los principales impactos del calentamiento global son:

- 1) Incremento en la temperatura media del planeta. Fig. 2.1
- 2) Cambios en los regímenes de precipitación en diversas regiones del mundo.
- 3) Aumento en el número de tormentas tropicales e inundaciones.
- 4) Retiradas generalizadas de las capas de hielo polar y no polar, ocasionando con ello un aumento en el nivel medio del océano (fusión de los glaciares y capas de hielo del Ártico y el Antártico). Fig. 2.2
- 5) Incrementos en los peligros para la salud humana (cambios en la gama de enfermedades transmitida por vectores) en poblaciones de escasos recursos en zonas tropicales y subtropicales.
- 6) Reducción en la disponibilidad y calidad de alimentos.
- 7) Alteración de la productividad ecológica y la diversidad con riesgo creciente de modificación de hábitats y extinción de especies vulnerables.
- 8) Escasez de agua en muchas zonas del mundo y reducción de las reservas de agua potables disponible.
- 9) Disminución en los volúmenes de cosechas.
- 10) Cambios negativos en el sector comercial, medidos por cambios en el producto interno bruto (PIB) de naciones principalmente de escasos recursos y/o en vía de desarrollo (IPCC, 2002).

2.1.1 El efecto invernadero

El efecto invernadero es resultado de una alteración en el proceso regular del calentamiento de la tierra, en el que ciertos gases de la atmósfera permiten que los rayos solares penetren a la superficie de la tierra mientras que se absorbe y re-emite parte de esta radiación infrarroja que el planeta regresa al espacio exterior. Cuanto mayor es la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), menor es la cantidad de radiación infrarroja que sale del planeta. De esta manera, al aumentar la concentración de GEI, se incrementa la cantidad de

calor atrapado, en la atmósfera, dando origen a que se eleve la temperatura superficial del planeta.

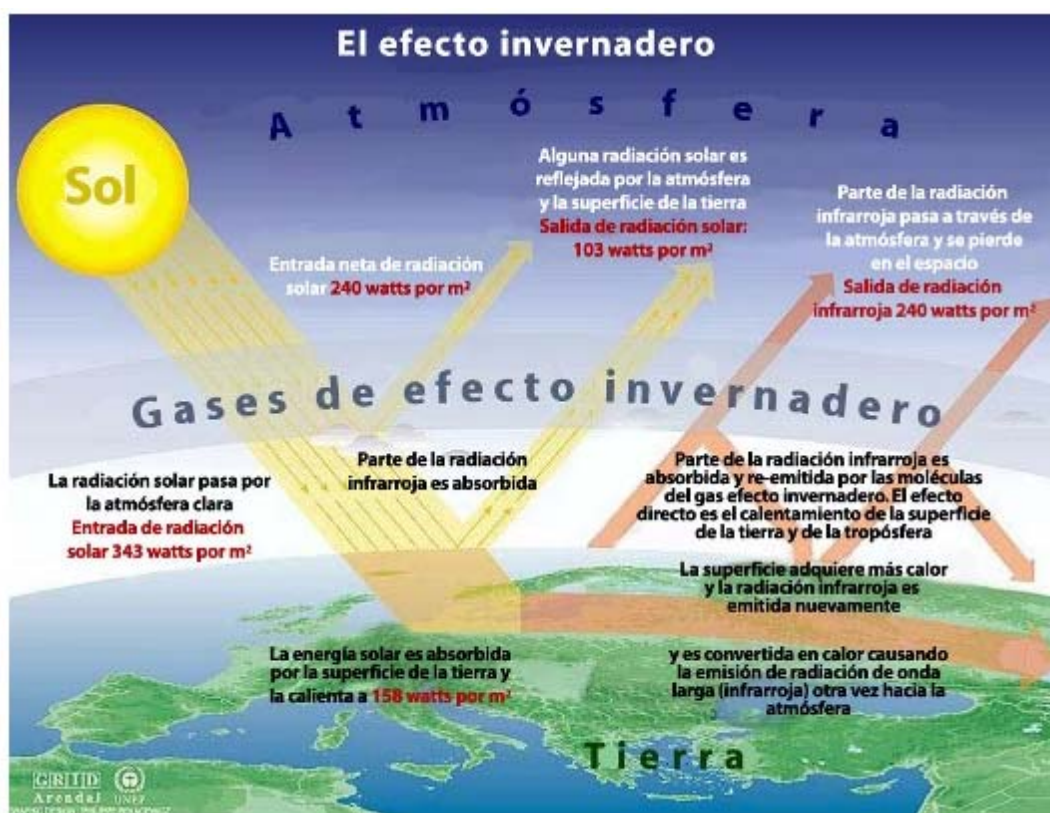


Figura 2.3 El efecto Invernadero. Fuente: Garduño, 2004.

Desde la era preindustrial se reconoce que las emisiones de GEI vienen en aumento y ejercen una presión sobre el sistema climático al cambiar la composición de la atmósfera. El estado resultante se expresa en un alza en las concentraciones de GEI, así como de la temperatura global promedio y sus efectos asociados (IPCC, 2001).

Las emisiones de GEI tienen su origen en la quema de combustible fósiles y oxidación de la biomasa residual que es producto de cambios en el uso de suelo por procesos de deforestación principalmente en selvas tropicales (Jaramillo, 2004), esto con el objeto de desarrollar actividades agropecuarias.

El bióxido de carbono (CO₂) es el principal gas que contribuye al incremento de la temperatura terrestre, por su capacidad para absorber radiaciones electromagnéticas de onda larga (Garduño, 2004). Este gas en particular, posee un tiempo de vida (residencia en la atmósfera) que va de décadas hasta cientos de años, por lo que los cambios en las concentraciones en la atmósfera responden lentamente con relación a las tasas de emisión.

2.1.2 Cambios climáticos naturales y de origen antropogénico.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término cambio climático sólo para referirse al cambio por causas humanas: Por "cambio climático" se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Las variaciones climáticas han existido en el pasado y existirán siempre a consecuencia de diferentes fenómenos naturales, como los cambios fraccionales en la radiación solar, las erupciones volcánicas y las fluctuaciones naturales en el propio sistema climático. Sin embargo, durante el último siglo, la temperatura media global ha aumentado 0,6°C, llegando a aumentar 1°C en Europa, lo que es un calentamiento inusualmente rápido.

El siglo pasado fue el más cálido, y la década de los 90 ha sido la más calurosa de los últimos 1000 años.

El calentamiento global, por su parte, es la manifestación más evidente del cambio climático y se refiere al incremento en el promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales. Existen un gran número de factores forzantes naturales responsables del cambio climático. Los más importantes incluyen los movimientos de las Placas Tectónicas, los eventos volcánicos, las corrientes oceánicas, los cometas y el Sol. La Tierra forma parte de todo lo

que se encuentra sobre ella y todo lo que la compone, forma parte de ella. Cualquier anomalía en un punto del planeta, tiene sus efectos a nivel global. Se pueden sentir de forma inmediata o a largo plazo, pero al final, todos influyen de un modo u otro en el clima, tal y como se describe en el denominado efecto mariposa un claro ejemplo de la teoría del caos, *"el clima es tan sensible a variaciones minúsculas que el débil golpe de las alas de una mariposa puede ser la causa de un huracán a miles de millas de distancia"*.

1. *Movimiento de las Placas Tectónicas*

Puede parecer ajeno al clima, pero el movimiento de los continentes también influye en el clima del planeta en el que vivimos. Cuando cambia el aspecto de la tierra, su posición, su forma. El viento, la lluvia, las corrientes oceánicas cambian.

2. *Actividad Volcánica*

Una erupción volcánica emite millones de toneladas de dióxido de sulfuro, vapor de agua y ceniza a la atmósfera. Todos estos materiales volcánicos no desaparecen del todo, sino que pueden cambiar los patrones climáticos durante años. Un claro ejemplo son los antecedentes históricos recientes en nuestro país de erupciones fue en el año 1982 en Chiapas, con la del volcán Loma Grande o Chichonal causando un desastre en la flora y fauna, ya que se cubrieron de ceniza 16 de los 17 municipios de Tabasco y gran parte del estado de Chiapas, según Protección Civil del Estado de Chiapas "los efectos de la ceniza fina en la atmósfera y troposfera, viajaron alrededor del globo terráqueo, provocando importantes cambios climáticos". Lo anterior puede explicarse porque los gases y ceniza volcánica pueden bloquear parcialmente los rayos del sol reduciendo la temperatura en los niveles más bajos de la atmósfera y cambiando los patrones de circulación atmosférica.

3. *Corrientes Oceánicas*

Los océanos componen una gran parte del sistema climático. Cubren casi un 71% de la Tierra y absorben alrededor del doble de la radiación del sol. Las corrientes oceánicas mueven grandes cantidades de calor por el planeta a través de canales. Algunas zonas del mundo se encuentran más influenciadas por las corrientes oceánicas que otras.

4. *Actividad Solar*

Debido a que el sol es la mayor fuente de energía de la tierra, cualquier variación en la frecuencia solar influye en nuestro clima. Los científicos han observado que el número de manchas solares sobre la superficie del sol, determinan las erupciones solares y cuantas más manchas, mayor es la energía solar que emiten. Aunque aún no se ha establecido una relación directa entre los cambios en la actividad solar y el cambio en nuestro clima, existen muchos datos que parecen corroborar esta teoría. (cambioclimático.org, 2010).

El planeta tierra, desde su formación se ha enfrentado a múltiples y diversos cambios y al igual que muchos animales ha sobrevivido hasta ahora gracias a procesos de adaptación. Según James Lovelock (2007) la vida en la tierra comenzó hace cuatro mil millones de años, estando cubierta casi en su totalidad por océanos, obligando al planeta a mantener una temperatura lo suficientemente alta como para que el agua no se congelara y pudiera así surgir la vida, pese a la abundancia de Dióxido de Carbono en la atmósfera, que logro reducirse solo hasta la aparición de procesos fotosintéticos; este panorama según Lovelock puede interpretarse como una especie de efecto invernadero al revés, que hizo que las primeras formas de vida se enfrentaran a un problema parecido al calentamiento global, sólo que para ellas la amenaza no era el calor sino el frio que podría llegar a un punto de congelamiento. Sin embargo, existen científicos escépticos que en los últimos años se han dedicado a explicar los múltiples beneficios que el cambio climático ha traído consigo a lo

largo de la historia de la humanidad, como lo es el surgimiento de la agricultura y la distribución de la población en zonas deshabitadas.

Existen incluso, quienes consideran a la biodiversidad como resultado de los cambios climáticos ocurridos a lo largo de la historia, de esta idea han derivado otras como el hecho de que una alta biodiversidad no sea altamente deseable y que deba ser protegido a toda costa, pues lo natural es que las especies evolucionen hacia un sistema más estable.

No obstante el periodo en el que nos encontramos actualmente acerca a la tierra a un punto de crisis, pues el sol es ahora más cálido de lo deseable y por lo tanto el calor que recibe la tierra es mayor que el que llegaba cuando surgió la vida, hace más de cuatro mil millones de años. El sol calienta ya demasiado y en algunos millones de años más, los mecanismos que ha diseñado la tierra para regular sus condiciones climáticas -vegetación terrestre y marina- serán insuficientes.

A pesar de que el clima cambia naturalmente como ya se explico, los expertos señalan que existen claras evidencias de que el calentamiento del planeta registrado en los últimos 50 años puede ser atribuido a los efectos de las actividades humanas.

Recurrente es en la actualidad escuchar en diversos medios, que los últimos años han sido los más calurosos de la Historia y los que están por venir rebasarán a los actuales, según los científicos. Estas son parte de las evidencias del llamado cambio climático al que nos enfrentamos hoy en día. Un equipo científico de la Universidad de Rutgers publicó recientemente en la prestigiosa revista Science (2009) un estudio preocupante, donde se confirma que el calentamiento global -causado por el accionar del hombre- está afectando gravemente nuestro hábitat. Sucede que en el último siglo y medio la actividad industrial humana ha ido influyendo en el clima sostenidamente, lanzando por ejemplo, miles de toneladas de diversos gases generadores de un potencial "efecto invernadero".

El autor de este estudio es un profesor de ciencias geológicas de Rutgers que, junto a su equipo, logró comprobar por medio de perforaciones y rastros geológicos que durante 5000 años el aumento del nivel del agua de mar fue constante, de un milímetro al año. Pero, desde hace unos 200 años, esa cifra comenzó a aumentar y hoy está en 2 milímetros anuales. El cambio se debe a que comenzó a incrementarse en forma sostenida la actividad industrial y el uso intensivo de combustibles fósiles que genera una gran cantidad de gases que contribuyen al efecto invernadero.

Por calentamiento global se entiende un incremento paulatino de la temperatura media de la atmósfera terrestre y de los océanos. En la práctica se habla de calentamiento global para referirse al calentamiento observado durante las últimas décadas. La denominación "calentamiento global" generalmente implica la actividad humana, por ello una denominación más neutral será, "cambio climático", usada normalmente para designar a cualquier cambio en el clima, sin entrar en discusiones sobre su causa. En cambio, para indicar la existencia de influencia humana a veces se utiliza el término "cambio climático antropogénico". Es necesario recalcar que calentamiento global y efecto invernadero no son sinónimos, más bien se cree que el efecto invernadero sería la causa del calentamiento global observado.

El ser humano es consciente de la situación en la cual se encuentra actualmente, no obstante, poco ha hecho al respecto; la era actual de confort y tecnología lo ha desensibilizado de su medio natural. Sin embargo las opiniones se encuentran cada día más divididas; en un extremo, se encuentran los que consideran que el cambio climático es parte de un gran ciclo normal del planeta, del otro lado están quienes aseguran que no cabe duda de que los cambios climáticos son provocados –directa o indirectamente- por el ser humano. Lo cierto es que un gran número de personas se niegan a aceptarlo, menos aún, están dispuestas a considerar que tienen alguna influencia en este proceso.

Incremento de la temperatura superficial del aire 1960-2060

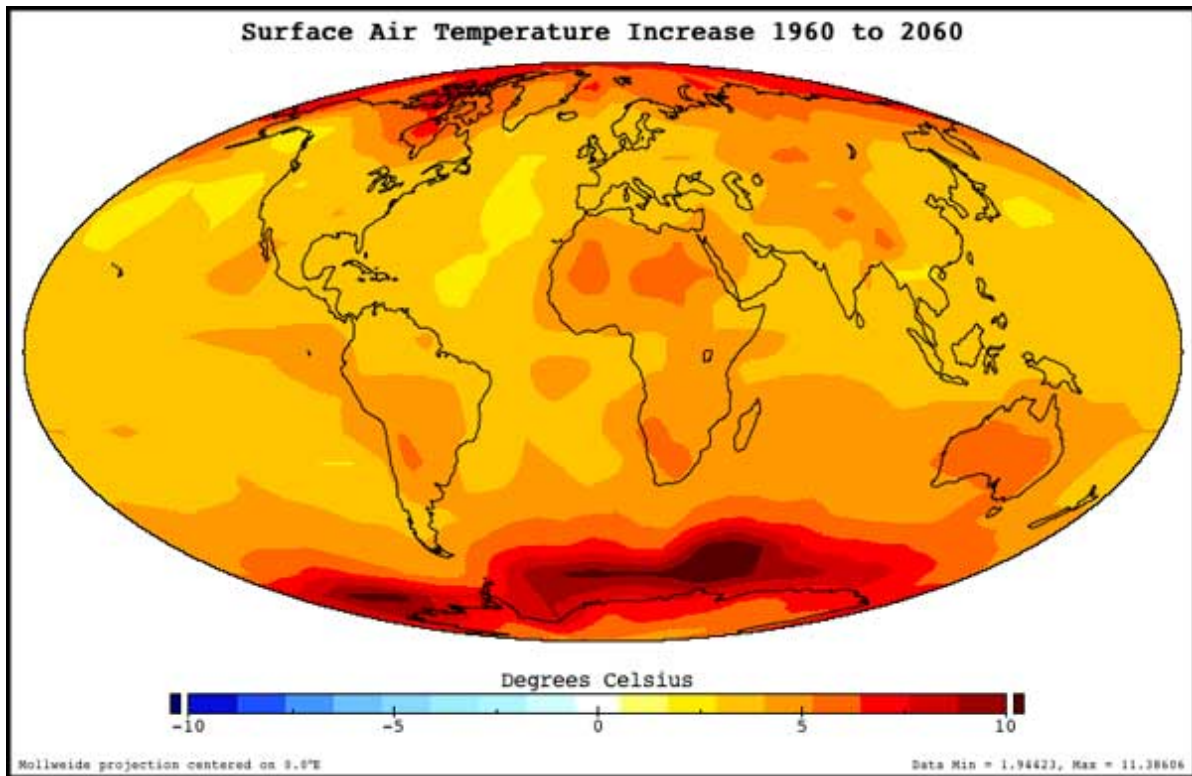


Figura 2.4 Incremento de la temperatura superficial del aire. NASA. 2006.

Haciendo a un lado las múltiples ideas y diversas opiniones generadas a partir de la situación actual del planeta, existen evidencias, imposibles de ignorar que si bien no cuestionan el origen natural o antropogénico del proceso, si exponen lo acelerado de este fenómeno, algunas de ellas son:

- Una elevación del dióxido de carbono en la atmósfera a un nivel superior al que hubo en los últimos ciento cincuenta años.
- Los hielos eternos han dejado de serlo: se están descongelando. Las capas de hielo del Ártico se adelgazaron entre 15 y 40% en los últimos treinta años.
- La temperatura mundial aumentó a un promedio de 0.6 C por encima de los registros de los últimos siglos.

- Los océanos se calientan y las costas se erosionan más. El 16% de los arrecifes de coral del mundo han muerto o agonizan.
 - Los esteros, lagos, lagunas y otros humedales se achican o desecan.
 - Aumentan las lluvias y las inundaciones.
 - Las estaciones del año han visto afectada su temporalidad.
 - Las plantas florecen antes de tiempo y las aves nidifican prematuramente.
- (cambioclimatico.org, 2010)

2.1.3 Origen de la problemática ambiental: El uso de combustible fósil y la explotación de sistemas naturales (deforestación).

El hombre, como agente de forzamiento externo del sistema climático ha influido de manera considerable en la distribución natural de los gases presentes en la atmósfera, principalmente a través de la emisión de gases de efecto invernadero que son emanados a partir del consumo y la producción de combustibles fósiles, los procesos de cambio de uso de la tierra y el desarrollo de la actividad agropecuaria.

Las actividades humanas han venido alterando el equilibrio existente en la naturaleza, desde el inicio de la Revolución Industrial en la segunda mitad del siglo XVIII, fundamentalmente por el empleo de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) que producen dióxido de carbono, la destrucción de bosques que libera el carbono que almacenaban en el suelo, así como por la cría extensiva de ganado y grandes plantaciones de productos como el arroz que generan importantes cantidades de metano.

Las emisiones de dióxido de carbono (principalmente proveniente de la combustión de carbón, petróleo y gas natural), metano y óxido nítrico (debido principalmente a la agricultura y a los cambios de uso de suelo), el ozono y los gases industriales de larga vida

como los clorofluorocarbonos (CFC), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) están provocando un incremento acelerado del efecto invernadero.

En la actualidad el dióxido de carbono es el responsable de más del 60% del aumento del efecto de invernadero. Este gas, existe de forma natural en la atmósfera, pero la quema de carbón, petróleo y gas natural, está liberando el carbono almacenado en esos combustibles fósiles los que son a su vez las principales fuentes de energía a nivel global, siendo el dióxido de carbono la fuente individual más grande de emisión de gases de efecto invernadero derivado de actividades humanas.

La mayor parte de las emisiones asociadas al uso de energía tienen lugar cuando de los combustibles fósiles son quemados. El petróleo, el gas natural y el carbón son las fuentes de gran parte de la energía usada de forma cotidiana en la generación de electricidad, transporte, calefacción doméstica y energía industrial. Si el combustible se quema completamente, el único subproducto que contiene carbono es el dióxido de carbono, pero la combustión a menudo es incompleta, así que también genera otros subproductos como el monóxido de carbono y otros hidrocarburos.

La deforestación es la segunda fuente más grande de dióxido de carbono. Cuando se talan los bosques (para los diversos fines de aprovechamiento del suelo: agricultura, construcción, industria y explotación forestal) la mayor parte del carbono que se genera en la quema y descomposición de los árboles escapa a la atmósfera. Hay gran incertidumbre científica sobre las emisiones provenientes de la deforestación pero se estima que las emisiones anuales de la actualidad representan prácticamente el 100% de la masa total de dióxido de carbono existente en la atmósfera.

El segundo gas de efecto invernadero importante, es el metano; que ha duplicado sus niveles en la atmósfera, a partir de la era industrial. Sin embargo las fuentes principales de este gas

de efecto invernadero están en las actividades agrícolas, en particular, la plantación de arroz de regadío y la expansión de cría de ganado. Las emisiones de los vertederos de desechos, las emisiones que escapan de las minas de carbón y de la producción de gas natural también son factores que contribuyen a este aumento.

Durante la última década casi un 45 por ciento de las emisiones antropogénicas han permanecido, en la atmósfera, el resto ha sido absorbido por los ecosistemas oceánicos y terrestres.

2.2 Acciones en contra del cambio Climático

2.2.1 Organizaciones detrás del Cambio Climático

Múltiples y diversas, son las organizaciones que en la actualidad tienen como objeto la investigación del tema del cambio climático así como la búsqueda de la reducción de gases de efecto invernadero mediante la puesta en práctica de diversos proyectos.

Al detectar el problema del cambio climático, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en 1988.

La función del IPCC consiste en analizar, de forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo. El IPCC no realiza investigaciones ni controla datos relativos al clima u otros parámetros pertinentes, sino que basa su evaluación principalmente en la literatura científica y técnica revisada por homólogos y publicada (ONU, 2000).

El IPCC consta de tres Grupos de trabajo y un Equipo especial:

- El Grupo I evalúa los aspectos científicos del sistema climático y el cambio climático.
- El Grupo II evalúa la vulnerabilidad de los sistemas socioeconómicos y naturales al cambio climático, las consecuencias negativas y positivas de dicho cambio y las posibilidades de adaptación al mismo.
- El Grupo III evalúa las posibilidades de limitar las emisiones de gases de efecto invernadero y de atenuar los efectos del cambio climático.
- El Equipo especial sobre los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero se encarga del Programa del IPCC sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Con el fin de hacer frente al cambio climático, las naciones reunidas en la Cumbre de Río realizada en Brasil en el año de 1992, tomaron la decisión de emprender medidas relevantes que permitieran en el mediano y largo plazo, regular y reducir las concentraciones de GEI y de esta manera estabilizar y mitigar los posibles impactos sobre los ecosistemas, el hombre y el sistema socioeconómico por un cambio abrupto del sistema climático global.

Para dichos efectos se creó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC) la cual tiene como objetivo "La estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema global; ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permita que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible" (Naciones Unidas, 1992).

En la Convención, existen tres niveles de compromiso para dos agrupamientos de países. El primer agrupamiento lo constituyen las Partes incluidas de los Anexos I y II de la Convención. El Anexo I está conformado por los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) hasta 1992 (Europa, América del Norte y

Japón principalmente) y los países de Europa Central y del Este con economías en transición a economías de mercado. Estos son los únicos países que asumen compromisos cuantitativos de reducción y estabilización de emisiones a los niveles presentes en 1990. El Anexo II, lo constituye un subconjunto de países donadores miembros de la OCDE. Estos países deben facilitar recursos a los países en desarrollo constituido por todas las demás Partes (economías emergentes y países en vía de desarrollo), para que emprendan esfuerzos de .

Complementariamente se creó un mecanismo enérgico y jurídicamente vinculante entre las Partes, denominado *El Protocolo de Kyoto*, ratificado el 16 de febrero del 2005, considerado el tratado mundial más ambicioso en defensa del medio ambiente.

En el mundo, se emiten unas 600.000 toneladas de dióxido de carbono al año. Una cifra que crece sin freno debido al estilo de vida humana, basada en el consumo de combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón o el gas.

El Protocolo de Kyoto, pide a los países industrializados incluidos en el Anexo I, (excepto Estados Unidos que no participan), reduzcan sus emisiones de GEI (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbono y hexafloruro sulfúrico), en aproximadamente un 5 % por debajo de los niveles de 1990 para el periodo 2008 – 2012. Sobre todo, del hemisferio norte, donde se encuentran los países desarrollados –no obliga a los países del hemisferio sur o subdesarrollados- sin embargo cada país, tiene una cuota diferente. El Protocolo, permite que los participantes deduzcan las emisiones en sus países de origen y/o beneficiarse de los llamados mecanismos flexibles (Comercio de Emisiones, la Aplicación Conjunta y el Desarrollo Limpio) así como contabilizar el carbono capturado por los llamados sumideros como los bosques o las tierras de cultivos (UNFCCC, 1997).

Fuera de los mecanismos de Implementación Conjunta y Comercio de Emisiones que promueven el desarrollo de proyectos de reducción de emisiones, la captura de GEI y

comercialización de certificados de reducción de emisiones entre países del Anexo I, llama la atención los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL). El MDL abre la posibilidad de que países del Anexo I se beneficien de proyectos de mitigación o de captura de carbono. De los tres mecanismos incluidos, el MDL es el único que prevé la participación de los países en desarrollo, de ahí el gran interés que despierta en países subdesarrollados como los de Latinoamérica.

2.2.2 Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL)

En las últimas décadas ha surgido un interés considerable por reducir el contenido de CO₂ en la vegetación terrestre mediante la conservación forestal, la reforestación, la agroforestería y otros métodos de manejo del uso de suelo. Numerosos estudios han demostrado el gran potencial que poseen los bosques y los agroecosistemas para almacenar carbono.

Durante el Acuerdo de Marrakech en el 2001, como parte del proceso de negociación de acuerdos entre las Partes de la Convención, un número de proyectos forestales e iniciativas de manejo del suelo fueron incluidos en el Protocolo de Kyoto, como mecanismos de mitigación. Se determinó que estos pueden cumplir un importante papel para facilitar la captura de CO₂ de cara al cambio climático. Organizaciones a nivel mundial como The World Bank (WB), The World Conservation Union (IUCN) y la UNEP, han resaltado que los bosques y las actividades de manejo sustentable de uso del suelo como la agroforestería, administradas bajo el Protocolo de Kyoto son pertinentes social y ambientalmente como estrategia de mitigación. De acuerdo a lo anterior un grupo de 39 países industrializados pertenecientes al Anexo I, pueden usar este tipo de acciones para contrarrestar sus emisiones durante el primer periodo de implementación del Protocolo (periodo 2008 – 2012). Los países en desarrollo han visto en el sector forestal y sus múltiples variantes, una opción de gestión de recursos a nivel internacional para formular, implementar y desarrollar

proyectos que promuevan la sostenibilidad y contribuyan a la mitigación del cambio climático. Los proyectos forestales generados dentro de la modalidad de créditos de CO₂ pueden ser negociados con los países industrializados bajo los MDL, siempre y cuando se incluya: (Auckland et al., 2002)

1. Los proyectos deben producir remociones de emisiones reales, medibles y de largo plazo.
2. Delimitación específica del proyecto y definición clara de la línea base.
3. Las reducciones de emisiones de carbono debe ser adicional a lo que hubiera ocurrido en ausencia del proyecto. Deben tener un resultado neto de reducción o fijación de CO₂ atmosférico en el balance final. A esto se lo llama adicionalidad y es calculado comprando los flujos y stock de carbono de las actividades del proyecto, con las que hubiera ocurrido en ausencia del mismo o línea base.
4. Los proyectos deben cumplir con los objetivos del desarrollo sostenible establecidos por el país donde se formula el proyecto.
5. Los proyectos forestales bajo el MDL, deben incentivar el manejo de medio ambiente, los recursos naturales y la conservación de la biodiversidad. Para ello dentro de la formulación de los proyectos se deberá tener en cuenta políticas adoptadas en acuerdos como La Convención de Diversidad Biológica, Panel Intergubernamental de Bosques, Convención de Humedales de Importancia Internacional (RAMSAR), entre otros.
6. Solo áreas que no fueron ocupadas por bosques hasta 31 de diciembre de 1989 podrán cumplir con las definiciones de forestación y reforestación para los MDL.
7. Cada proyecto deberá considerar en su plan de manejo las potenciales fugas; es decir las potenciales emisiones de CO₂ que pueden ocurrir fuera de los límites del proyecto como consecuencia de las actividades del mismo.

8. Los proyectos MDL deben tener un plan de monitoreo para recolectar datos exactos sobre emisiones. El plan de monitoreo que constituye la base de verificación futura, debe proporcionar certeza de que las reducciones de emisiones se realizan y que los otros objetivos del proyecto están siendo alcanzados.

9. Se debe tener claramente identificados los impactos socio-económicos y ambientales que genera el proyecto, en las comunidades involucradas. En el caso que el proyecto identifique impactos negativos por las actividades planteadas, debe explicar claramente a la autoridad ambiental del país anfitrión del proyecto, que medidas tomará en cuenta (estudio de impacto y manejo ambiental); y deberá recibir la respectiva aprobación.

La investigación en cambio climático y uso de la tierra en los trópicos, se ha enfocado principalmente en el análisis de los impactos de la deforestación y los efectos del uso de la tierra en las emisiones de gases de efecto invernadero y de carbono. Sin embargo, se han hecho algunos estudios para tratar de cuantificar el potencial del uso Sostenible de la tierra para capturar y acumular dióxido de carbono en los ecosistemas tropicales.

En el marco del Mecanismo para un Desarrollo Limpio, los países subdesarrollados han encontrado en su objeto la posibilidad de contribuir a la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, mediante el pago de servicios ambientales de diversas índoles; y un sector productivo que se ha visto altamente beneficiado con ello, es el cafetalero, que ha comprobado sus altas contribuciones en beneficio del cambio climático, mediante los sistemas agroforestales en los cuales se desarrolla la actividad. Específicamente hablando de los sumideros de carbono. (Pineda, 2005)

El Potencial de los cafetales en el ofrecimiento de servicios ambientales, fundamentalmente los servicios ecosistémicos se expresan plenamente en los usos de la tierra con bosques naturales, plantaciones forestales y sistemas agroforestales. En particular el uso de la tierra

con plantaciones de café ofrece ventajas iniciales que otros cultivos (anuales) no tienen. Los cafetos son especies leñosas y como tales, fijan y mantienen retenida una importante cantidad de carbono, los sistemas de siembra permiten una cobertura y amarre significativo (aunque no totalmente) del suelo. Sin embargo la mayor expresión y magnificación de los servicios ambientales se logra cuando la producción de café se desarrolla en sistemas agroforestales, es decir la importante relación que existe entre el cafeto y la cubierta forestal.

Los árboles en diferentes usos de la tierra son responsables, de manera directa e indirecta, por la fijación y almacenamiento del carbono atmosférico, constituyéndose en el principal organismo vivo de importancia estratégica para programas que buscan mitigar los efectos de gases invernadero. Los árboles podrían constituir la base mayor de interés de los mercados de carbono bajo el esquema MDL, a un horizonte de 20 años.

Se ha observado que el mayor reservorio de carbono en la biomasa de la vegetación de los sistemas agroforestales con café está en los árboles que constituyen la sombra, llegando a hasta el 35% del carbono almacenado en el sistema.

Para los efectos del mercado de carbono, se ha estandarizado la cuantificación en el carbono almacenado en el fuste del árbol, más un factor de expansión para las ramas y hojas que forman la copa y que aunque tiene un horizonte de retención menor en forma individual, siempre constituirán parte integral del árbol.

Los bosques de pino son reconocidos como sistemas importantes en servicios ambientales, el almacenamiento y la captura de CO₂, son sólo algunos de ellos. Sin embargo, existen sistemas agroforestales que pueden tener la misma función ambiental que muchos de los bosques manejados. Los cafetales con sombra son sistemas agroforestales con alto potencial para ser incorporados en la venta de almacenamiento y captura de CO₂. Formando así, parte de las medidas. Que fungen como estrategias para disminuir la tasa de emisión de CO₂.

CAPÍTULO III. EL CULTIVO DE CAFÉ

3.1 Antecedentes del cultivo de café en México y Chiapas

De su origen

Múltiples y diversas son las historias que existen en relación al origen del café; una de ellas dice que por el año de, 1140 en Abisinia (actual Etiopia), unos pastores se dieron cuenta que sus cabras se ponían muy inquietas y se dieron a la tarea de investigar el por qué, y descubrieron que comían unos frutos rojos que se daban en unas matas. Los pastores tomaron los frutos y prepararon una bebida caliente para protegerse del frío nocturno del desierto. Se dice que esa bebida es lo que conocemos hoy en día como café.

Otra de las más conocidas leyendas, dice que un pastor llamado Kaldi conducía a su rebaño en Etiopía. Un día las cabras encontraron unos cafetos, comieron sus bayas y masticaron las hojas. Llegada la noche las cabras en lugar de dormir se pusieron a retozar alegremente y mantuvieron la energía toda la noche.

Cuenta otra leyenda que los monjes capuchinos tomaron los frutos y las hojas de la misteriosa planta e hicieron con ellas una cocción. Para obtener esa infusión el jefe de la comunidad secó en la llama los granos, que sufrieron su primer tueste y así nació el café como tal. Llamaron a esta bebida Kawa (significado de café en árabe).

De su distribución al mundo

Cuando los turcos conquistaron Arabia, el café pasó a su poder, quienes lo difundieron en Europa en donde hacia 1600 d. C. surgieron los primeros cafés públicos, sin embargo el cultivo seguía en manos de los árabes.

Los primeros registros de compraventa de café proceden de Venecia en 1645, ciudad que sostenía un intenso comercio con los pueblos árabes, siendo hasta el reinado de Luís XIV que el café se introdujo en las cortes europeas gracias al entonces embajador de Persia en Francia, Salma Aga; y es a partir de entonces que el café se convierte en una bebida muy importante en la vida diaria de los pueblos de occidente.

De su llegada a América

Hacia 1714, se introdujeron las primeras semillas a América, plantándose por primera vez el café en Martinica y a algunos años después se introdujo en Brasil de donde se extendió al resto del continente en el siglo XVIII .

De Martinica se extendió por las Antillas, Suramérica y Centroamérica.

De su llegada a México

A México llegó de Cuba por un lado y de Guatemala por otro. En el caso de México se menciona al español Antonio Gómez de Guevara como importador de cafetos variedad arábica típica provenientes de Cuba, que luego plantó en la región de Córdoba en el estado de Veracruz.

De su introducción a nuestro país a la fecha México siempre ha estado ubicado como uno de los cinco principales productores a nivel mundial, así mismo el café producido es reconocido por su alta calidad, virtud otorgada por las favorables condiciones agroecológicas que influyen en su desarrollo, como lo es la topografía, altura, situación climática y los suelos en que es cultivado. México a nivel mundial ocupa el quinto lugar como país productor después de Brasil, Colombia, Indonesia y Vietnam, con un volumen de producción que oscila entre los 4 a 5 millones de sacos por año.

En México el café se cultiva en 12 estados: Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Colima, Jalisco, Querétaro, Tabasco. Donde la época de recolección del café inicia en el mes de septiembre y concluye en el mes de marzo del siguiente año. (SAGARPA, 2007)

El café ocupa el primer lugar como producto agrícola generador de divisas y empleos en el medio rural. Por las características del cultivo emplea para sus labores de limpia, cosecha y beneficiado del grano, tanto a mujeres como hombres y niños desde muy temprana edad.

En México el cafeto se cultiva desde la frontera con Guatemala hasta el estado de Nayarit, con diferencias ecológicas muy marcadas.

El sistema de plantaciones de café en nuestro país es bajo sombra, propiciando con ello la conservación del medio ambiente, la flora y fauna, mantos acuíferos, y servicios adicionales poco conocidos anteriormente, como lo es captura de carbono.

Clasificación botánica del café

Reino:	Vegetal
División:	Espermatophitas
Clase:	Dicotiledoneas
Orden:	Rubiales
Familia:	Rubiaceas
Género:	<i>Coffea</i>
Especie:	<i>Arábica, Canephora y líberica</i>

Fuente: Instituto Mexicano del Café, 1990

Hay una gran diversidad de especies de café, las más conocidas para nosotros por ser las que encontramos en nuestro continente son la *Coffea arabica* (café arábica) y la *Coffea canephora* (café robusta).

En México se producen, hasta ahora, un 96% de café arábica y un 4% de café robusta. El café arábica, tiene mayor valor en los mercados nacional e internacional. Produce una bebida suave, con gran aroma y acidez y un cuerpo mediano, agradable bouquet y exquisito sabor. Cada una de sus variedades confiere a la taza características diferentes. Algunas de las variedades de esta especie son: *typica*, *bourbon*, *mundo novo*.

El café de Chiapas

A Chiapas se presume que el café llegó a través de la región del Soconusco, proveniente de Guatemala en 1820. Los estudios filogenéticos modernos esclarecen el orden y distribución de la especie *Coffea arabica*, de la familia de las rubiáceas, hoy en día esta especie continúa siendo la de mayor importancia pese a que han surgido otras muchas variedades en el mundo.

De acuerdo con el Consejo Mexicano del Café, de los 12 estados productores, Chiapas ocupa el primer lugar a nivel nacional. La variedad de café que más se produce en el estado (y en México) es la denominada "arábica" (*Coffea arabica*), la cual se cultiva casi en su totalidad en pendientes escarpadas, bajo árboles de sombra y con un uso muy limitado de agroquímicos, características que lo hacen un cultivo ambientalmente verde por excelencia.

En Chiapas la mayor parte de los productores son ejidatarios (muchos de ellos pertenecientes a etnias indígenas) que siembran el café en superficies menores a las dos hectáreas, lo cual refleja que se trata de un cultivo preponderantemente de interés social.

Algunos números que reflejan la importancia de este cultivo para Chiapas son los siguientes: El censo cafetalero de 2002 indica que la superficie sembrada con café es de 228 mil 254 hectáreas que representan aproximadamente el 30% nacional.

Chiapas es también el principal productor nacional de café orgánico, lo cual sitúa a México como el primer productor mundial de este tipo especializado.

Es así como, la derrama económica y los beneficios sociales que produce el café en Chiapas son de la mayor envergadura, tanto por la captación de divisas que se obtienen a partir de las exportaciones, como por los miles de empleos que se generan con su cultivo, procesamiento y comercialización, siendo la cadena productiva de este cultivo una de las más sólidas del país.

Todo lo anterior, sin menoscabar los grandes beneficios ambientales que se derivan del café, en particular la conservación de los suelos, la flora y la fauna, y el papel fundamental que tienen los cafetales como pulmón ambiental con la generación de oxígeno y la fijación de carbono.

3.2 Sistemas de producción y su problemática

Como se mencionó en el apartado anterior, el cultivo y la producción de café se ha extendido a lo largo de 12 estados de la República Mexicana, por lo que cada una de las regiones muestra condiciones potenciales para su producción.

Según Fuentes-Flores (1979) y Nolasco (1985), en México se distinguen cinco sistemas de producción principales, según el nivel de manipulación o manejo al cual se expone el ecosistema original y según el grado de complejidad estructural de la vegetación.

- **El Sistema Rusticano Tradicional o de Montaña.** Se conoce por "rusticano" o de "montaña" aquel sistema de producción en el cual simplemente se sustituyen las plantas (tanto arbustivas como herbáceas) que crecen en el suelo del bosque tropical y/o templado por arbustos de café. Este sistema afecta mínimamente el ecosistema forestal original, pues sólo elimina el estrato inferior. Esto implica que se conserva la cubierta vegetal original, bajo la cual se implantan los cafetos.
- **El sistema de Policultivo Tradicional.** El segundo tipo de plantación de café de sombra constituye la etapa más avanzada de la manipulación del ecosistema forestal nativo.

Igual que en el caso anterior, el café se introduce bajo la cubierta del bosque original pero en forma distinta ya que aquí el café se cultiva junto a numerosas especies de plantas beneficiosas de tal modo que existe un sofisticado manejo de especies nativas o introducidas (por ejemplo, favoreciendo o eliminando el crecimiento de ciertas especies de árbol). De este sistema nace un exuberante "huerto de café" con gran variedad de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas naturales y cultivadas.

- **El Sistema de Policultivo Comercial.** La eliminación total de los árboles del estrato superior del bosque original y la introducción de una serie de árboles de sombra apropiados para el cultivo del café constituye el tercer sistema que aquí se reconoce. La cubierta forestal de este tipo de cultura ya no consiste en los árboles originales que antes crecían en el emplazamiento del cafetal sino en especies arbóreas las cuales se utilizan porque se consideran como árboles de sombra adecuados (como por ejemplo, las muchas plantas leguminosas que agregan nitrógeno al suelo) o porque son útiles para algunos fines comerciales. En estos casos, los árboles no nativos (o favorecidos) tales como el hule (Castilla elástica), la pimienta de Chiapas o Tabasco [malagueta, pimienta de Jamaica, pimienta chapa] (*Pimenta dioica* sp), el cedro (*Cedrela odorata*), el jiniquil (*Inga spp*), chalahuite (*Inga spp*) o el colorín (*Erithtuna spp*), componen la cubierta arbórea sobre parcelas de policultura donde se cultiva el café, los cítricos, el banano y otros cultivos comerciales.

- **El sistema de Monocultivo bajo Sombra.** Este sistema, al igual que el quinto tipo, es uno de los sistemas modernos introducidos en México hace dos décadas. En este caso se utilizan árboles leguminosos (especies de *Inga*) casi con exclusividad y predominio con objeto de arrojar sombra a los cafetos. De esta manera se crea un tipo de plantación mono específica bajo una cubierta de copas igualmente especializada. En este sistema el uso de productos agroquímicos es una práctica obligatoria y la producción va dirigida a la creación

de productos orientados exclusivamente hacia el mercado. Las variedades sembradas son: arábica y robusta (en mínima proporción).

- **El sistema de Monocultivo sin sombra.** Esta modalidad representa un sistema de carácter totalmente agrícola, desprovisto del carácter agroforestal que se evidencia en los sistemas anteriormente citados, ya que no dispone de cubierta arbórea alguna y los arbustos de café se encuentran expuestos al pleno sol. Este tipo de cafetal se ha convertido en una plantación especializada cuyo sistema de producción de café requiere un alto grado de insumos y fertilizantes químicos y plaguicidas, el uso de maquinaria y mano de obra intensiva a lo largo del ciclo anual. Bajo este sistema se alcanza el rendimiento más alto por unidad de superficie. Al igual que en el sistema de monocultivo bajo sombra, las variedades sembradas son: arábica y robusta (en menor proporción).

3.2.1 Sistemas de policultivo de café: Sombra

En México, el café se produce fundamentalmente en las vertientes de las cadenas montañosas del centro y sur del país, bajo la cubierta del dosel de los árboles. De los cerca de 400 municipios cafetaleros mexicanos, un gran porcentaje se localizan en zonas ecológicas tropicales húmedas (selvas altas y medianas) y subhúmedas (selvas bajas) y un 20 por ciento en las zonas de bosques mesófilos o de neblina. En México podemos distinguir dos grandes sistemas de producción: el café bajo sombra y el café a pleno sol. En el café bajo sombra tenemos el policultivo tradicional y el policultivo comercial. En el policultivo tradicional el café se introdujo debajo de los bosques y selvas originales y se acompañó de plantas útiles que dan como resultado lo que algunos autores llaman "los jardines de café" por la gran variedad de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas tanto de la vegetación natural como cultivada. En este sistema alcanza su máxima expresión la cultura milenaria de las comunidades indígenas.

En el sistema de policultivo comercial fueron introducidos una serie de árboles de sombra apropiados para el cultivo del café. En este sistema vemos que la cobertura forestal ya no se encuentra integrada por los árboles originales que habitaban el lugar sino por especies arbóreas introducidas que se emplean por considerarse más adecuadas como árboles de sombra como es el caso de las leguminosas que añaden nitrógeno al suelo y por tener una utilidad comercial. Generalmente son plantaciones homogéneas, sólo se utiliza una variedad de cítricos u otros frutales, -algunos otros ejemplos son la pimienta y el hule-, por lo que se considera una biodiversidad menor a la de los jardines del café.

El café a pleno sol está expuesto directamente sin ninguna cobertura de árboles que le den sombra. En este sistema se pierde el carácter agroforestal, se erosionan los suelos, debido a la pérdida de humedad y nutrientes contenidos en él y para recuperar su fertilidad el café requiere mayor cantidad de agroquímicos, que además de ayudar a recuperar su carácter fértil, permiten la obtención de altos rendimientos de la planta.

La dicotomía entre el café mexicano de sombra y no sombra es importante. Sin embargo, en México hay una amplia gama de sistemas de café de sombra, desde monocultivos de sombra hasta sistemas de policultivos de sombra rústicos y tradicionales muy diversos. La producción del café de sombra como monocultivo no apoya niveles altos de biodiversidad. Los sistemas comerciales de policultivo de café ofrecen mayores rendimientos económicos que los tradicionales con menores niveles de biodiversidad.

En los sistemas tradicionales (o rústicos) y los sistemas tradicionales de policultivo, gran parte de la cubierta vegetal original permanecen *in situ* en los campos, con lo que producen un agroecosistema que sustenta mucho más biodiversidad que otros sistemas de café de sombra menos diversos.

La biodiversidad de la flora en los sistemas rústicos tradicionales y los sistemas tradicionales de policultivos es muy alta.

La riqueza de especies que se encuentra en los sistemas de café parece estar relacionada con la altitud y la clase de bosque natural de la región.

La selección de las variedades de árboles de sombra y la cantidad de la diversidad de los árboles de sombra son factores importantes en la creación de un agroecosistema que es atractivo para la fauna.

La riqueza de las especies de aves en los sistemas tradicionales de café de sombra en México ha resultado mayor que en algunos bosques naturales.

Se estima que en México entre 60 y 70 por ciento del café se produce en agro bosques de policultura tradicional y comercial (Sistemas 1, 2 y 3), entre 20 y 30 por ciento en el sistema de mono cultura bajo sombra y un 10 por ciento al sol.

El cultivo en México se divide en 4 regiones:

I.San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, Puebla, Veracruz, parte de Oaxaca y Tabasco.

II.En los estados de Colima, Guerrero, Jalisco, Nayarit y parte de Oaxaca.

III.Región del Soconusco, que es una parte de Chiapas región que produce un importante volumen de café orgánico.

IV.Centro y norte de Chiapas.

En México se utiliza y recomienda el sistema de cultivo de café bajo sombra. Las ventajas del mismo son múltiples, y van desde las necesidades eco-fisiológicas de la planta, generación de energía (leña), hasta la de cumplir con requerimientos del mercado en temas ambientales, como protección de suelos y recursos hídricos, conservación de flora y fauna, entre otros.

1. Funciones de la sombra:

a. Protege la plantación de la acción directa de los rayos de sol, lo que disminuye la pérdida de agua del suelo y de la planta de café.

- b. Regula la temperatura de la plantación y del suelo, esto permite un adecuado desarrollo del follaje y raíces, mejorando el aprovechamiento de los elementos nutricionales.
- c. Reduce la erosión del suelo y disminuye la población de malezas.
- d. Incrementa la cantidad de materia orgánica en el suelo, mejorando los niveles de fertilidad.
- e. Protege la plantación de la acción directa de los vientos.

2. Características deseables de los árboles de sombra:

- a. Buen crecimiento.
- b. Larga vida
- c. Compatibilidad con el cultivo de café
- d. Crecimiento rápido
- e. Árboles de copa extendida para que permitan buena filtración de luz
- f. Sistema radicular profundo
- g. Resistente a vientos.
- h. Regeneración rápida de ramas y hojas.
- i. Que mantengan el follaje durante todo el año.
- j. Fácil manejo para la formación de ramas horizontales.

3. Tipos de árboles de sombra:

- a. *Provisionales*: se usan para proteger a la plantación de café durante el primer año de su establecimiento. Las plantas usadas son *crotalaria*, *gandul* y *tephrosia* que son sembradas sobre el camino a un metro de distancia.
- b. *Temporal o semi - permanente*: plantas de crecimiento rápido, que brindan sombra a la planta de café durante los primeros cuatro años de establecimiento de la plantación, mientras se desarrolla la sombra permanente, las plantas que se utilizan son *higüerillo*, *cuernavaca*,

musas (plátano) y *baraja*. El distanciamiento de estas especies varía entre 4 x 4 metros a 6 x 6 metros.

c. *Sombra definitiva o permanente*: plantas que por sus hábitos de crecimiento y longevidad, conviven con los cafetales, proporcionándoles sombra durante todo el ciclo productivo. Generalmente se utilizan leguminosas del género *Inga*. La densidad depende del tipo de suelo (textura, fertilidad, contenido de materia orgánica) clima, altitud, topografía y el manejo cultural del cultivo; de tal forma que las distancias varían de 6 x 8 metros a 12 x 12 metros dependiendo de la especie del árbol y el clima donde se encuentra el cafetal.

4. Épocas de manejo de sombra:

a. *Primera época*: en los meses de enero-marzo, cuando se va a renovar la plantación de café o podar el cafetal en sistema de bloque compacto, debe aprovecharse para estandarizar la altura de árboles de sombra mediante corte del fuste a una altura de 4 - 5 metros. En esta época también debe efectuarse deshije (arrancar retoños a las plantas para que unas y otras se desarrollen mejor) y aclareo de árboles con el propósito de mejorar la penetración de luz en áreas muy densas.

b. *Segunda época*: al inicio de las lluvias (mayo-junio) se realiza la poda de mantenimiento con el propósito de obtener una buena penetración y distribución de luz dentro del cafetal. Los árboles jóvenes deben podarse con el objetivo de darles la forma adecuada. Si bien todavía existe alguna discusión entre los expertos sobre la necesidad de la sombra para el cultivo del café, es preciso indicar que la tendencia moderna es hacia la no utilización de plantas de sombra, y la inmensa mayoría de las nuevas plantaciones son efectuadas sin esta. Es un hecho comprobado que el café produce invariablemente mayores rendimientos sin plantas de sombra. Hay que hacer notar, por otra parte, que en el caso particular de utilizar plantas de sombra tendrían que: a) ser productivas, b) poseer similares necesidades de agua y nutrientes ya que de otro modo se originaría un desequilibrio entre el café y estas plantas.

En el caso de utilizar sombra debemos anotar que, en general, el café necesita menos sombra cuando el suelo es mejor y cuando la humedad del aire es más alta. El efecto de la sombra es indirecto, pero está de acuerdo con el comportamiento ecológico de las plantas de café. Por esta razón es necesario que la poda de los árboles de sombra, en aquellas regiones en donde las condiciones del tiempo cambian apreciablemente a través del año, se regule de tal manera que haya más sombra durante los meses secos y menos durante aquellos meses más húmedos. Esto generalmente significa que la operación de la poda siempre se debe llevar a cabo varias veces al año.

Las plantaciones de café arábigo en elevaciones altas invariablemente requieren menos sombra que las que se sitúan más abajo. De hecho, se pueden obtener regularmente buenos rendimientos de café en suelos ricos que se encuentren en altitudes elevadas sin sombra, excepto en los lugares donde existe la posibilidad de las heladas, en cuyo caso es necesaria una cubierta protectora relativamente densa.

Una revisión hecha por el Colegio de la Frontera sur, en cuanto al aspecto de la sombra del café revela que no hay base razonable o hecho observado para la creencia de que la sombra es una necesidad general para la planta de café, aun cuando se le cultive en altitudes bajas. Por el contrario, es probable que los efectos benéficos que resultan de la sombra estén aparte de la sombra proyectada sobre el árbol de café mismo, sino que más bien consisten en una protección contra la sequía, la erosión y el viento, dada por la altura. La plantación de árboles de sombra en aquellas regiones en que los árboles de café no están sujetos a condiciones climáticas perjudiciales, está justificada por la fertilidad aumentada impartida al suelo por medio de los procesos de fijación del nitrógeno llevados a cabo por los nódulos de las raíces de los árboles leguminosos como la *Leucaena* y la *leucocephala* generalmente plantados.

El espaciado y la cantidad de poda dada a los árboles de sombra en las plantaciones de café, depende en particular de la especie y de la localidad consideradas. Generalmente los árboles más grandes se deben espaciar a una distancia de 10 a 12 m, mientras que los más pequeños, como la *Leucaena*, se siembran mucho más cerca. Donde se necesita protección por los efectos que pueden causar los vientos se pueden plantar setos vivos es decir una asociación de árboles o arbustos en forma de barrera.

El café como ya se menciona con anterioridad, es el sustento de millones de trabajadores de todas las edades, que recogen más de 6 millones de toneladas del grano anualmente. Se estima que, a nivel mundial, 11 millones de hectáreas de la tierra cultivada están dedicadas al café -un área aproximadamente igual a la suma de las áreas de Suiza, Bélgica y Países Bajos-.

Sin embargo, la producción de café está asociada a serios costos sociales y ambientales que no se reflejan en su precio de venta. La producción intensiva de café es causa de la deforestación, la contaminación con pesticidas y la pérdida de la biodiversidad, (Díaz, 2001). Como en la mayor parte de los sectores agrícolas, la producción de café ha sido intensificada bajo la "revolución verde". Durante los años 70, la modernización de la agricultura condujo al desarrollo de variedades de café de alto rendimiento, cultivadas a pleno sol gracias a la utilización de productos químicos.

La densidad de producción puede así incrementarse de 1.100-1.500 cafetales por hectárea a 4.000-7.000 cafetales por hectárea, actualmente. Los "monocultivos" intensivos vienen a reemplazar los ecosistemas diversos. Colombia y Costa Rica estuvieron a la cabeza en la modernización de las plantaciones de café. Se ha estimado que, en Colombia, el 68% del café se cultiva en hileras estrechamente juntas bajo el pleno rayo de sol, mientras que en Costa Rica este método representa el 40% de la producción, Moguel (2000).

En muchos lugares del mundo esta intensificación ha conducido no solo al incremento de la producción de café, sino además a serios problemas ambientales.

La deforestación y el monocultivo conllevan mayores pérdidas de hábitat y una reducción de la biodiversidad de insectos, animales y plantas. Por ejemplo, estudios realizados en México y Colombia por el Smithsonian Migratory Bird Centre, indican que en los cultivos con exposición solar se presenta un 90 por ciento menos de especies de pájaros con relación a las plantaciones de café bajo sombra Toledo, (1996). Para los países y los pueblos donde se encuentran localizadas las áreas de mayor biodiversidad, ésta representa, por una parte, el referente de significaciones y sentidos culturales que son alterados cuando son transformados en valores económicos; por otra parte, la biodiversidad es la expresión del potencial productivo de un ecosistema, ante el cual se plantean las estrategias posibles de su manejo sustentable, así como las formas de apropiación cultural y económica de sus recursos. (Leff, 2005).

Por otra parte las áreas montañosas constituyen entornos particularmente frágiles. El monocultivo de café puede causar un significativo deterioro de la calidad del suelo y una creciente erosión. Se ha documentado que en áreas de alta precipitación pluvial se pierde cerca de tres veces más de nitrógeno del suelo en plantaciones sin sombra en comparación con aquellas áreas bajo sombra, disminuyendo considerablemente el rendimiento y la productividad de los cafetales.

3.2.2 Productividad de los sistemas de café de sombra y no sombra

Se dispone de bastante material sobre la productividad en los sistemas de sombra y de no sombra. Las investigaciones indican que los sistemas de no sombra (también denominados "modernos" o "tecnificados") tienen mayores rendimientos de café, pero requieren mayores

insumos de materias primas y mano de obra, además de que sufren de rendimientos decrecientes a medida que la planta de café envejece.

Los sistemas de café con una sombra de 30 a 50 por ciento producen menos café que el área correspondiente a los cafetos de no sombra, pero requieren menos inversión en fuerza de trabajo e insumos y se dice que producen café de más alta calidad. Asimismo, las plantas de café en los sistemas de sombra disfrutan de mayor longevidad. Los sistemas de café “ambientalmente amigables” pueden ser viables desde el punto de vista financiero.

Los agricultores obtienen otros beneficios de los sistemas de policultivos de sombra. Por ejemplo, sus necesidades de sustento se pueden mejorar mediante una multitud de productos y servicios provistos por el agroecosistema más diverso de los sistemas de cafés tradicionales (rústicos) y de los sistemas de policultivo de café de sombra. Los inventarios de las especies de plantas en los sistemas de café de sombra revelan una riqueza de plantas de valor comercial o doméstico para los agricultores, más allá del valor de la sombra que brindan las especies de la bóveda. *Fig. 3.1*

Fig. 3.1 Características de los sistemas de producción tradicional y moderna de café en zonas neotropicales

Características	Tradicional	Moderna
Porcentaje de sombra	60 – 90 %	0 – 50 %
Árboles de sombra	Mixto	Monocultivo
Altura de árboles	Alto (25 m), natural y plantado	Bajo (5-8 m), plantado
Altura de cafetos	Alta	Baja
Densidad de cafetos	1000 -2000 por ha	3000 – 10,000 por ha
Rendimiento por ha	Bajo	Alto
Rendimiento por cafeto	Alto	Bajo
Calidad de grano	Alto	Bajo
Tiempo de la 1ª cosecha	4 – 6 años	3 – 4 años
Tiempo productivo	Mayor de 30 años	12 a 15 años
Escala de producción	Pequeños productores	Productores comerciales
Uso de agroquímicos	Nulo/Bajo	Alto/Imprescindible
Podas	Nulo/Ligero	Intensiva
Erosión del suelo	Bajo	Alto
Acidificación del suelo	Bajo	Alto
Calidad del suelo	Alta	Baja
Producción de hojarasca	Alta	Baja
Incidencia de enfermedades	Baja	Alta
Polinización de insectos	Alta	Baja
Complejidad estructural	Alta	Baja
Cobertura de malezas	Baja	Alta
Rendimiento por ha	Bajo	Alto

Fuente: Perfecto et ál. (1996), Moguel y Toledo (1999), Yopez (2001), Donald (2004).

En síntesis la evidencia ecológica teórica y empírica sugiere que los sistemas de café de sombra brindan beneficios en términos de mayor biodiversidad. Sin embargo, el grado en que la biodiversidad es realmente más vasta está determinado por el tipo de sistema de café de sombra. Los sistemas tradicionales (rústicos) y los sistemas de sombra tradicionales de policultivo que incorporan el café (y otros sembradíos) como elementos adicionales de su ecosistema natural son los que producen los mayores beneficios en términos de biodiversidad. Asimismo, los pequeños dueños de tierras utilizan básicamente estos sistemas, por lo que el fomento del café de sombra de estos sistemas podría contribuir a otros objetivos sociales. En contraste, los beneficios de la biodiversidad del monocultivo de sombra y otros sistemas de café de menor diversidad son menos prometedores.

3.3 Requerimientos agroecológicos del café

Las condiciones óptimas para el desarrollo del cafeto son las siguientes:

- **Altitud:** Se desarrolla mejor y se obtiene mejor calidad en tasa entre 900-1,300 msnm. Denominándose a este café de altura.
- **Precipitación:** 1,500 mm. A 2, 000 mm. de lluvias bien distribuidas a lo largo del año son suficientes para un buen desarrollo del cafeto.
- **Temperatura:** un rango aceptable son las temperaturas promedio de 19° a 22° sin riesgos de heladas en el invierno, con temperaturas máximas en primavera-verano por debajo de los 30°, con mínimos de 16° y máximo de 25°, fuera de este rango se tienen problemas en el desarrollo de la planta y la floración.
- **Humedad Ambiental:** de 70 a 80% es el ideal, mayor de 80% causa problemas de enfermedades fungosas en la planta
- **Suelos:** prefiere suelos profundos (más de un metro de profundidad) de textura franca a migajón-arcilloso, permeables, friables y con un contenido de materia orgánica por arriba de 7%.

3.4 Situación actual de la cafecultura en Chiapas

Chiapas en la actualidad, además de ser el principal estado productor de café en México y el que aporta a la producción orgánica nacional más de 40%, tiene también un importante papel como albergador de la mayor diversidad biológica. Es esta virtud la que le ha permitido incorporarse al mercado de los servicios ambientales, con el cultivo de café explotando su capacidad como secuestradores de carbono.

Si bien, después de un largo periodo de bajas cotizaciones en los mercados de futuros, finalmente los precios internacionales del café han beneficiado a los productores, éstos se han presentado en un momento en que la producción de café en América Latina ha disminuido como resultado de la menor aplicación de insumos, principalmente los fertilizantes.

El manejo nutricional y de fertilización es tal vez, el factor más importante para preservar y mantener la producción de café. Los cultivos tardan años en volver a los rendimientos normales una vez que se ha descuidado la nutrición. En relación a esto, desde 2006 los productores chiapanecos están desarrollando un proyecto de certificación de plantaciones orgánicas, para estimular la producción con la renovación de cafetos, recuperación de zonas afectadas y para la promoción de esquemas de apoyo proporcionados por diversas instancias gubernamentales como las Secretaría de Agricultura y los programas de apoyo del gobierno de Chiapas y sus municipios; es por esto también que diversas instituciones hoy en día se están involucrando de forma activa en la implementación del pago servicios ambientales por captura de carbono y las mejores prácticas de café de conservación en diversas áreas del Estado de Chiapas.

La construcción del modelo está basada en la unión de ambas experiencias en una alianza en el que los productores se interesen por la venta del servicio ambiental por captura de

carbono a través de la recuperación de áreas deforestadas o degradadas y que en este momento estén sub-utilizadas, y con las mejores prácticas de café se busque la conversión del medio ambiente, pero también que estas prácticas les favorezcan para obtener mejores precios y mercados diversos. Todo esto gracias a la preocupación internacional por el "Calentamiento Global" cuyos efectos han abierto un mercado para la venta de servicios ambientales. En este mercado, los usuarios de energía que emiten gases invernadero como el CO₂ contribuyen a proyectos de mitigación, o "captura de carbono" los cuales consisten en aumentar la absorción natural de CO₂ atmosférico, incrementando la biomasa en los suelos y vegetación.

El propósito del café de conservación es el manejo agro ecológico de la producción de café de acuerdo a las condiciones y particularidades de cada lugar, teniendo como eje central un menú de buenas prácticas (MPCC), que puede ser a la vez la base para adquirir diferentes sellos de certificación de café. A través de las MPCC se pretende proteger al medio ambiente y los elementos que se involucran directamente por la producción de café como son los ríos, bosques, agua y otros elementos del medio ambiente.

3.5 El cultivo del café frente al cambio climático

En México una de las principales fuente de emisión de CO₂ son los cambios de usos del suelo y procesos de deforestación de bosques tropicales. De acuerdo con Masera et al., (1997) y la región tropical de México presentó una tasa de deforestación anual de 500.000 a 559.000 ha año⁻¹ de 1977 a 1992. Asimismo las contribuciones de CO₂ a la atmósfera por conversión directa de bosques o selvas a campos agrícolas y degradación paulatina de restos de biomasa aérea generaron emisiones netas de 52.3 Tg C como CO₂ en un lapso de 15 años (Masera *et al.*, 1997).

Una forma de mitigar los efectos que genera el CO₂, además de reducir las emisiones es capturarlo y mantenerlo el mayor tiempo posible en la biomasa y el suelo (De Jong *et al.*, 2004). Según el IPCC (2001) los bosques son los principales sumideros terrestres de CO₂, sin embargo los sistemas agroforestales (SAF) pueden desempeñar un importante papel no solo capturando y almacenando carbono, sino a su vez convirtiéndose en una alternativa tecnológica que puede reducir las tasas de deforestación en zonas tropicales y ofertar múltiples productos y servicios a las comunidades que los implementen. Se estima que los SAF almacenan 9, 21, 50 y 63 Mg C ha⁻¹ en regiones semiáridas, subhúmedas, húmedas y templadas respectivamente; el potencial de almacenamiento de C se estima entre 12 y 228 Mg C ha⁻¹ (Schroeder, 1994).

En México, los SAF de café bajo sombra son sistemas tradicionales de producción implementados por un sin número de comunidades campesinas indígenas de escasos recursos económicos. De acuerdo con Moguel y Toledo (1999) estos sistemas ocupan una área aproximada de 420.000 ha y presentan diferentes niveles de manejo agroecológico, vegetación y complejidad estructural, lo que permite la oferta y generación de múltiples productos (madera, leña, frutos) y servicios (regulación hidrológica, captura de carbono, conservación de suelo y conservación de biodiversidad) a las comunidades.

Estudios realizados identifican cinco sistemas de producción de café con diferentes grados de estructuración, desde los más complejos como el rusticano y policultivo tradicional hasta los más simples como el policultivo tradicional, el monocultivo de café bajo sombra y el café bajo sol (Moguel y Toledo 1999).

De acuerdo al manejo agroecológico y la complejidad estructural y florística de cada sistema, la inclusión del concepto de pago de servicios ambientales, emerge como una alternativa de

generación de nuevos ingresos económicos a las comunidades y a su vez reduce los efectos de la grave crisis económica por la que atraviesa el sector. Programas de certificación como el Comercio Justo, Bird Friendly del Smithsonian Migratory Bird Center, ECO-OK del Rainforest Alliance, cafés especiales y de altura entre otros, son agentes dinamizadores de cambio en las prácticas de producción y comercialización. En el caso de los sistemas de café rusticano y policultivo tradicional diferentes autores como Greenberg *et al.*, (1997), Soto – Pinto (2001), Barton *et al.* (2002) y Mas y Dietsch (2004) afirman que el manejo que ejercen los productores sobre éstos, puede contribuir de manera significativa a la conservación de flora y fauna y por ende generar impactos significativos en la economía del productor al recibir un pago adicional transferido en el precio al café.

En la problemática de cambio climático, los sistemas de café bajo sombra cumplirían un importante papel en la captura y almacenamiento de carbono y a su vez integrarían el concepto por pago de servicios ambientales. Las grandes extensiones de estos sistemas en México, así como su importancia ambiental y social, potencializarían el manejo y la implementación de proyectos de mitigación de carbono (De Jong, 1997a). Para estos efectos, el manejo de la biomasa viva, la materia orgánica muerta y la materia orgánica del suelo son piezas claves en la dinámica y conformación de reservorios estables de carbono.

CAPÍTULO IV. SERVICIOS AMBIENTALES: CAPTURA DE CARBONO Y SU METODOLOGÍA

4.1 Los servicios ambientales

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

Los esfuerzos realizados por los países desarrollados –principales emisores de gases de efecto invernadero- y los países no desarrollados –con grandes reservas de bosques-, en torno a aliviar el cambio climático, se han concentrado en definir mecanismos de desarrollo limpio contemplados en el protocolo de Kyoto. La convención marco de las naciones unidas, para el cambio climático, ha identificado y propuesto una serie de alternativas de alivio o mitigación. Estos mecanismos pueden llevarse a cabo promoviendo energías más limpias, que no contaminan, o practicas sostenibles y de conservación en sistemas de uso de suelo para que se fije el carbono proveniente de las emisiones de dióxido de carbono.

Es mediante el pago de servicios ambientales que se busca brindar una solución a corto y mediano plazo a los problemas de emisión de gases contaminantes, siendo los países que emiten las mayores cantidades de dichos gases los que deben auspiciar estos proyectos que son llevados a cabo por los países con alto potencial de conservación de agua, suelo y vegetación.

4.1.1 Organizaciones mundiales ante el pago de servicios ambientales

Durante el Acuerdo de Marrakech en el 2001, como parte del proceso de negociación de acuerdos entre las Partes de la Convención, un número de proyectos forestales e iniciativas de manejo del suelo fueron incluidos en el Protocolo de Kyoto, como mecanismos de mitigación. Se determino que estos pueden cumplir un importante papel para facilitar la

captura de Carbono de cara al cambio climático. Organizaciones a nivel mundial como The World Bank (WB), The World Conservation Union (IUCN) y United Nations Environment Programme (UNEP), han resaltado que los bosques y las actividades de manejo sustentable de uso del suelo como la agroforestería, administradas bajo el Protocolo de Kyoto son pertinentes social y ambientalmente como estrategia de mitigación.

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.

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

El pago por servicios ambientales es entonces un esquema en el que se hacen transacciones entre los oferentes (dueños de la tierra) y los compradores o usuarios del servicio ambiental. Estas transacciones pueden hacerse directamente entre comprador y vendedor una vez desarrollado un mercado (los compradores realizan aportaciones económicas para la conservación y mejoramiento del servicio) o indirectamente cuando el Estado interviene adquiriendo dichos servicios por medio de impuestos y subsidios (Burnstein, 2000).

4.2 Emisión y captura de CO₂

Toda vegetación en crecimiento fija o atrapa dióxido de carbono atmosférico por el proceso de fotosíntesis. Los árboles respiran CO₂ y acumulan el carbono en la madera. Casi la mitad del peso de un árbol es carbono, el cual es necesario para su desarrollo éste se va depositando en el árbol, conforme crece. Por eso los programas de forestación son un medio potencial para absorber el dióxido de carbono que está en la atmosfera y retenerlo mientras la madera no se queme o se pudra, a esto se le denomina captura o secuestro de carbono, y es la base de la denominada "alternativa verde" –vegetación que tiene valor como

almacenadora de CO₂, se ha encontrado en ella una forma barata de captura de este gas a la vez que son producidos bienes con valor económico para la sociedad. (Soto, 2008)

A este proyecto cada año se suman más empresas e instituciones gubernamentales, en los países que registran las mayores emisiones de CO₂ y ofrecen el pago por sus servicios ambientales a organizaciones de productores que cultiven arboles y que se comprometan a mantenerlos en pie en un periodo mínimo de 25 años, estos son los principios básicos sobre los cuales operan hoy en día los proyectos.

El carbono es atrapado por el árbol en la madera y la única forma de darle un uso deseable, es cuando esta se convierte en muebles o como material para construir; ya que se debe tomar en cuenta que cuando la madera se quema el carbono se libera y vuelve a la atmosfera, sin embargo cuando un árbol muere o se regenera, parte del carbono se queda en el suelo y se va juntando en capas conforme se agregan y se descomponen las hojas, ramas caídas o raíces. (*ibid*)

Los proyectos se pagan por encima de una línea base, es decir, el carbono que ya se encuentra atrapado en el suelo o sobre él no se paga, lo que se paga corresponde únicamente a los arboles que se siembran por arriba de la línea base. Por ejemplo, los bosques o sistemas agroforestales maduros no pueden pagarse como captura de carbono porque ese carbono ha sido capturado antes del proyecto. Las tierras agrícolas o pastos donde se siembran arboles (sistemas agroforestales o silvopastoriles) o tierras reforestadas y plantaciones, son pagados según el numero de arboles que se cultiven, por tanto mientras más arboles se siembren mayor será el incentivo económico.

4.2.1 El ciclo del carbono

En la naturaleza el carbono se halla por doquier: en el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (los carbonatos), y en aire como dióxido de carbono o anhídrido

carbónico. Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono. Aproximadamente el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, lo que nos permite deducir su importancia para la vida.

El ciclo del carbono comienza con la fijación de anhídrido carbónico atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis, realizada por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el anhídrido carbónico y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno en forma simultánea, que pasa a la atmósfera. Parte del carbohidrato es consumido directamente por la planta para suministrarse energía, mientras que el anhídrido carbónico es liberado a través de sus hojas y raíces. Otra parte es consumida también por los animales que también respiran y liberan anhídrido carbónico. Cuando las plantas y animales mueren son descompuestos por microorganismos en el suelo que provocan que el carbono atrapado en sus tejidos se oxide convirtiéndose en ácido carbónico y regrese a la atmósfera. *Fig. 4.1.* (Soto, 2008).

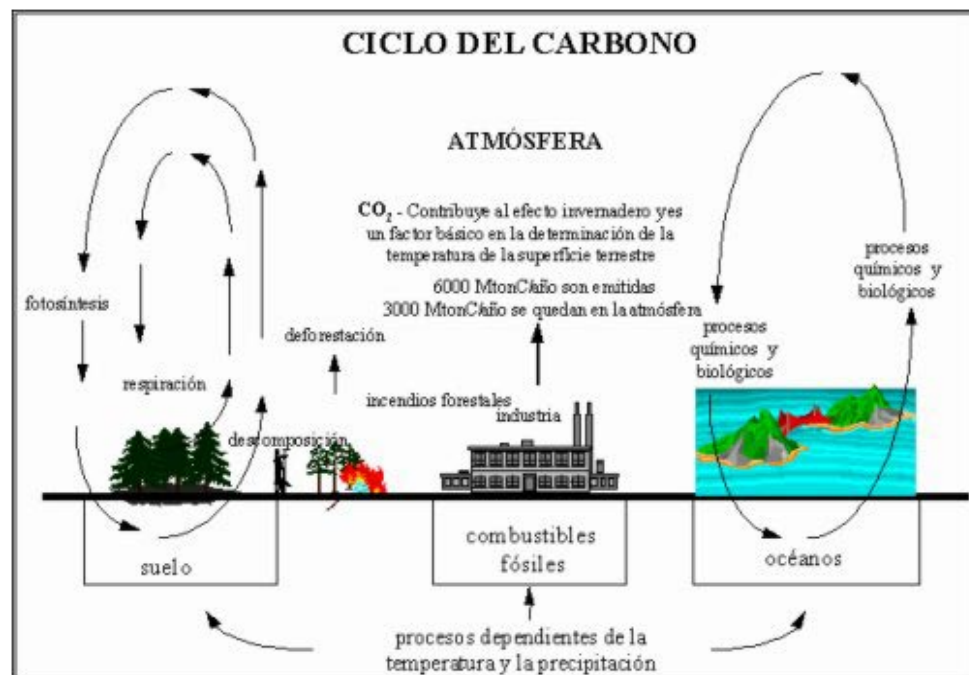


Fig. 4.1 El Ciclo del carbono. Las plantas verdes absorben el CO₂ del aire. Con ayuda de energía luminosa del sol (fotosintetizan) y junto con el agua y las sales procedentes de la tierra, lo transforman en sustancias orgánicas más ricas en energía que su propia materia orgánica. Los animales se alimentan de vegetales y los degradan; al respirar consumen CO₂ y emiten CO₂. Al quemarse, el carbón, la leña el petróleo y la gasolina producen CO₂. El carbono realiza en la naturaleza un ciclo ininterrumpido utilizando tan solo la energía luminosa.

La fijación de carbono por bacterias y animales es otra manera de disminuir la cantidad de dióxido de carbono, aunque es cuantitativamente menos importante la fijación de carbono por las plantas.

4.2.2 El carbono en ecosistemas forestales

El CO₂ atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis. Este CO₂ participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). Al crecer este incrementa su follaje, ramas flores, frutos y yemas de crecimientos (en su conjunto forman la copa) así como su altura y el grosor de su tronco. La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas, lo que da lugar a que las copas de los arboles compitan por esta energía, esto origina a su vez un dosel cerrado. Los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, que al degradarse se incorpora paulatinamente y da origen al humus estable, este a su vez aporta nuevamente CO₂ al entorno.

Simultáneamente, los troncos al ir aumentando su diámetro y altura, alcanzaran una tamaño aprovechable en términos comerciales, pudiéndose extraer productos como tablas, tablonés y polines, que darán origen a subproductos elaborados, como muebles y casas. Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado, después del cual se degradan aportando nuevamente CO₂ al suelo y/o atmosfera.

Durante el tiempo que el CO₂ se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol –y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmosfera-, se considera almacenado. En el momento de su liberación (ya sea por descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa) el CO₂ fluye para regresar al ciclo del carbono, como ya se explicó en el apartado anterior.

4.2.3 La captura unitaria de Carbono

La captura unitaria de carbono, se define mediante la estimación del carbono contenido en diferentes formas de almacenaje que de acuerdo con Masera (1995), pueden ser emitidos o ahorrados. Estos almacenes son:

1. **Carbono en vegetación (C_V).** El carbono en la vegetación es la suma del contenido en la biomasa aérea y la que se halla en la biomasa de las raíces. La biomasa aérea comprende el tronco, las hojas, las ramas y el follaje, mientras que el carbono contenido en las raíces es definido como biomasa de las raíces.
2. **Carbono en descomposición (C_D).** Es el contenido en la materia orgánica que se encuentra en proceso de descomposición; es originada cuando las estructuras vegetales como las hojas, las ramas o el tronco son depositados en el suelo.
3. **Carbono en el suelo (C_S).** Es el carbono contenido en las capas que conforman el suelo forestal. Se origina por la fragmentación de la roca madre meteorizada por el establecimiento de un organismo vegetal que con el tiempo forma capas por depositación de materiales. Al irse acumulando éstas y compactando, almacenan una cierta cantidad de carbono, misma que aumentara por la continuidad del proceso de formación del suelo.
4. **Carbono en productos (C_P).** Son los productos forestales que almacenan carbono durante todo el tiempo de vida del producto. Cuando este termina, el carbono se incorporará al ciclo dependiendo del proceso de degradación del producto. Mientras mayor sea la vida media de un producto forestal el carbono permanecerá almacenado por más tiempo.

4.3 Potencial del sector forestal

Bajo una adecuada política de apoyo, el sector forestal en nuestro país tiene la capacidad de reducir el crecimiento de las emisiones de CO_2 generadas por el sector energético, convirtiéndose en una de las opciones de mitigación más importantes a corto y mediano plazo.

Las opciones de mitigación, de acuerdo con Masera (1995) son cualquier tipo de acciones que dan como resultado la reducción del incremento neto en las emisiones de carbono en un área determinada y/o por la sustitución de combustibles fósiles. Así mismo identifica dos opciones básicas de mitigación de carbono en el sector forestal.

a) *Conservación*, que consiste en evitar las emisiones de CO₂ preservando áreas naturales protegidas, fomentando el manejo sostenible de bosques naturales, el uso renovable de la leña y la reducción de incendios.

b) *Reforestación*, enfocada a la recuperación de áreas degradadas mediante acciones concretas como la protección de cuencas, la reforestación urbana y la restauración para fines de subsistencia, así como el desarrollo de plantaciones comerciales para la producción de madera, pulpa para papel y hule entre muchas otras. Acciones como estas tienen por objetivo incrementar la fijación y almacenaje de carbono.

Masera (1995) estimó que para el año 2030 México tendrá un potencial de captura total de carbono, dentro de un rango de 2.34 a 3.02 GtC para una superficie de 26.4 Mha (Megahectareas) en un escenario del potencial tecnológico. Esto significa una captura anual de 67 a 116 MtC año⁻¹, que representa la mayor parte o el total de las emisiones actuales del sector energético e industrial en nuestro país.

4.3.1 El proyecto Scolel te´

Para impulsar la participación de México en mercados de servicios ambientales internacionales y/o el desarrollo de mercados locales el gobierno federal a través de la Comisión Nacional Forestal instrumentó en 2004 el Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad (PSACABSA).

En 2006 la Comisión Nacional Forestal anunció el proyecto "Servicios Ambientales del Bosque" que con una combinación de recursos de la propia Comisión, del Banco Mundial y

del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF), tiene como objetivo sentar las bases para la generación de un mercado en el que los usuarios de los servicios ambientales compensen a los dueños de los bosques que proveen este servicio (Comisión Nacional Forestal, 2006).

En América Latina existen pocas experiencias implementadas con pequeños productores; una de ellas se ha realizado en México con el proyecto Scolel'te' (cultivando árboles, en lengua maya tzeltal), el cual tiene como objetivo desarrollar un modelo técnico-social para la captura de carbono en sistemas forestales y agroforestales. Una organización no gubernamental (AMBIO), varias organizaciones sociales (de productores), una empresa privada (ECCM: The Edinburgh Centre for Carbon Management) y una institución académica (ECOSUR) han colaborado conjuntamente para echar a andar una experiencia en tres estados del sur de México: Chiapas, Oaxaca y Tabasco.

En 1994 el Colegio de la Frontera Sur realizó un diagnóstico y un estudio de factibilidad que demarcaron las principales limitantes y potencialidades productivas, económicas y sociales, y las principales intervenciones técnicas, los costos y la organización para sistemas de captura de carbono. Los productores junto con los científicos del proyecto, diseñaron las posibilidades más viables para cada región, realizaron un mapa parcelario, incluyendo un plan en cuanto al prototipo agroforestal o forestal, las especies y los tiempos de establecimiento. A esta metodología se le llamó "plan vivo". Los sistemas preferidos por los productores fueron sistemas rotacionales de maíz con árboles, sistemas de barbechos mejorados, café con sombra de maderables, sistemas silvopastoriles y sistemas de conservación y restauración.

Desde entonces y hasta la fecha, los sistemas seleccionados son acordes con los sistemas tradicionales; no son impuestos desde afuera, sino que los planes se diseñan participativamente, en conjunto con los productores. La selección se basa en una serie de principios que incluyen la reducción de la competencia por diferentes tipos de uso del suelo, diversidad, uso de especies nativas de rápido crecimiento, captura de cantidades

significativas de carbono, obtención de productos para autoabasto de la familia, mínimos riesgos de mercado y sociales, uso de recursos locales y participación comunitaria.

Actualmente en Scolel'te' participan 30 comunidades campesinas –que cultivan principalmente cítricos, maíz, café y plátano- estas comunidades están integradas por más de 400 productores con más de 700 hectáreas de plantaciones agroforestales y forestales.

Los sistemas seleccionados buscan también solucionar otros problemas, como la baja productividad del sistema de roza-tumba-quema, fertilización, subutilización, agotamiento y degradación de tierras, causantes del deterioro ecológico y la escasez de productos forestales (madera, leña) y la necesidad de dinero. Por otro lado, al asociar especies maderables con cultivos se contribuye a la revaloración del sistema de maíz, café y ganadería, se aprovecha mejor el espacio, se incrementan los productos y servicios, se intensifica el uso del suelo con protección, se conserva la biodiversidad y se captura carbono.

En 1997, la Federación Internacional de Automóviles (FIA) se interesó en el proyecto y comenzó a pagar bonos por el servicio ambiental como parte de un mercado solidario a 10 dólares por tonelada; hoy vale 14 dólares. Más adelante se involucraron otros compradores: Future Forest –una organización privada del Reino Unido– y la Catedral de Guadalajara –una organización civil mexicana.

Las ventas de carbono se realizan por medio de un fideicomiso: el Fondo Bioclimático, administrado por AMBIO, organización que se encarga de los aspectos operativos del proyecto y el monitoreo; ECOSUR realiza investigación, diseño de sistemas forestales y agroforestales. Aunque aparentemente el ingreso obtenido por la captura de carbono no es mucho, para los productores resulta útil en la compra de artículos básicos, herramientas de trabajo y tierra.

Además se obtienen beneficios adicionales por productos como hojas de palma, hojas de pino y postes. El proyecto ofrece también otros frutos relacionados con procesos importantes

en las comunidades, como la adquisición de capacidades de gestión, nuevos conocimientos, el reencuentro de una cultura de producción con protección y conservación.

Para la zona tzelta, la principal motivación por participar en el proyecto es la obtención de recursos naturales (leña y madera), a la vez que un ingreso económico por la venta del servicio ambiental.

Del inicio del proyecto a la actualidad, existe un enorme crecimiento no solo económicamente en las comunidades beneficiadas, sino también por los conocimientos que estas personas han adquirido y que hoy en día les permiten conservar y aprovechar el medio del cual se rodean.

4.4 Metodología para la captura de carbono en sistemas agroforestales de café

La metodología para captura de carbono, parte de un principio básico que es la línea de base, que proporciona los parámetros iniciales para los cálculos de almacenamiento de CO₂. Es por ello que los resultados deben ser obtenidos con la mayor precisión posible.

Para la medición de biomasa en los componentes vegetales y el suelo se cuenta con diferentes metodologías de campo y estimadores de carbono capturado. Se necesitan datos precisos para la elaboración de líneas de base y monitoreo del crecimiento vegetal. En general se utilizan materiales o métodos poco accesibles a los productores (equipo especializado para medir o coleccionar, análisis de laboratorio y programas de cómputo). Sin embargo para facilitar el establecimiento de nuevos proyectos de captura o la continuidad de los ya existentes, es necesario definir estrategias de muestreo accesibles a los productores y técnicos, para que sean ellos los que establezcan sus proyectos y diseñen sus planes de monitoreo. Para adecuar las metodologías propuestas en este manual se utilizarán como criterios de adaptación las siguientes directrices:

- 1) La experiencia en campo utilizando métodos convencionales (IPCC, 2003)
- 2) Las potencialidades de los productores

- 3) La minimización en complejidad tiempo y costo de los procesos de medición y análisis.
- 4) Una estimación realista que sea comparable con las metodologías convencionales.

4.4.1 Línea de base

Línea de base es la cantidad de carbono existente en un área antes de comenzar con un proyecto de captura de carbono.

La importancia de este concepto radica en la necesidad que se tiene de conocer la cantidad de carbono que ya se tiene almacenado en una parcela, es decir la línea de base, porque lo que se pagara en el proyecto es el carbono que se adicione a la parcela por encima de esta referencia inicial.

En una parcela el carbono existente se encuentra en el suelo y la vegetación (árboles, hierbas y pasto), raíces, hojarasca y ramas que están sobre el suelo.

Es por ello que resulta imprescindible hacer las mediciones correspondientes para estimar la cantidad de carbono antes y después de un proyecto.

4.4.2 Inventario de carbono

Los elementos o pasos fundamentales en el diseño del muestreo con parcelas son: la selección de las unidades, tipo de parcelas elegidas según los objetivos, tipo de muestreo y los estratos.

Las mediciones deben realizarse por cada componente de la parcela: árboles, herbáceas, hojarasca y ramas caídas. La biomasa de las raíces se estima de modo indirecto y para algunos casos, como lo es este estudio el cálculo de biomasa en raíces fue omitido.

Las mediciones deben realizarse en la parcela que entrará en el proyecto de captura. Es necesario hacer un inventario de lo que hay en la parcela, esto quiere decir que se deben

considerar otras especies además de las arbóreas, para este caso en particular deben considerarse las matas de café y estimar el carbono almacenado en ellas.

A. Diseño del muestreo

La unidad de muestreo que se utiliza de forma inicial es una parcela de tipo temporal. Sin embargo, en sitios donde se pretendan llevar a cabo Proyectos de Carbono, con el objetivo de hacer un monitoreo de éste a través del tiempo, se establecen parcelas de muestreo permanentes.

Se sugiere utilizar un muestreo al azar estratificando la población, ya que éste entrega estimaciones más precisas para un presupuesto limitado. Cada estrato, en que se subdivide la población puede definirse por el tipo de vegetación, tipo de suelo o topografía.

En un inventario de carbono, los estratos deben ser definidos por la estimación del peso total de stock de carbono. La biomasa aérea es el criterio de estratificación más apropiado, debido a que el stock de carbono depende en gran parte de ésta.

Para definir los estratos se pueden utilizar imágenes satelitales, fotografías aéreas y mapas de vegetación, suelo o topografía. Estos elementos deben ser combinados con mediciones directas en terreno para la validación. Este trabajo puede ser apoyado por un Sistema de Información Geográfico (SIG), el cual facilita la estratificación de las unidades y la localización de los puntos de muestreo. También las áreas o superficies pueden ser determinadas manualmente utilizando un planímetro o red puntos.

B. Tamaño muestral

Una vez decidido el nivel de precisión, entre 5 y 20%, se determina el tamaño de las muestras para cada estrato y para cada depósito de carbono.

Se reconocen 5 diferentes depósitos donde se acumula el carbono absorbido en un ecosistema forestal:

- i. Biomasa sobre el suelo (árboles y sotobosque)
- ii. Biomasa bajo el suelo (raíces)
- iii. Árboles muertos en pie y troncos caídos
- iv. Hojarasca
- v. Suelo

El inventario de carbono es más completo que un inventario tradicional debido a que son considerados diferentes depósitos de CO₂, los cuales pueden tener una varianza diferente.

Entonces, mientras el error estándar de la media para la biomasa aérea puede alcanzar 20%, para un determinado tamaño muestral, el error estándar para el suelo puede ser 40%, y el de biomasa subterránea 80% o más.

Para simplificar el diseño de muestreo, el tamaño de muestra para cada depósito de carbono se determina por separado. Para el caso particular de este estudio, no fueron considerados los datos de la biomasa bajo el suelo (raíces), por ser el elemento de biomasa con la menor capacidad de almacenamiento de carbono, además de ser el que representa el mayor error estándar (80%).

C. Selección de las unidades de muestreo

Las unidades de muestreo son parcelas de área fija y su ubicación puede ser seleccionada tanto al azar como sistemáticamente. Si se sabe poco de la población que se va a muestrear, la selección al azar de las unidades de muestreo es más segura que una selección sistemática. Si los montos de carbono de la parcela están distribuidos de forma irregular, con un patrón al azar, entonces las dos formas son igualmente precisas.

Si algunas partes del estrato contienen más carbono que otras, la selección sistemática resultará más precisa que la selección al azar.

La selección realizada estuvo en función de la accesibilidad a los terrenos y los montos de carbono se encontraban distribuidos de forma irregular en todos los casos, por ello se puede considerar que la selección fue sistemática y al azar.

D. Oportunidad del inventario

El inventario debe realizarse en la estación en que las cuadrillas de terreno pueden trabajar más eficientemente y con menores riesgos, es decir, en la época más seca. Además para estimar el peso de la biomasa del follaje, es fundamental realizar el muestreo en verano cuando las especies caducas tienen su follaje plenamente desarrollado.

En este caso, el inventario fue realizado en primavera, sin embargo se conto con las condiciones antes expuestas, una estación seca y con nula o casi nula existencia de especies caducifolias.

E. Ubicación de las parcelas en el terreno

La correcta ubicación de las parcelas en terreno se logra con un equipo de Global Positioning System (GPS). El uso del GPS hace posible la ubicación o re-ubicación eficiente y precisa de las parcelas, particularmente en lugares poco comunicados. La localización de parcelas de muestreo debe ser establecida utilizando corrección diferencial. La corrección diferencial asegura que los centros de las parcelas sean localizados lo más exactamente posible.

F. Parcelas de inventario de carbono

Para bosque nativo generalmente se utilizan parcelas de muestreo circulares de radio 11,28 m con una superficie de 400 m². Pero si se trata de renovales o bosques con una gran densidad, pueden utilizarse parcelas más pequeñas; el tamaño se determinará considerando que deben entrar alrededor de 30 árboles dentro de cada parcela. Por ejemplo, en un caso de un bosque siempre verde se utilizaron parcelas de 250 m² con un radio de 8,92 m. Para bosques de plantaciones también se utilizan parcelas más pequeñas (250 m²).

En este caso, la parcela comprende una superficie de 2,827 m², con un radio de 30m,

a) *Inventario de árboles*

Las actividades se inician con la instalación o replanteo de las parcelas circulares. En caso de tratarse de parcelas de 400 m², éstas se instalan utilizando cuerdas de 11,28 m como radios desde el centro de la parcela en los cuatro puntos cardinales. Se debe corregir la distancia con ayuda de un clinómetro si la pendiente es mayor a 10%.

El procedimiento comprende:

- El inventario de árboles, comenzando por el radio norte de la parcela y midiendo la totalidad de árboles del primer cuadrante (≥ 5 cm de DAP).
- La medición de sólo los árboles de DAP >10 cm en los "cuadrantes II, III y IV".

Según lo anterior, los árboles con DAP >10 cm se miden en la parcela de 400 m² y los árboles de DAP entre 5 y 10 cm son medidos en el "cuadrante I" de 100 m². Figura 4.2

Para este tipo de inventarios se debe tener presente lo siguiente:

- Se debe medir además el DAP y la altura de los árboles muertos en pie.
- Los DAP se miden con cinta métrica.
- Los árboles que se encuentren en los límites de la parcela deben medirse si más de la mitad del tronco cae dentro de la parcela.

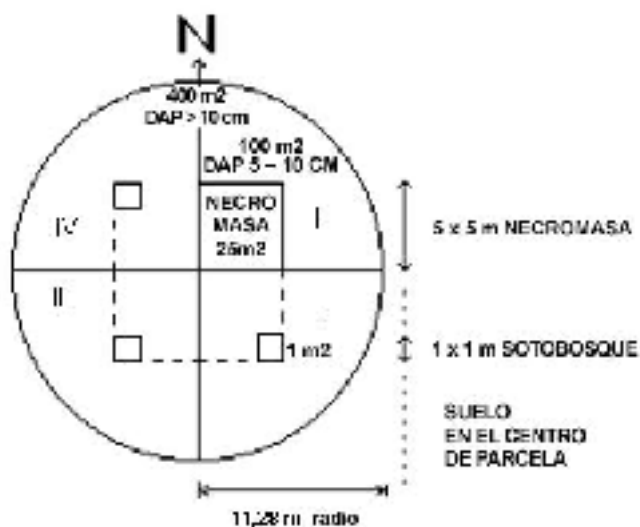


Figura 4.2. Parcela circular de inventario de carbono, de 400 m² con sus cuatro cuadrantes (I, II, III, IV) y subparcelas de medición de necromasa, sotobosque y hojarasca.

b) Medición de alturas

Esta medición se realiza paralelamente con la realización del inventario de árboles, utilizando un hipsómetro digital o similar.

c) Medición de la cobertura de copas

La cobertura se mide en dos transectos de 50 m cada uno. Es aconsejable realizar esta medición, al trasladarse entre dos parcelas contiguas y utilizando la misma faja de acceso, optimizando así el tiempo. El método de transecto consiste, en medir sobre éste (cinta métrica), las copas interceptadas y la posición de las copas. Así se logra obtener la cobertura del bosque total y por estratos.

Cabe señalar, que debe medirse solo la intercepción de la copa por donde pasa el transecto y no el diámetro de copa del árbol. En el presente estudio no se pudo realizar la medición de las copas de los árboles con este método de transectos, pues solo se trabajó con una parcela.

d) Medición del sotobosque

Para el muestreo de sotobosque, se levantan 3 subparcelas de 1 m² en los cuadrantes II, III y IV. Se aconseja localizarlas a una distancia de 7 metros del centro de parcela en el centro de cada cuadrante, dentro de cada subparcela de sotobosque se miden tres categorías de biomasa, la cual se corta y pesa:

a) Biomasa de especies arbóreas y arbustos: contempla el pesaje de todos los individuos menores de 5 cm DAP.

b) Helechos: se separa el pesaje de helechos de la biomasa de arbustos y hierbas ya que generalmente tiene un porcentaje muy alto de participación en el sotobosque.

c) Biomasa de herbáceas.

Debe obtenerse una muestra por componente, con el fin de determinar el peso seco y contenido de carbono en laboratorio. Cada muestra colectada (un puñado) se coloca en una bolsa de papel numerada y se pesa en el instante (peso húmedo).

e) Medición de la hojarasca.

Después de la medición del sotobosque, se pesa la hojarasca acumulada en las subparcelas de 1 m². Debe incluirse en esta medición toda la biomasa de hojas, ramas y ramillas de hasta un diámetro de 10 cm. Para este efecto se utilizan las 3 parcelas de 1 m², donde se mide el sotobosque. Se incluye la necromasa de ramas y ramillas hasta 10 cm de diámetro para hacer más eficiente el muestreo. Idealmente, en casos en que se cuente con mayores recursos, se contabilizará en forma separada las ramas y ramillas hasta 10 cm (necromasa fina) de la hojarasca.

Se repite el procedimiento de toma de muestras de sotobosque para las muestras de hojarasca.

f) Medición de la necromasa

La materia muerta o necromasa, se mide en una superficie cuadrada de 25 m² ubicada en el primer cuadrante de la parcela de inventario de carbono.

Para esto, se acumula y pesa todo el material muerto sobre el suelo que tenga un diámetro mayor a 10 cm (necromasa gruesa).

Además, esta biomasa muerta se clasifica en tres categorías de descomposición:

- a. Baja: se refiere a aquel material recientemente caído que no presenta signos de descomposición. Puede reconocerse por la presencia de corteza y su color, además, por la condición física de la madera. Debe golpearse con un machete o elemento rígido para verificar su condición.

b. Intermedia: se refiere al material que visualmente presenta indicios de descomposición, pérdida de corteza (no atribuible a daño físico), color y características físicas de la madera, para este último, debe golpearse con un machete o elemento rígido y verificar un estado de descomposición intermedia.

c. Alta: esta categoría considera el material descompuesto que aún mantiene la forma original de caída. Puede reconocerse fácilmente por su avanzado estado de descomposición, color, desmoronamiento fácil al ejercer una fuerza, caída de secciones, madera blanda, etc.

Las mediciones se realizan en los diferentes depósitos de carbono de los ecosistemas forestales y se esquematizan en el siguiente diagrama de flujo. *Fig. 4.3.*

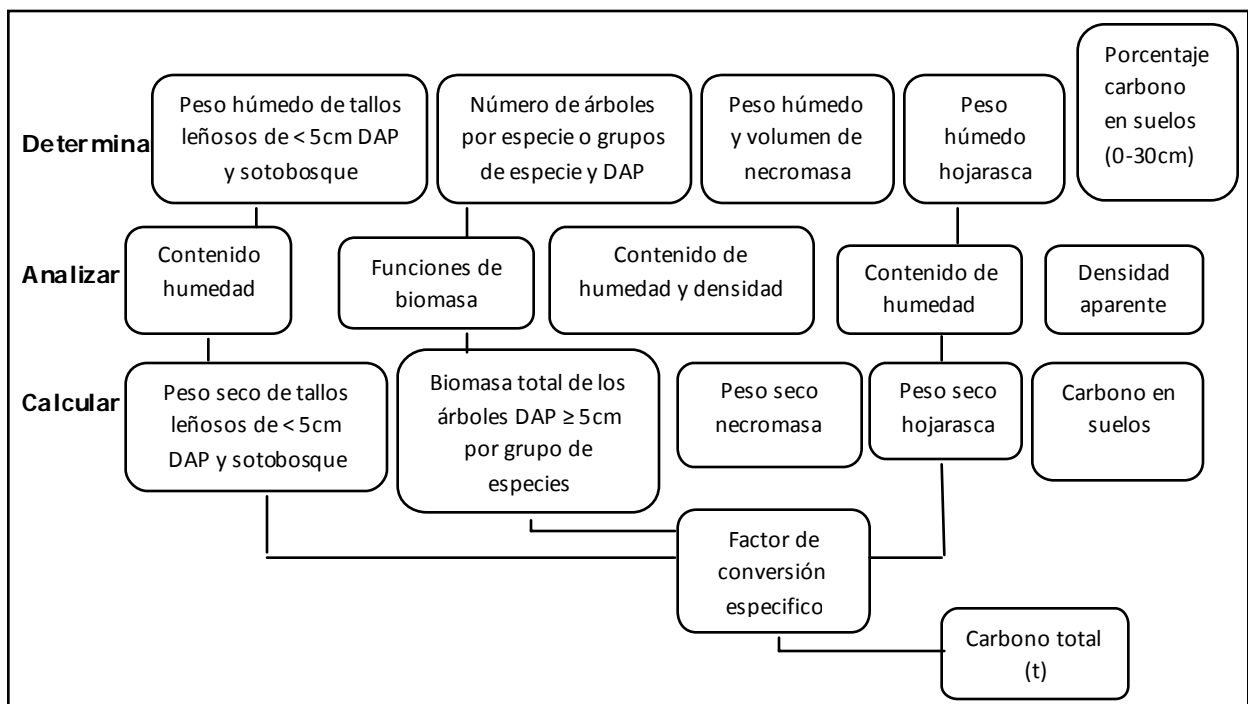


Figura 4.3. Diagrama de flujo para calcular el carbono en los principales depósitos en ecosistemas forestales, adaptado de Mc Dickens (1997).

g) *Muestreo del suelo*

Luego se mezcla hasta que el color sea uniforme y tamiza la muestra por una malla de 5 mm, se escoge aleatoriamente una muestra (100 g) y se coloca en una bolsa de papel numerada para determinar el contenido de carbono.

Para determinar el contenido de carbono por unidad de volumen de suelo, es necesario conocer la densidad aparente del suelo. Para esto se utiliza el método del "cilindro de volumen conocido" descrito por Mc Dickens (1997) como se presenta a continuación:

- a) Utilizar un cilindro de volumen conocido.
- b) Preparar la superficie del suelo a una profundidad de 15 cm.
- c) Introducir el cilindro en el suelo sin comprimir (utilizar aceite mineral si ocurre adhesión del suelo con el metal).
- d) Colocar la muestra en una bolsa de papel numerada y pesar peso húmedo (P1) para llevar a laboratorio y secar en horno a 105° C hasta peso constante.
- e) Después de secar, pesar nuevamente (P2).
- f) Calcular la densidad aparente:

$$DA \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{(P2 - Bolsa)}{(volumen\ del\ cilindro)}$$

h) Manejo y envío de muestras a laboratorio

Una vez terminado el proceso de medición se procede a llevar las muestras rotuladas a laboratorio para ser analizadas y posteriormente realizar los cálculos para determinar la cantidad de carbono almacenado por los diferentes depósitos dentro del sistema.

Hay que tener mucho cuidado con las muestras contenidas en bolsas de papel, estas no deben quedar mucho tiempo sin procesarse debido a que las bolsas pueden romperse. También las muestras pueden desarrollar hongos y deteriorarse si se guardan en bolsas plásticas ó si están húmedas.

4.4.3 Cálculos para estimar el carbono acumulado

a) *Biomasa sobre el suelo*

Se calcula la biomasa contenida en dos depósitos diferentes:

a) Biomasa arbórea ≥ 5 cm de DAP

b) Biomasa de tallos leñosos < 5 cm de DAP y sotobosque

b) *Biomasa arbórea ≥ 5 cm de DAP*

Esta biomasa se estima con funciones de regresión de biomasa que se han ajustado para algunos bosques y especies. Una vez que se obtiene la biomasa en toneladas, se multiplica por el contenido de carbono ponderado por especie o tipo de bosque. Es común utilizar un factor de 0,5 ya que la literatura indica que en promedio, la materia vegetal seca contiene un 50% de carbono, pero en este proyecto se pueden utilizar factores más exactos que varían entre 0,42 y 0,45. Los valores de carbono se expresan en tC/ha (toneladas de carbono por hectárea).

c) *Biomasa de tallos leñosos < 5 cm de DAP y sotobosque*

Para el cálculo de la biomasa en este depósito se obtiene el peso total húmedo (PhBt) en cada parcela de 1 m², separado en tallos leñosos < 5 cm de DAP, sotobosque y helechos.

Esto se lleva a laboratorio y se calcula el contenido de humedad de la siguiente manera:

$$CH = \frac{(Phs - Pss)}{Pss} \times 100$$

Donde:

CH = contenido de humedad (%)

Phs = peso húmedo submuestra (g)

Pss = peso seco submuestra (g)

Con el contenido de humedad se calcula la proporción del peso húmedo que corresponde a biomasa:

$$B = \frac{PhBt}{1 + (CH/100)}$$

Donde:

B = biomasa seca (g)

PhBt = peso húmedo total de biomasa (g)

CH = contenido de humedad (%)

Los valores se dividen por 1.000.000 para obtener toneladas. Estos valores se multiplican por la proporción de carbono ponderada de cada componente. Los valores de carbono se expanden a la hectárea y se expresan en tC/ha.

d) Biomasa bajo el suelo (raíces)

Determinar la biomasa bajo el suelo, o biomasa radicular, es un proceso muy costoso (alrededor de 120 US\$/raíz). Esta se estima como un porcentaje de la biomasa arbórea sobre el suelo (biomasa aérea). En caso de no tener estimaciones de biomasa radicular, se utilizará un porcentaje mínimo de 15% de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea, que es una estimación conservadora (MacDickens, 1997). Por ejemplo, Cairns, *et al.* (1997), entregan valores de razón R/T (raíz/tallo), para distintos lugares del mundo, entre 0.20 y 0.30, es decir 20 a 30% de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea.

e) Árboles muertos en pie y troncos caídos

Para los árboles muertos en pie se pueden utilizar las funciones de biomasa de los árboles vivos pero considerando un factor de descuento que se determinará para cada caso (alrededor de 70% de la biomasa viva). Esto se debe a que los árboles muertos pierden parte de su biomasa como las hojas, las ramas, la corteza y parte de las raíces dependiendo del grado de pudrición en que se encuentren.

Es importante tomar muestras de los troncos muertos para determinar la densidad de los distintos estados de pudrición y el contenido de carbono. Para los troncos caídos, el procedimiento consiste en estimar el volumen con la fórmula de Smalian y después con la densidad de la madera calcular el peso de la biomasa, en algunos casos se pesará directamente.

$$B = \text{área basal (m}^2\text{)} \times \text{altura (m)} \times \text{densidad (kg/m}^3\text{)}$$

f) Hojarasca

Para el cálculo del carbono de la hojarasca se sigue el mismo procedimiento que para la biomasa de los tallos leñosos menores a 5 cm y el sotobosque.

g) Carbono en el suelo

El carbono contenido en el suelo se calcula a partir de los valores de porcentaje de C y densidad aparente con la siguiente fórmula:

$$CS = CC \times DA \times P$$

Donde:

CS = carbono en suelo (tC/ha)

CC = contenido de C (%)

DA = densidad aparente (g/cm³)

P = profundidad de muestreo (se utilizará una profundidad de 30 cm)

4.4.4 Cálculo estadístico para determinar número de parcelas

Número de parcelas

Para obtener el número de parcelas (n) a establecer para tener un error de estimación determinado (E), se utiliza la siguiente fórmula:

$$n = \frac{1}{\left(\frac{E^2}{T^2 S^2} + \frac{1}{N}\right)}$$

Donde:

E = error de estimación (%)

t = valor de la tabla *t* de Student en función de los grados de libertad y el % de probabilidad

S² = varianza

N = número total de parcelas posibles

4.4.5 Error de estimación

El error de estimación se calcula para determinar el rango de confianza de los valores obtenidos. Este error se calcula a partir del error estándar de la media de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$S = \sqrt{\left(\frac{S^2}{n}\right) \times \left(1 - \frac{n}{N}\right)}$$

Donde:

S_̄ = error estándar de la media

S² = varianza

n = número de parcelas muestreadas

N = número de parcelas que pueden muestrearse

$$S_{yx} = X \pm (t) * S$$

Donde:

S_{y x} = error de estimación

X = la media en toneladas de carbono fijadas

t = valor de la tabla *t de Student* en función de los grados de libertad y el porcentaje de probabilidad.

CAPÍTULO V. USO DE LA METODOLOGÍA DE CAPTURA DE CARBONO EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ, EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PIJJIAPAN

5.1 Descripción geográfica de la zona de estudio: Rincón del Tigre

La finca "Rincón del tigre" elegida para el trabajo de campo, se localiza en la región noreste de la cuenca alta del río Pijjiapan, ubicada sobre la unidad de relieve denominada talud de transición o pie de monte, donde la altitud va de los 400 a los 1200 m.s.n.m.

El área de estudio se encuentra en la zona subtropical; presenta clima cálido a semi - cálido húmedo (A) C (m) (García, 1988).

La vegetación en la zona de estudio corresponde a selva alta perennifolia, son comunidades muy complejas que de acuerdo con INEGI (1981), se caracterizan por contar con una comunidad arbórea que sobrepasa los 30 m de altura y donde más del 75% de las especies arbóreas conservan la hoja. Existe un gradiente altitudinal que va desde los 700 a 1000 msnm. Actualmente el uso de suelo de esta comunidad es agropecuario y forestal en mayor proporción. En cuanto a la agricultura esta es de autoconsumo con el cultivo de productos básicos como el maíz, frijol, chile y algunas hortalizas, en el aspecto ganadero (vacuno) las especies predominantes son del genotipo cebuino cruzado con otras especies. *Cuadro 5.1.*

Cuadro 5.1 Características Físicas del área de muestreo

Sitio	Comunidad	Altitud	Topografía	%		Temperatura	
				Pendiente	Clima	promedio	Precipitación
Rincón							
del	El Cerrón	720	Accidentada	55%	Cálido	24°C	1200 mm
tigre					Húmedo		

Fuente: Trabajo de campo, Guerrero, Diana. 2011.

La agroforestería es un término que se refiere al uso de la tierra y manejo de los recursos naturales en los que hay una asociación entre cultivos perennes y anuales en el mismo terreno de forma simultánea o en una secuencia temporal. Se considera que éste uso de la tierra tiene potencial para mantener y mejorar la productividad al menos evitar una degradación del suelo o disminución de la productividad a través del tiempo, debido a sus beneficios biológicos, socioeconómicos y culturales.

Entre sus funciones principales podemos mencionar el mantenimiento del ciclaje de nutrientes, la utilización de especies con diversos requerimientos nutricionales y lumínicos y la protección física de los suelos.

Entre sus objetivos podemos mencionar que aumenta la productividad vegetal y animal (al aprovechar diferentes estratos en una misma superficie), diversifica la producción de alimentos y otros productos para la subsistencia del agricultor (madera, leña, forraje y otros materiales), mitiga los efectos perjudiciales del sol, el viento y la lluvia sobre los suelos, minimiza la escorrentía del agua y la pérdida de suelo por medio de una combinación de la experiencia tradicional y conocimientos modernos y es considerada como una estrategia de "captura de carbono" a la par de otras prácticas como los tratamientos silviculturales para aumentar el crecimiento, aforestación, reforestación y restauración de áreas degradadas (Montagnini, 1992; Márquez, 2000).

Se presupone que los sistemas agroforestales (SAF's) son un sistema de uso de la tierra con potencialidad para fijar carbono a partir del razonamiento de que en una misma superficie (al haber un aprovechamiento de diferentes estratos) puede haber una mayor acumulación de biomasa, comparada con usos solamente agrícolas u otros casos donde no hay integración de diferentes componentes. Se distinguen también de prácticas agrícolas en sus periodos y volúmenes de carbono ciclado.

Los datos en cuanto a captura de carbono por estos sistemas son variables, algunos autores atribuyen una captura para estos sistemas entre 10 y 50 t ha⁻¹ (López, cit. por Callo, 2001), otros entre 25 y 30 t ha⁻¹ (Palm *et al.* cit. por Callo-Concha, 2001).

La estimación de carbono almacenado considera, cuatro principales reservorios: biomasa aérea, mantillo, sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo. Para este cálculo en particular se omitió la presencia de raíces en el suelo, esto por ser el elemento con el cálculo más arbitrario y que no posee una ecuación que permita la obtención de valores que sean incluidos a la estimación de carbono acumulado.

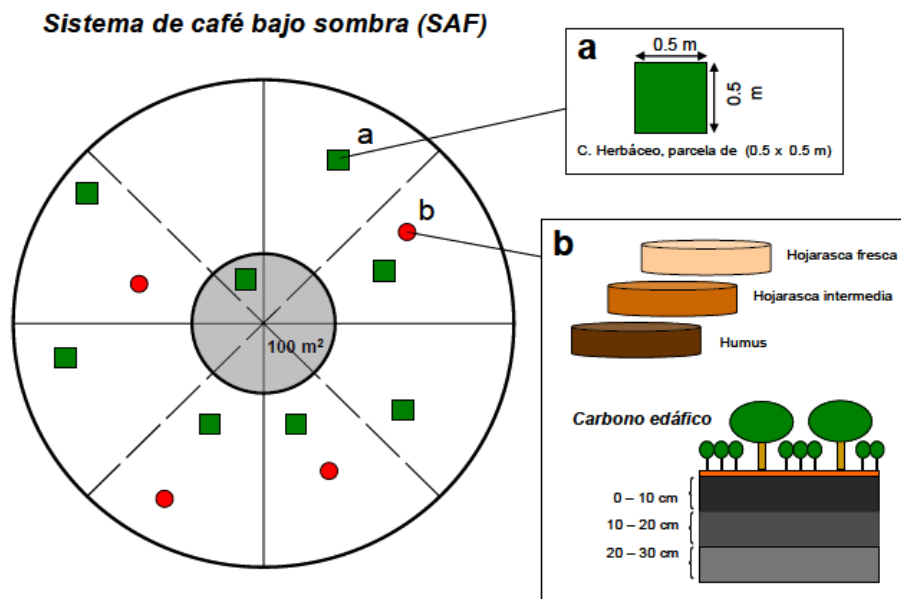


Figura 5.2. Parcela de investigación para cuantificación de carbono en sistemas de café bajo sombra. Fuente: Basado en Aguirre, 2006

5.2.1 Selección del sitio de Muestreo

El área elegida para la investigación fue una zona con potencial de producción de café con denominación "de altura". El sitio de muestreo se encuentra en la finca denominada "El Rincón del tigre" que se localiza en la porción noreste de la Cuenca alta del río Pijijapan, las coordenadas geográficas del sitio de muestreo) son 15°46'29" N y 93° 06'47" W, con una altura de 702 msnm., este es el punto central, a partir del cual fue trazada el área de muestreo, cuya superficie es de 2,827 m². Fig. 5.2. La cuantificación de los reservorios de carbono se realizó mediante el establecimiento de una parcela circular de monitoreo con un

radio de 30m y una superficie de 2,827 m². La metodología empleada para el establecimiento de las parcelas fue ajustada según lineamientos técnicos descritos por diferentes autores para estudios ecológicos e inventarios de biomasa en bosques y sistemas agroforestales (Universidad Austral de Chile, 2001; Lamprecht, 1990; MacDiken, 1997; CATIE, 2000; Hairiah *et al.*, 2001 e IPCC, 2003). En cada parcela se estimó la cantidad de carbono orgánico presente en los reservorios definidos por el IPCC (2003) para el desarrollo de proyectos forestales de mitigación de carbono:

La delimitación de la parcela circular y sus subdivisiones se hizo con lazos y estacas. El centro de la parcela de muestreo se ubicó al azar en la zona de estudio, tomando como referencia un árbol central. Del centro a los extremos de la parcela circular se tiraron lazos a una distancia horizontal de 30 m, distancia que fue compensada en función de la pendiente.

El manejo de este sistema agroforestal bosque-café, donde fue trazada la parcela consiste según los productores, únicamente en dos limpiezas que realizan anualmente con machete, sin aplicación de productos químicos. En la actualidad promueven podas de "formación" a los cafetos antes de la época de lluvias y la colecta de semillas para resiembra. El resto de las especies vegetales, como los árboles tampoco son fertilizadas.

5.2.2 Obtención de muestras

a) Biomasa viva: árboles, arbustos, hierbas.

Se midieron todos los árboles con diámetros normales (DN) \geq a 10 cm a una altura de 1.3 m desde la base del suelo en la parcela de 2,827 m²; paralelamente se midió la altura total de cada árbol y atributos de estado del árbol, calidad del fuste, forma e iluminación de la copa.

Véase Cuadro 1 del anexo 2.

En el segundo cuadrante de la parcela, en una área de 100 m² se midieron los árboles y arbustos inferiores a 10 cm de DAP; este componente estuvo representado principalmente por cafetos; finalmente todas las especies fueron identificadas por familia, género y especie. La biomasa arbórea y arbustiva se calculó empleando los modelos alométricos desarrollados por diferentes autores, los cuales se relacionan en el siguiente *cuadro. 5.3*.

Cuadro 5.3 Modelos alométricos empleados en la estimación de biomasa arbórea y arbustiva, en sistemas agroforestales de café bajo sombra.

Especie	Ecuación alométrica	R ²	Fuente
Biomasa aérea	$Y = \exp[-2.977 + \ln(\rho D^2 H)]$	.99	Chave et al., 2005
<i>Manilkara zapota</i>	$Y = 0.97 + 0.078 (AB) - 0.00094 (AB)^2 + 0.0000064 (AB)^2$	.96	IPCC, 2003
<i>Terminalia amazonia</i>	$Y = 10 + 604 (H)$	.96	Frangi & Lugo, 1985
<i>Rondeletia stenosphon</i>	$Y = 0.0303 D^{2.1345}$	.99	Hairah et al., 2001
<i>Garania intermedia</i>	$Y = -6.64 + 0.79 (AB) + 0.000514 (AB)^2$	.94	IPCC, 2003
<i>Coffea arabica</i>	$Y = 0.2811 D^{2.0635}$	.94	Hairah et al., 2001

Y: Biomasa en kg (árbol)⁻¹ D: Diámetro en cm a 1.3 m. H: Altura total en m. ρ : Densidad de la madera en g (mL)⁻¹. AB: Área basal en cm²

Para el caso del chicozapote, palo blanco y Toronjil, se emplearon modelos alométricos específicos. En general, estos modelos usan las siguientes variables: diámetro normal (DN), altura (h) y densidad de la madera (ρ); los datos de densidad se obtuvieron de Brown (1997) y Cordero y Boshier, 2003. Se asumió por convención, el valor de 0.5 como factor de carbono para el cálculo de densidad de carbono total presente en la biomasa arbórea y arbustos (IPCC, 2003).

Herbáceas

Las herbáceas son un componente importante que captura carbono y que siempre está presente en los sistemas agroforestales o forestales. Dentro de este grupo se consideran las hierbas espontáneas, arvenses o también llamadas malezas, al igual que pastos o plántulas de algunos cultivos. Las herbáceas se miden para estimar la cantidad de carbono contenido en este componente.

La metodología que se propone es una estimación visual de la cobertura la cual se transforma en peso seco. Normalmente en estudios especializados las herbáceas se cortan para llevarlas a laboratorio, donde son secadas y pesadas. Sin embargo de acuerdo Soto Pinto (2002) mediante algunos cálculos se encontró una manera de reducir los pasos y simplificar el trabajo sin afectar los cultivos. Únicamente es necesario medir la altura de las plantas y apreciar a simple vista que tanto cubren el suelo (cobertura visual).

El método usado consistió en estimar "a ojo" el porcentaje de cobertura en 12 cuadrados de 0.25 m², a manera de simplificar la metodología y basándose en un estudio previo de campo que relacionó la cobertura con el peso de la biomasa de donde se generó una tabla de equivalencias. Es también necesario registrar si la mayoría de los tallos son leñosos o carnosos (suculentos). Véase formato 2 del anexo 1.

El procedimiento en campo consistió en lanzar al azar un objeto, en el lugar donde cayó el objeto se colocó el cuadro de papel elaborado previamente se midió y anotó la altura máxima de las hierbas (H_{max}) y la altura predominante (H_{dom}) y se obtiene un promedio con ambas alturas.

Utilizando como referencia los dibujos adjuntos (*del anexo 1 Formato 2*) se estima visualmente la cobertura aproximada (%) dentro de cada cuadro y se anota el tipo de tallos predominantes (leñosos o carnosos).

El factor de cobertura (f_c) fue definido con la siguiente fórmula:

$$F_c = c \times h$$

c: cobertura dentro de un cuadro de 0.25m² (entre 0 y 1 obtenidas por la comparación con los dibujos (anexo 3 formato 2)

h= (Hmax+ Hdom)/2= altura promedio de plantas

b) Carbono en materia orgánica muerta (MOM)

Ramas caídas en el suelo (RCS)

Se calculó el volumen de ramas caídas en el suelo a través del método de intersección planar propuesto Van Wagner (1968), sobre estimaciones de volúmenes de ramas caídas en superficies forestales. En el capítulo anterior se expuso el cálculo de la materia orgánica muerta, mediante la fórmula de Smalian (1963), pero se optó por elegir la de Van Wagner por ser más completa.

Se muestrearon cuatro transectos de 25 m² cada uno, teniendo como referencia la parcela, en ella se midieron ramas caídas con diámetros mayores a 3 cm según los siguientes estados de descomposición: fresco (bajo), seco (intermedio) y descompuesto (alto); el volumen se calculó con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi^2 \sum d^2}{8l}$$

Donde,

V: Volumen en m³ m⁻²

d: Diámetro de la rama en m.

l: Longitud horizontal del transecto de muestreo en m.

Se tomaron muestras de ramas en diferentes estados de descomposición, se determinó su peso, volumen y factor de carbono. Estas variables se utilizaron para inferir sobre la cantidad total de carbono contenido en ramas por estado de descomposición. *Ver anexo 3*

Hojarasca o mantillo (M)

En la parcela de 2,827 m², se lanzó aleatoriamente cuatro veces un aro de 20 cm de diámetro (314.15 cm²). En cada punto se midió el pH y la profundidad de la hojarasca o mantillo; posteriormente se recolectó independientemente en bolsas plásticas la totalidad de

los materiales que la componen (hojas y ramas con diámetros menores a 3 cm), teniendo en cuenta los siguientes estados de descomposición (Fassbender, 1993):

- a. Hojarasca fresca: hojas y ramas que morfológicamente no presentan ningún proceso de descomposición física.
- b. Hojarasca intermedia: hojas y ramas que presentan estados intermedios de descomposición físico mecánica generada por insectos y microorganismos.
- c. Hojarasca con alto grado de descomposición: hojas y ramas que presentan alto nivel de desagregación y existe un proceso de descomposición bioquímica.

Cada muestra fue secada al ambiente hasta peso constante y pesada en balanza analítica. Se conformó una muestra compuesta por estado de descomposición y localidad, la cual fue molida (molino Willey) y tamizada en malla de 1 mm. Finalmente se tomaron submuestras de 5 g para determinación de carbono. *Ver anexo 3.*

c) Carbono de la Materia Orgánica del suelo (MOS)

En los mismos sitios donde se recolectó la hojarasca, se tomaron muestras de suelo a 30 cm. De profundidad. Cada muestra de suelo fue secada en el horno durante 24 hrs. hasta peso constante.

Con el fin de estimar la cantidad de carbono almacenado en el suelo, se midió la densidad aparente del suelo (DA) en g mL^{-1} , mediante el método de la probeta. Se tomó una submuestra la cual fue depositada dentro de la probeta hasta completar un volumen de 10 mL, se determinó el peso neto (g) de la muestra y se dividió entre volumen de la probeta (mL). Con el valor de DA se calculó la cantidad total de carbono orgánico de cada muestra multiplicando la DA y el porcentaje de carbono respectivo. La fórmula empleada fue:

$$CS = CC \times DA \times P$$

Donde:

CS = carbono en suelo (tC/ha)

CC = contenido de C (%)

DA = densidad aparente (g/cm³)

P = profundidad de muestreo (se utilizará una profundidad de 30 cm)

5.2.3 Línea de base y escenarios de captura de carbono en un sistema natural de café

Una vez estimados los reservorios de carbono contenidos en la biomasa viva, materia orgánica muerta y materia orgánica del suelo, se definió la línea base para el sistema de café natural (CN). La línea base se identifica como el uso del suelo que el productor dará a su parcela de café en el futuro. Se asume en el presente estudio que no existirán cambios de uso del suelo; es decir que se mantendrá la producción de café bajo el mismo entorno agroecológico de manejo.

A través de estadísticas y estudios comparativos de proyectos similares, se analizaron los resultados obtenidos para generar una simulación de los flujos de carbono en la biomasa viva en un sistema de CN al integrar dos escenarios de manejo:

- a. Escenario 1: Línea base para un sistema de producción de café natural (CN) sin proyecto de mitigación.
- b. Escenario 2: Sistema de producción de café natural (CN) con proyecto de captura de carbono y manejo agroforestal.

La parametrización del modelo consideró el manejo de la biomasa viva contenida en los árboles y arbustos en tres periodos de 20 años cada uno (tiempo total de 60 años), en tres grupos de vegetación. El crecimiento de cada uno de ellos fue expresado en términos de incremento corriente anual (ICA). Estos tres tipos de vegetación evaluadas fueron:

- a. Dosel alto: Sombra de árboles de *Manilkara Zapota* (100 árboles / ha⁻¹).
- b. Dosel medio: Sombra de *Terminalia amazonia* (177 árboles ha⁻¹).
- c. Dosel bajo: Arbustos de café (2000 cafetos ha⁻¹).

La curva de crecimiento por especie fue ajustada teniendo en cuenta, factores de expansión de biomasa en follaje y ramas, tiempo de rotación, practicas silviculturales, tasas de recambio de follaje, ramas y raíces, mortalidad, competencia y cosecha de productos, todo en función de la biomasa total presente; esta información se obtuvo de fuentes secundarias (Fassbender, 1993; Cordero y Boshier, 2003, Montagnini y Nair, 2004). En el Cuadro 5.4, se definen los parámetros empleados para la estimación de flujos de carbono en un sistema de producción de café natural.

El manejo de cada escenario contemplo actividades de posas sanitarias en los cafetos realizadas a fines de cada cosecha y podas de manejo del dosel medio de los arboles de sombra del genero amazonia principalmente; para efectos del dosel medio se asumió una remoción del 20% del total de las ramas. También cada 10 años se considero una renovación de esta cohorte en un 40%. Las cohortes del dosel alto y medio, cada una de ellas es renovada en su totalidad a los 20 años.

Cuadro 5.4 Parámetros de simulación en CO2FIX, para estimación de flujos de carbono en BV en un sistema de café natural (CN).

Parámetros	Manilkara zapota	Terminalia amazonia	Coffea arabica
Cohorte^s			
Rotación	20	10	20
P (mg BV/m ³) ^y	0.47	0.58	0.5
Contenido de C (%)	0.5	0.5	0.5
Carbono inicial (tallo)	0	6.29	2.04
Carbono inicial (follaje)	0	0.34	1.13
Carbono inicial (ramas)	0	10.38	8.18
Carbono inicial (raíces)	0	7.7	5.5

Tasa de recambio^s			
Follaje	1	1	0.3
Ramas	0.05	0.2	0.07
Raíces	1	0.4	1
Fracción removida en aprovechamiento	1	0.4	1

^s Información de ICA ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$) por cohorte, así como los incrementos relativos de materia seca en follaje, ramas y raíces respecto al tallo durante 20 años de rotación.

^y BV: Biomasa viva.

Escenarios de Captura de Carbono

Las Figuras 5.7, 5.8 y 5.9 muestran los flujos de carbono en las cohortes de dosel alto, medio, bajo y Ct, por escenario (línea base y proyecto de captura de carbono), en un sistema de café natural orgánico (CNO).

De acuerdo al modelo de simulación para el escenario de línea base, cada una de las cohortes presentan un incremento en la acumulación de C a través del tiempo. El contenido de C inicial para las cohortes de dosel bajo, alto y Ct es de 16.87, 24.72 y 41.59 Mg C ha⁻¹. Al finalizar los primeros 20 años existe un incremento neto de 20.08, 32.24 y 42.32 Mg C ha⁻¹ en cada cohorte. Ninguna de las cohortes presenta disminuciones de C. El almacenamiento de Ct promedio en cada periodo es de 93.84 Mg C ha⁻¹ aproximadamente.

En el escenario de mitigación (proyecto de captura de carbono), el incremento de acumulación de C es menor en las cohortes de dosel bajo y medio, respecto a la línea base. El contenido de C inicial es igual al de la línea base, sin embargo por la competencia que se genera entre las cohortes y el manejo, la acumulación de biomasa es más reducida y solo llega a 26.65 y 40.64 Mg C ha⁻¹, lo que representa un incremento neto de 9.78 y 15.92 Mg C ha⁻¹. La cohorte que presenta mayor acumulación es el dosel alto con 57.16

Mg C ha⁻¹, en los primeros 20 años. El almacenamiento de Ct promedio durante cada periodo es de 123.92 Mg C ha⁻¹ aproximadamente.

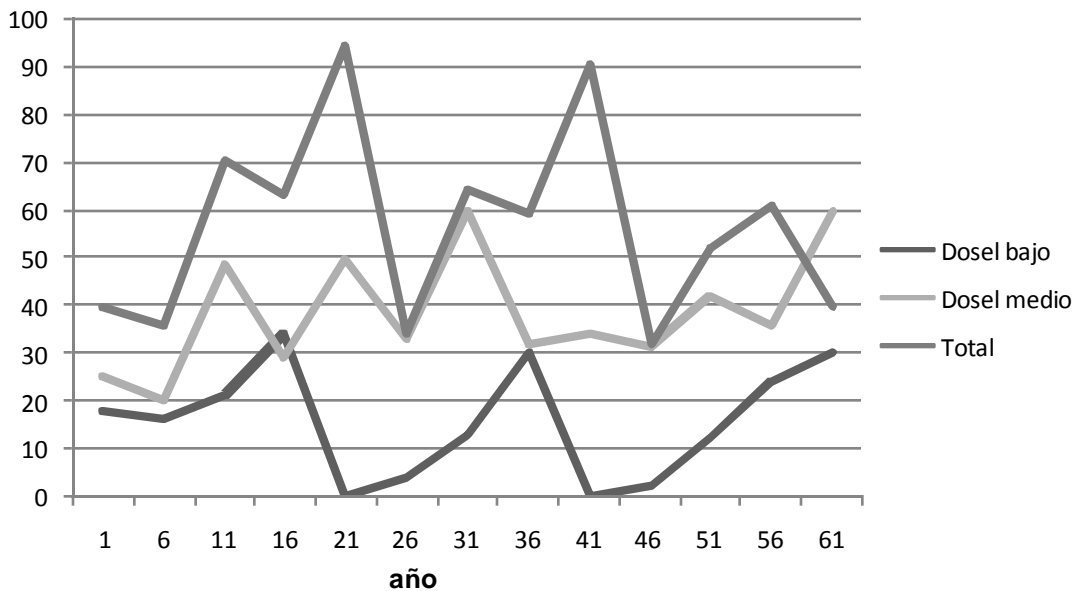


Fig. 5.7. Flujos de carbono en escenario de línea base. Sistema de café natural Orgánico, con dosel medio y bajo.

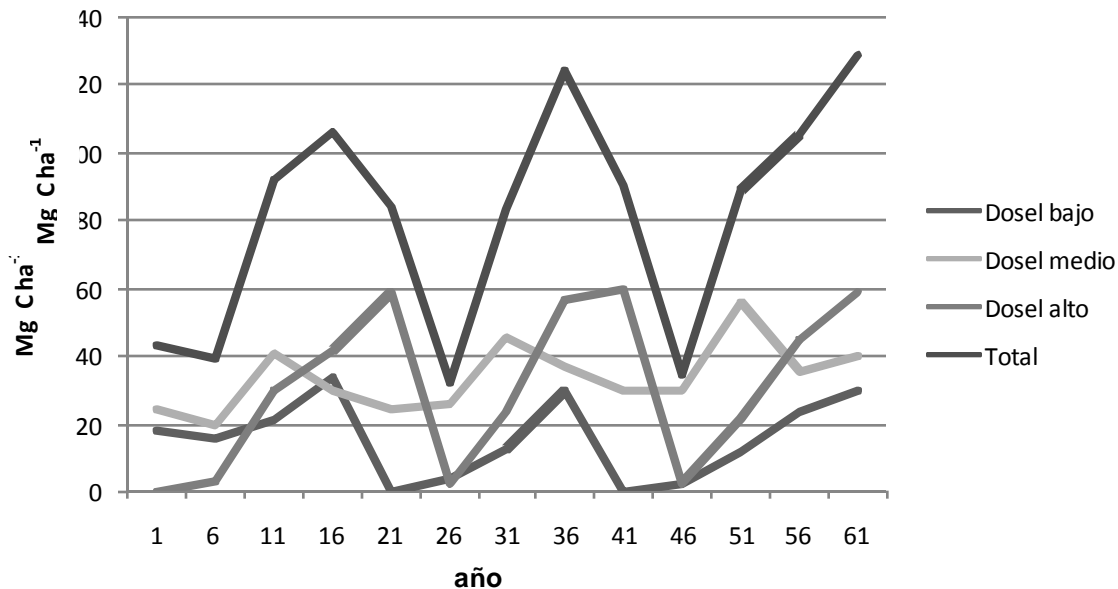


Fig. 5.8. Flujos de carbono en BV, en escenario de mitigación de carbono. Sistema de café natural orgánico (CNO), cohorte de dosel alto, medio y bajo.

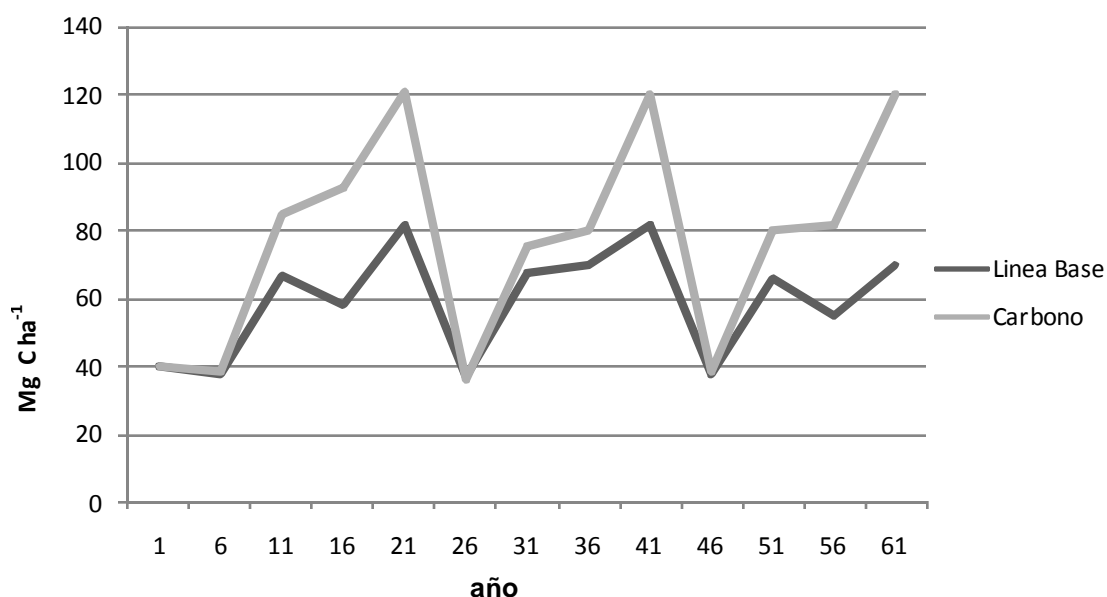


Fig. 5.9. Flujos de carbono total en BV, en un sistema de café natural orgánico (CON) , entre escenarios de línea de base y proyecto de mitigación de carbono.

La diferencia entre los escenarios de línea base y proyecto mitigación, muestran que la cantidad de Carbono que realmente puede ser capturado en los tres periodos es de 30.54, 29.85 y 29.45 Mg C ha⁻¹ respectivamente, y se representa principalmente por la acumulación de biomasa al interior de la cohorte de dosel alto (*Manilkara zapota*). Durante los 3 periodos, el C capturado (diferencia entre escenario de mitigación y línea base) es de 89.84 Mg C ha⁻¹.

5.3 Extensión y conservación de las áreas forestales de la cuenca

5.3.1 Almacenamiento de Carbono

Los sistemas Café Natural Orgánico poseen densidades promedio de carbono total (Ct) de 170.46 Mg C ha⁻¹. El mayor reservorio se encuentra en la materia orgánica del suelo (MOS) 68.8 %. En el siguiente cuadro (5.5) se relacionan las densidades de Carbono almacenado en cada reservorio por sistema.

Cuadro. 5.5 Carbono almacenado en los reservorios de BV, MOM, MOS y Ct (Mg C ha⁻¹) en sistemas CN, CMBS y CPT en Chiapas México. Información expresada en media y error estándar al 90 %

	Monocultivo bajo sombra		Café natural		Policultivo tradicional	
	CMBS	%	CN	%	CPT	%
<i>Biomasa viva (BV)</i>	a		ab		b	
	35.14 ± 6.93	27.1	46.84 ± 13.72	27.5	57.47 ± 14.41	26.7
Arboles ≥ 10 cm de DN	17.02 ± 6.45	13.1	27.30 ± 9.49	16.0	37.89 ± 10.45	17.6
Arboles ≥ 5, < 10 cm de DN	0.14 ± 0.09	0.1	0.36 ± 0.27	0.2	0.85 ± 0.52	0.4
Arbustos (café)	11.37 ± 3.02	8.8	11.03 ± 4.36	6.5	8.83 ± 2.62	4.1
Hierbas	0.44 ± 0.18	0.3	0.12 ± 0.06	0.1	0.24 ± 0.14	0.1
Raíces (gruesas y finas)	6.16 ± 1.13	4.7	8.03 ± 2.15	4.7	9.67 ± 2.18	4.5
<i>Materia orgánica muerta (MOM)</i>	a		a		a	
	6.72 ± 2.50	5.2	6.28 ± 2.11	3.7	6.04 ± 1.71	2.8
Ramas caídas	1.48 ± 1.53	1.1	0.68 ± 0.20	0.4	0.33 ± 0.14	0.2
Mantillo	5.24 ± 1.72	4.0	5.60 ± 1.99	3.3	5.72 ± 1.84	2.7
<i>Materia orgánica del suelo (MOS)</i>	a		ab		b	
	87.97 ± 24.35	67.8	117.35 ± 23.77	68.8	152.12 ± 20.72	70.5
Materia orgánica del suelo	87.97 ± 24.35	67.8	117.35 ± 23.77	68.8	152.12 ± 20.72	70.5
<i>C total del sistema (Ct)</i>	a		ab		b	
	129.82 ± 30.45	100	170.46 ± 26.78	100	215.64 ± 24.56	100

Letras iguales entre tratamientos, no difieren significativamente al 90 %.

En los sistemas CMBS (Café de Monocultivo Bajo Sombra) y CPT (Café de Policultivo Tradicional) la Biomasa viva (BV) almacena el 27.1 % y 26.7 % del Ct. Los árboles (A) concentran más del 60 % del C de la BV, los arbustos (arb) y raíces (R) aproximadamente el 20 y 15 %. En la materia orgánica muerta (MOM) la cantidad de C es similar. Al interior de MOM, la hojarasca o mantillo (M) es el principal reservorio con más del 90 %.

En el sistema CN orgánico. La BV almacena el 27.5 % de los cuales 50 % está en Árboles, 32 % en arbustos y 18 % restante se calculo que se encontraba en las Raíces. La MOM tiene el 3.7 % del Ct, de los cuales el 77 % está en el mantillo.

La variabilidad de C entre sistemas y reservorios es muy diversa. La menor variabilidad de Ct está en CPT (15 %) seguido de CNO (37 %) y CMBS (21 %) y La variabilidad en BV es relativamente alta, los coeficientes de variación van desde el 36 % en CPT hasta 52 % en CN. Al interior de BV los reservorios de mayor variabilidad son árboles < a 10 DN (> 80 %) y hierbas (> 55%). En MOM los CV son mayores al 37 % en todos los sistemas. MOS es el reservorio de menor variabilidad con CV menores al 38 %. Ver Figura 5.6

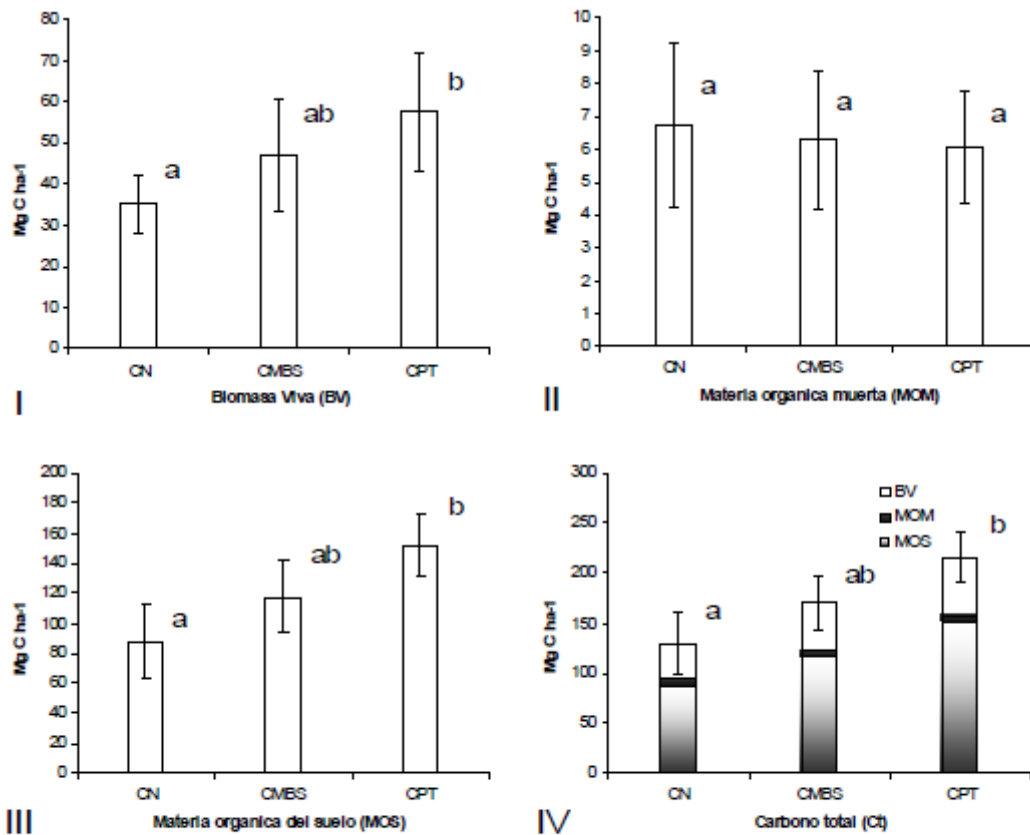


Fig 5.6 Concentraciones en Mg C ha⁻¹ en los reservorios de BV (I), MOM (II), MOS (III) y Ct (IV) en sistemas CN, CMBS y CPT. Información expresada en media e intervalo de confianza al 90 %. Letras iguales entre tratamientos, no difieren significativamente al 90 %.

5.5 Análisis económico y social del servicio ambiental captura de carbono, en la cuenca alta del río Pijijapan

Una vez estimada la captura de C en el sistema de café natural, se realizó el análisis económico integrando los siguientes escenarios:

- 1) Manejo convencional (sistema de café natural)
- 2) Sistema de café natural, pago de un servicio ambiental (captura de carbono) y venta de madera y (Servicio no explotado en la zona de estudio)
- 3) Desarrollo de una nueva estrategia de manejo agroecológico (producción orgánica de café), captura de carbono y venta de madera.

Los beneficios de la captura de C, se obtuvieron teniendo en cuenta los créditos temporales de CO₂ e (tCERs) que pueden ser certificados y vendidos en cuatro periodos de verificación del proyecto. En la figura 5.10 se muestra en detalle esta información, así como los beneficios económicos por la venta de tCERs en los años 4, 9, 14 y 19 (periodos de verificación). *Cuadro 5.7*

Cuadro 5.7 **Créditos temporales de CO₂ e (tCERs) generados por el proyecto de mitigación de carbono**

Año	Carbono capturado Mg C ha ⁻¹	Creditos temporales de C (Mg CO ₂ e ha ⁻¹)	Periodo de validez de un credito de CO ₂ e año ⁻¹	Beneficio economico \$ Mex [§]
0	0			
1	0			
2	0.03			
3	0.63			
4	3.07	3.07	5	125
5	8.43			
6	17.12			
7	28.71			
8	42.45			
9	57.66	57.66	5	2,347
10	69.56			
11	87.31			
12	103.92			
13	118.3			
14	129.06	129.06	5	5,253
15	135.29			
16	136.67			
17	132.5			
18	122.61			
19	111.98	111.98	5	4,558

[§] Un Mg de CO₂ e removido temporalmente por 5 años, tiene un valor comercial de aproximadamente US \$3.7, equivalentes a Mex \$ 40.7

Los indicadores fueron evaluados para un periodo de 20 años. Para efectos del análisis se considero un valor promedio de pago de uno (1) tCERs a US \$ 3.7 Mg CO₂ e, (Méx \$ 40.7 a una tasa de cambio de Méx \$ 11 por dólar). De acuerdo al mercado internacional de carbono, el precio de uno (1) tCERs puede oscilar entre US \$ 3 y US \$ 5 (Point Carbon, 2006).

La producción de café en los escenarios de manejo convencional y manejo orgánico se estimaron en 10 y 15 quintales respectivamente a un precio de comercialización de Méx \$ 15 y Méx \$ 23*.

Es importante considerar que a medida que se integran nuevas opciones de manejo, los costos y beneficios son mayores. Comparando los costos de producción y beneficios generados entre los escenarios 1 y 2 existe un incremento de \$ 23.957 (23 %) y \$ 175.755 (200 %) respectivamente, mientras que en los escenarios 2 y 3 es de \$ 74.588 (57 %) y \$ 121.272 (46 %) respectivamente.

En un escenario de estimación, teniendo en cuenta los costos y beneficios actualizados para el escenario 3, donde se integra la producción orgánica y la captura de carbono, el manejo del cafetal ocupa el 88 % (\$ 180.462) de la inversión, mientras el manejo de los árboles de madera (que en la actualidad no son explotados) y captura de C solamente el 12 % (\$23.957). Los beneficios en este escenario se distribuyen de la siguiente forma: Beneficios económicos por venta de café 54 % (\$ 208.601), venta de madera 44 % (\$ 168.972) y captura de carbono 2 % (\$ 6783).

Los costos y beneficios netos para el manejo de los árboles maderables y captura de carbono, excluyendo los costos de aprovechamiento forestal en un lapso de 20 años fueron estimados en \$ 2109 y \$ 6782. Por ello que resulta importante impulsar el aprovechamiento de los recursos forestales, de los cuales los productores tienen poco o nulo conocimiento.

Múltiples y variados son los beneficios que un servicio ambiental proporciona, como en este caso lo es la captura del carbono. De acuerdo con Izac (1997) los beneficios del manejo sostenible del carbono, son visibles en tres escalas: global, nacional y local, enunciando mejoras, que van desde la conservación de los recursos naturales, el incremento en la calidad de los alimentos, los incentivos económicos, reducción en problemas de carácter mundial como lo es el cambio climático y la pérdida de la biodiversidad. Fig. 5.8

* Se asume para café orgánico un precio de venta de Méx \$ 23 en mecanismos de comercialización de Comercio Justo y para café convencional de Méx \$ 15 en mercados regionales.

Principales beneficios del manejo sostenible del carbono del suelo en varias escalas espaciales

Mejoramiento en el cambio climático mundial

Fortalecimiento de la captura de carbono

Fortalecimiento de la diversidad

Fortalecimiento del turismo

Mejoramiento de los problemas ambientales (calidad del aire y del agua)

Fortalecimiento de la sostenibilidad agrícola

Fortalecimiento de la seguridad alimentaria

Fortalecimiento de la base de recursos para las futuras generaciones

Disminución de la degradación del suelo

Mejor rendimiento de los cultivos, los bosques y el ganado

Calidad del suelo y los alimentos

Esca
la
Global

Esca
la
Nacional

Esca
la
local/
agricultores

Figura 5.8 Principales beneficios del manejo sostenible del carbono del suelo en varias escalas espaciales (de Izac, 1997)

RESULTADOS Y ANÁLISIS

El estudio realizado en la finca Rincón del Tigre, ubicada dentro de la Cuenca Alta del Río Pijijiapan, arrojó en cifras los siguientes resultados:

En el sistema de café bajo sombra evaluado el principal reservorio encontrado en el área de estudio es el suelo, donde el almacenamiento oscilo entre 87.92 y 152.12 Mg C ha⁻¹.

Los sistemas café natural orgánico, monocultivo bajo sombra, policultivo tradicional almacenan en la biomasa viva 46.84, 35.14, 57.47 Mg C ha⁻¹ respectivamente. La cantidad de C en este reservorio pueden estar en función de la densidad de árboles, especies, nivel de productividad del sitio, competencia entre las especies predominantes y manejo ejercido.

La materia orgánica muerta almacena una cantidad similar de CO₂ en los tres sistemas (aproximadamente 6 Mg C ha⁻¹).

La captura de C a través de un proyecto de mitigación en un sistema de café bajo sombra se estimó en 30.54 Mg C ha⁻¹ en un periodo de acreditación de 20 años.

Los costos y beneficios se incrementan en la medida que se integra un nuevo escenario de manejo (café natural vs café natural, captura de carbono y venta de madera vs manejo orgánico, captura de carbono y venta de productos de madera).

La relación B/C en los escenarios de café natural, café natural y captura de carbono y manejo orgánico incluyendo la captura de carbono y la venta de productos de madera es de 0.8, 2 y 1.9 respectivamente.

El costo neto por Mg C ha⁻¹ capturado se estimó en US \$ 6.3. La relación B/C para la captura de C en un sistema de café bajo sombra es relativamente alta (3.7), sin embargo el aporte económico de esta frente a otros productos (café y madera) es reducido.

La diversidad contenida en los sistemas de café objeto de estudio, puede ser valorada y puesta a consideración para la venta de un segundo servicio ambiental, especialmente en el "sistema de café policultivo tradicional" (CPT); mientras los "sistemas café natural" (CN) y "café monocultivo bajo sombra" (CMBS) pueden incrementar su línea base de carbono incorporando diversas variedades de especies arbóreas.

De acuerdo a la clasificación de sistemas tradicionales de producción de café en México (Moguel y Toledo, 1999), en la zona de estudio se identificó un sistema de café bajo sombra el denominado "*Sistema Rusticano o Tradicional*", que es sin lugar a dudas el sistema menos encontrado en las regiones productoras de café en el país, pues es el que conserva en mayores proporciones las condiciones naturales del lugar donde son introducidos los cafetos, existe también una nula intervención de los productores en la introducción de otras especies, así como una baja destrucción de la vegetación herbácea y arbustiva.

La producción de café orgánico dentro del sistema rusticano es un punto de referencia en el análisis del potencial de captura de carbono y el análisis económico. El manejo orgánico, la estructura horizontal y vertical, la diversidad de especies y la densidad diferencian cada sistema y son indicadores del manejo ejercido en los cultivos.

Los principales servicios ambientales que ofrecen estos sistemas son captura de carbono, regulación hidrológica, mejoramiento, conservación de suelos y biodiversidad. La producción orgánica de café, practicada en la zona de estudio en comparación con el cultivo de café convencional y el uso de otros sistemas amplia en gran medida la oferta de servicios ambientales resultado de las prácticas de manejo amigables con el medio ambiente que desarrollan los productores (medidas de conservación de suelos, diversificación y no utilización de agroquímicos).

La diversidad de especies y el número de estratos en el sistema, desempeñan también un papel importante en la conservación de especies. Investigaciones realizadas por Soto Pinto (2001) y Bandeira (2002) en regiones de las comunidades indígenas Tzotzil y Tzeltal en los estados de Chiapas y Oaxaca, resaltan el hecho que la estructuración vertical y horizontal presente en los sistemas tradicionales de café, juega un importante rol en la conservación de especies a nivel regional, asimismo la oferta de múltiples productos para usos rurales y domésticos. Las características de este sistema hacen que pueda ser incluido en programas como Bird Friendly del Smithsonian Migratory Bird Center, sin embargo es necesario el desarrollo de evaluaciones detalladas de cada parcela con el fin de identificar requisitos a considerar en el proceso de certificación (porcentaje de cobertura del dosel, número de especies que conforman la columna vertebral del dosel, crecimiento de epifitas, manejo de la biodiversidad por parte de productor).

El Carbono de la materia orgánica del suelo es el principal reservorio con aproximadamente el 70 % del Carbono total; asimismo el C en este reservorio es mayor en los sistemas con manejo orgánico. Lo anterior puede ser resultado de características particulares de los suelos y labores de aplicación de compostas. En la biomasa viva el mayor reservorio de C se encuentra en los árboles con diámetros \geq a 10 cm, seguido de los arbustos (cafetos). La mayor acumulación de C en la Biomasa Viva, puede estar en función de la densidad de árboles, tipo de especies utilizadas, edad del sistema y número de estratos presentes (Montagnini y Nair, 2004).

Las densidades de C por sistema en la biomasa viva y la materia orgánica del suelo, son similares a las reportadas por Ávila (2000), Callo (2001) y Rajagolpa (2004) en sistemas de café bajo sombra en Costa Rica, Perú y México respectivamente. En el caso de la BV,

sistemas de cítricos con café y cítricos con café y plátano en el trópico húmedo mexicano almacenaron 56.59 y 61.65 Mg C ha⁻¹, mientras la MOS almacenó 128 y 132.39 Mg C ha⁻¹.

Se resalta el aporte de C que realiza el mantillo (6 Mg C ha⁻¹ aproximadamente) en el reservorio de materia orgánica muerta en CN, CMBS y CPT, como resultado de la acumulación de materiales de hojarasca y tallos en diferentes estados de descomposición (Fassbender, 1991; Schroth y Sinclair, 2003); a su vez el mantillo es uno de los compartimientos más constantes en cantidad de C almacenado en los sistemas evaluados. La alta variabilidad presente en el compartimiento de ramas (> 50 %), puede ser producto de las actividades de poda que se realizan sobre árboles y cafetos, que condicionan de cierta forma la cantidad de materiales leñosos sobre el suelo.

El almacenamiento de Ct es de 124 Mg C ha⁻¹ para un periodo de acreditación de 20 años. La captura neta de C desarrollando un proyecto de mitigación es de 30.54 Mg C ha⁻¹. Teniendo en cuenta la estructuración vertical y horizontal de los sistemas, la captura de C a través de un proyecto de mitigación se facilitaría en los sistemas tradicionales considerando la densidad de árboles presente y la preeminencia de *Manilkara zapota* como columna vertebral de la sombra. La renovación parcial del sombrío con otras especies maderables y el establecimiento de árboles en áreas con bajas densidades son acciones a realizar para este fin; sin embargo el desarrollo y supervivencia del nuevo componente forestal estaría condicionado por las características de la especie, calidad del sitio, nivel de competencia entre cohortes y el manejo y cuidado de la plantación (De Jong, 2000).

Teniendo en cuenta el contenido de Ct en los sistemas CNO, CMBS, CPT de 170.46, 129.82, 215.64 y Mg C ha⁻¹ respectivamente, es de suma importancia la conservación de estos a través del tiempo. La conversión a otros sistemas de producción como la ganadería, traería serias consecuencias ambientales como la emisión de grandes volúmenes CO₂ a la atmósfera.

De acuerdo con Moguel y Toledo (1999), el 60 % de las áreas cafetaleras se encuentran bajo manejo tradicional (420.000 ha); si durante las próximas décadas existieran políticas o crisis económicas que condujeran a la eliminación del 20 % del área cultivada, las emisiones de C a la atmósfera producto solamente de la quema de los reservorios de biomasa viva (BV) y materia orgánica muerta (MOM) alcanzarían el orden de 4.436.880 Mg C, sin incluir los fuertes impactos sobre el suelo, la biodiversidad, regulación hidrológica entre otros.

La difícil situación económica por la que atraviesa el sector cafetalero, hace indispensable implementar nuevas acciones que promuevan el desarrollado sostenible y a su vez mejoren los ingresos de los productores. La evaluación económica de los tres escenarios 1) café natural, 2) café natural, captura de carbono y venta de madera y 3) manejo de café orgánico, captura de carbono y venta de madera, indican que a medida que se integra una nueva estrategia de manejo, los costos y los beneficios incrementan.

Analizando el gran número de actividades necesarias para la producción de café orgánico sin incluir beneficios que se obtienen por la venta de madera y créditos de carbono, la relación B/C es muy baja, esto quiere decir que los esfuerzos que realizan el productor para generar mayor valor agregado en el precio del café y a su vez promover la conservación y manejo de los recursos naturales no es todavía justamente recompensada.

Al integrar solamente el pago por captura de carbono la relación B/C es igual a 3.7. Aunque este indicador es relativamente alto, el aporte económico de la captura de carbono respecto a otros productos es reducido, \$ 6.783 frente a \$ 208.601 por venta de café y \$ 168.972 por venta de madera. El mayor aporte económico en los escenarios, lo genera la venta de la madera a los 20 años; sin embargo el aprovechamiento de este producto es a largo plazo y no garantiza un flujo constante de ingresos a través del tiempo (beneficios muy puntuales en el tiempo).

Como se menciono anteriormente, la renovación de la sombra y el aumento de la densidad de árboles, incrementaría el C que puede ser capturado y por ende los beneficios económicos generados por el pago del servicio ambiental; sin embargo es importante diseñar el sistema de tal manera que mantenga un nivel de sombra adecuado en el cafetal entre el 35 y el 45 % con el fin de sostener niveles adecuados de producción (Soto Pinto *et al*, 2000).

De cierta forma la transformación de un sistema de café convencional a café orgánico integrando la captura de carbono, traería mayor estabilidad al proyecto y mejoraría el nivel de ingresos promedio que percibe el productor.

Los beneficios económicos por la captura de C en los sistemas de café bajo sombra son mínimos, apenas representan el 2 % de los ingresos de los productores. Aunque los costos de implementación son bajos, el pago por el servicio no es lo suficientemente atractivo para el productor; por tal motivo la viabilidad del mismo estaría muy ligada a la presencia de estímulos o subsidios en las etapas de establecimiento y manejo de las plantaciones forestales por parte de la instancia promotora del proyecto.

Otro aspecto fundamental es la diversificación de los sistemas productivos, no solamente con especies maderables sino con árboles frutales y especies agrícolas que puedan generar productos en el corto y mediano plazo. Para tal fin es indispensable desarrollar curvas de crecimiento para árboles frutales, y de esta manera certificar la acumulación de C a través del tiempo. Complementariamente las agencias ejecutoras deben integrar claramente el concepto de diversificación y en lo posible dediquen los recursos que se obtienen por concepto del pago del servicio ambiental, a la promoción de nuevos proyectos productivos que involucren el concepto de desarrollo sostenible y generen mayor impacto en la economía del productor.

CONCLUSIONES

La variabilidad climática ha traído consigo innumerables costos ambientales, -como el derretimiento de los polos-, pero también ha provocado que en la actualidad se busque por diversos medios aminorar las alteraciones causadas por los efectos del calentamiento global a través la implementación de políticas y mecanismos diversos, como lo son el Pago de Servicios Ambientales (PSA).

Este estudio encaminado a conocer la capacidad biológica que posee un sistema agroforestal para prestar un servicio ambiental, como lo es la captura de carbono, es el primer y principal paso para el desarrollo de un proyecto enfocado a la compra-venta de compensaciones de carbono, dentro del marco normativo del Mecanismo Desarrollo Limpio (MDL). Los contextos económico y social, también fueron considerados, pues condicionan en gran medida la funcionalidad y capacidad del proyecto para ser llevado a cabo, así como los beneficios que proyectos de esta índole pueden derramar sobre las comunidades ejecutoras.

Importante también es hacer mención, de que este estudio no fue elaborado en el marco de algún proyecto de carácter institucional o gubernamental y los fondos para su desarrollo y ejecución fueron propios. Así mismo las fuentes encontradas en el Municipio de Pijijiapan resultaron de contactos personales en la zona de estudio.

La captura de carbono es un tema prácticamente novedoso y poco estudiado en México y más aún cuando se habla de su especialización para ciertos cultivos, es por ello que hablar de captura de carbono en sistemas agroforestales de café es una propuesta innovadora, pero compleja, con muchas limitantes para ser llevada a cabo y es este motivo el que impulso el desarrollo de una *Metodología para captura de carbono en cafetales* más simple y aplicable a pequeñas comunidades que no cuentan con los medios necesarios para llevar a cabo proyectos de esta especie. La revisión de proyectos realizados en nuestro país fue la pauta

para el desarrollo de un Manual de Captura de carbono; sin embargo es importante mencionar que éste, sufrió diversas modificaciones realizadas a partir del trabajo de campo, pues la información encontrada en el área de estudio no era del todo homogénea, ni correspondía precisamente a otros estudios realizados por diversas instituciones e incluso fueron omitidas ciertas variables en las mediciones que no pudieron ser consideradas al contarse con el equipo para la toma de esas muestras y esto se tradujo en un extenuante trabajo de gabinete, donde mediante fórmulas y ecuaciones alométricas se busco compensar los faltantes en la información muestreada en campo; siendo esto lo que nos permitió obtener un trabajo de calidad y sobre todo funcional a las necesidades reales de la comunidad productora de café de "El Cerrón".

Los resultados obtenidos arrojan cifras alentadoras que permiten inferir el alto potencial de captura de carbono que se tiene en la cuenca alta del río Pijijiapan y que actualmente no es aprovechado por los productores.

Es por ello que resulta fundamental proporcionar a los productores los conocimientos que les permitan aprovechar los recursos disponibles, así como las herramientas necesarias para gestionar la venta de compensaciones de carbono y otras actividades, como la explotación forestal que en la actualidad es nula, esto debido al grado de conservación que ellos han decidido mantener en la zona.

Los habitantes de la comunidad el Cerrón, son conscientes de la riqueza ecológica en la que se encuentran inmersos, donde productos como el café les retribuyen el cuidado que le dan al suelo. Es por este motivo que impulsar proyectos como la captura de carbono, verterían grandes beneficios a los habitantes de la comunidad, algunos de ellos son:

1. Contribuir a la reducción de los efectos causados por el Cambio climático
2. Incrementar la producción de café de alta calidad.

3. Disminución en la degradación del suelo
4. Contribuir a la mejora de problemas ambientales: calidad del aire y agua
5. Mejores rendimientos y calidad en los cultivos, vegetación y ganado
6. Remuneración económica para mejorar la calidad de vida de los habitantes

Los proyectos de esta índole son a largo plazo, es por ello que se deben definir claramente quien monitoreará la operación del proyecto: Estado o Iniciativa Privada.

Comunidades como "El Cerrón" cuentan con los elementos necesarios para poner en marcha dichos proyectos que impulsen el desarrollo de sus comunidades, así como de mercados tan importantes como el café.

Por último, es necesario mencionar que la metodología empleada y generada a partir de este estudio de caso, puede ser utilizada para diversos sistemas agroforestales del país. Así mismo es importante mencionar que puede ser sujeta a modificaciones que busquen satisfacer las necesidades propias del cultivo, el lugar e incluso con los elementos (infraestructura y apoyo técnico) con que se cuente.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, C.M. *Servicios Ambientales: Captura de Carbono en Sistemas de Café bajo sombra en Chiapas*, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo, México, 2006.
- Arizpe L. y Vazquez M. *Cultura y cambio Global; percepciones sociales sobre la deforestación en la selva Lacandona*, UNAM, 1993.
- Arrieche I. y Pacheco Y. *Determinación de Carbono Orgánico en Muestras de Suelos Mediante dos Procedimientos Analíticos*. Revista Venesuelos. Depósito Legal DLPP92-0468 6(1 y 2): 9-13. Arrieche I. & Y. Pacheco (1992) Determinación de Carbono Orgánico en Muestras de Suelos Mediante dos Procedimientos Analíticos. Revista Venesuelos Depósito Legal DLPP92-0468 6(1 y 2): 9-13. Venezuela 1992.
- Bassols, A. *La Costa de Chiapas: un estudio económico regional*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1974.
- Bass, S. y Dubois, O. *Rural Livelihoods an carbon management*, United kingdom, 2000.
- Beaumont, R. E y Merenson, C. E. *El protocolo de Kyoto y el Mecanismo para un Desarrollo Limpio: Nuevas posibilidades para el Sector Forestal de América Latina y el Caribe. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. Departamento de Montes. FAO. ROMA. 1999
- Bertil, M. *Recopilación de notas sobre técnicas de muestreo usadas en inventarios forestales*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México, 1989.
- Bocco, G. (2004) "Monitoreo de la Cobertura Vegetal en México" En: Reunión Nacional de Geografía, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Toluca, Estado de México, 23 al 25 de junio de 2004
- Burstein, J. *Informe sobre la Propuesta de Pago por Servicios Ambientales en México*, FORO para el Desarrollo Sustentable, A.C. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, agosto de 2000.
- Brown, S. *Estimating biomass and biomass change of tropical forest. A forest resources assessment publication*, FAO, Italia, 2002.
- Cairns, B., A.A. Lacis, and B.E. Carlson, *Absorption within inhomogeneous clouds and its parameterization in general circulation models*. *J. Atmos.* 2000:

- Cotler, H. *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*, INE-SEMARNAT, 2004.
- De Jong, B.H. *Secuestro de carbono en cafetales de México y la cafecultura Chiapaneca, reflexiones y alternativas*. Poblan Ed. Alemania, 2002.
- Díaz, M. *Impacto ambiental en el cultivo y procesamiento del café y su repercusión social*, Universidad de Pinar del Río, Cuba. 2001
- Garduño, R. ¿Qué es el efecto invernadero? Cambio Climático: Una visión desde México, México, INE, 2004.
- Guerra, J. et al. *Manual de Procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales, proyecto FONDEF D98I1076*. Universidad Austral de Chile, Chile, 2001.
- Guzmán, A., I. Laguna y J. Martínez. *Los mecanismos flexibles del protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México, 2004
- Hernandez, V. y Mason R. *Agrosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad y conservación*, INECOL A.C. México, 2008.
- INEGI. *Guía para la interpretación de cartografía, INEGI Uso de Suelo y Vegetación*, México, 1981.
- INEGI. *Síntesis Geográfica de Chiapas*. México. 1985.
- Kandel, S y Herman R. *Compensación por servicios ambientales y comunidades rurales: lecciones de las Américas y temas críticos para fortalecer estrategias comunitarias*, SEMARNAT-INE, México, 2004.
- Lovelock, J. *La venganza de la Tierra*, Planeta, 2007.
- Martínez Limón, Enrique, *Vamos al grano del Café Mexicano*, SAGARPA, México, 2005.
- Masera, O. *Carbon Mitigation Scenarios for Mexican Forests: Methodological Considerations and Results*. Interciencia 20(6): 388-395. 1995.
- Masera, O.R., T. Hernández, A. Ordóñez, y A. Guzmán. "Regional Emissions from Land Use Change and Forestry in Mexico". Instituto Nacional de Ecología,

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, U.S. Country Studies Program. Mexico City. 1997

- Millar, C., Turk, L.M. *Fundamentos de la Ciencia del Suelo*, Continental editorial, España, 1971.
- Miranda, F. *Los tipos de vegetación de México y su clasificación*. Boletín de la Sociedad Botánica de México, Num. 28. México, 1963.
- Miranda, F. *La Vegetación de Chiapas*, segunda parte. Ediciones Gobierno del estado. México, 1976.
- Moguel, P. Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, Instituto de Ecología, 2000.
- Moguel, P. y Toledo, V. El Café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. Ciencias, México. 1996.
- Montagnini, F. *Restauración de los bosques y los suelos con especies nativas-experimentos en Costa Rica y Argentina*. El Ecologista (Costa Rica), dic/ene-1991/92, pp. 3-5. 1992.
- Ordoñez, J.A. *Captura de Carbono en un bosque templado. El caso de San Juan Nuevo, Michoacán*, INE. México, 1999.
- Ordoñez, J. A. y O. Maser. *La captura de carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques*, México, 2001.
- Pagiola, S., N. y Landell-Mills, J. *La Venta de Servicios Ambientales Forestales: Mecanismos Basados en el Mercado para la Conservación y el Desarrollo*. SEMARNAT-INE. México. 2003.
- Paré, L. *Gestión de cuencas y Servicios ambientales: perspectivas comunitarias y ciudadanas*, SEMARNAT-INE, México, 2008.
- Peña del Valle, I. A. *Captura de carbono: Un estudio en el parque nacional La Malinche, Tlaxcala-Puebla*. Tesis de Maestría en Geografía. México, 2003.
- Rendón, C. N. Soto, P.L. *Metodología rápida para la estimación y monitoreo de captura de carbono*, ECOSUR, México, 2007.

- Rzedowski, J. *Vegetación de México*, Limusa, México, 1978.
- Roncal, S. M. *Estimación de carbono en sistemas agroforestales en comunidades indígenas de Chiapas*. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. México, 2006.
- Saenz, A. *El cultivo del Cafeto en México*. Instituto Mexicano del Café, México, 1990.
- Sarukhan, J. *Capital Natural de México Tomo III, Políticas Públicas y Perspectivas de Sustentabilidad*, CONABIO, México, 2008.
- SEMARNAT, *Atlas Geográfico del Medio Ambiente y Recursos Naturales*, México, 2006.
- Soto, P.L. *Diseño de sistemas agroforestales para la producción y la conservación*. ECOSUR, México, 2008.
- Soto, P. L. *Aprovechamiento agroforestal y servicios ambientales (captura de carbono) en comunidades indígenas de Chiapas, México*. ECOSUR, 2001.
- Soto-Pinto L., Anzueto M., Mendoza J., Jimenez G., de Jong B. *Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico*. Agroforestry Systems. 2009.
- Suleimenov, M. Taylor, U. *Climate change and terrestrial carbón sequestration in central Asia*, University of Ohio, UK, 2007.
- Terrence D.P., Sakuran, J. *Arboles Tropicales de México, Manual para la identificación de las principales especies*. Ediciones Universitarias. UNAM, México, 1968.
- Toledo, V. y Moguel, P. *En busca de un café sostenible en México: la importancia de la diversidad biológica y cultural*. Centro de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia Michoacán, México. Ponencia presentada al Primer Congreso del Café Sostenible Smithsonian Migratory Bird Center Washington, D.C., septiembre 16-18, 1996
- Trumper, K. *The Natural Fix? The role of ecosystems in climate mitigation*, Norway, 2009.

- Vargas, A. Mena, A. et al. *La captura de CO₂ en bosques: ¿Una herramienta para la gestión ambiental?*, INE, México, 2002.
- Virginio, E. *Cafetales para servicios ecosistémicos con énfasis en el potencial de sumideros de carbono*, CATIE, Costa Rica, 2008.

Referencias Electrónicas

http://www.communitywindpower.co.uk/climate_change.asp

<http://www.cambioclimaticoglobal.com/causas.html>

<http://www.sciencemag.org/content/334/6052/32.summary?ref=topst>

<http://www.nasa.gov/topics/earth/features/arctic20111002.html>

<http://www.un.org/wcm/content/site/climatechange/lang/es/pages/gateway/>

<http://www.un.org/spanish/News/fullstorynews.asp?NewsID=21098>

http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php

<http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/ONChiapas.pdf>

http://www.pormiscafes.com/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=14

<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/542/cap1.pdf>

<http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/01-5229?journalCode=ecap>

<http://www.hacienda.go.cr/centro/datos/Articulo/EI%20cambio%20climatico,%20principio%20y%20fin%20del%20hombre.doc>

<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/296/cap2.html>

http://cambio_climatico.ine.gob.mx/pmc/espanol/3racircular.pdf

http://cambio_climatico.ine.gob.mx/pmc/espanol/objetivos.html

<http://www.fao.org/DOCREP/ARTICLE/WFC/XII/MS14-S.HTM>

http://flucar.cicese.mx/programa_mexicanodelcarbono.htm

A N E X O S

Formato 2. Cobertura y altura de herbáceas, profundidad de hojarasca y humus

TOMA DE DATOS PARA INVENTARIO DE CARBONO						Hoja ____ de ____	
Proyecto: Metodología para Captura de Carbono en Cafetales en la C. A. del Rio Pijijiapan							
Localidad:			Municipio:				
Nombre del Predio:			No. De		No. De		
Sistema actual:			Conglomerado		Parcela		
TAMAÑO DE LA PARCELA:			Productor:				
Fecha:		Hora:		Levantó:			
Cuadro	Cobertura visual herbáceas (C)*	Altura máxima (cm)	Altura Predominante (cm)	Consistencia de los tallos suculenta (S) leñosa (L)		Profundidad de hojarasca y humus (cm)	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

0 0.15 0.30 0.50 0.80 1



* Las áreas oscuras corresponden a la cobertura de hierbas (porcentaje/100).

Formato 5. General para inventario de carbono

TOMA DE DATOS PARA INVENTARIO DE CARBONO

Hoja ____ de ____

1. Antecedentes Generales

Proyecto: Metodología para Captura de Carbono en Cafetales en la C. A. del Rio Pijjiapan				
Jefe de Brigada:	No. De Conglomerado		No. De Parcela	
Nombre del Predio:				
TAMAÑO DE LA PARCELA				

2. Tiempos de trabajo en Inventario

Fecha	Hora de Inicio	Hora Final	Tiempo muerto aprox (min)	Tiempo Total (minutos)

3. Antecedentes Generales

Tipo Forest	Subtipo	G. de Interv	Posición Top.	Pendiente %	Altura	Lat. y Long.

4. Datos Árboles

no. Arbol	Subparcela	DAP	PS	Calidad del fuste	Altura	Especie
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

TOMA DE DATOS PARA INVENTARIO DE CARBONO

Hoja ____ de ____

1. Antecedentes

Proyecto: Metodología para Captura de Carbono en Cafetales en la C. A. del Rio Pijjiapan

Jefe de Brigada:	No. De		No. De
Nombre del Predio:	Conglomerado		Parcela

2. Tiempos de trabajo en Inventario

Fecha	Hora de Inicio	Hora Final	Tiempo muerto aprox (min)	Tiempo Total (mi)

3. Antecedentes

Tipo Forestal	Subtipo	Grado de Intervención	Posición Topográfica	Pendiente %	Altura	Latitud y L

4. Datos Sotobosque

Subparcela	1	2	3	%	Calidad	Especies
ARBOL						
HERBACEAS						
HOJAS						

5. Pesaje Necromasa

ESTADO	25 m ²
Descompuesto	
Intermedio	
Baja Alteración	

6. Medición Necromasa

Tipo	Peso	Nivel del alteracion

OBSERVACIONES

Formato 6. Encuesta Socioeconómica para habitantes de la Cuenca alta del río Pijijiapan

**ENCUESTA SOCIOECONÓMICA PARA HABITANTES DE LA CUENCA
ALTA DEL RÍO PIJJIAPAN**



Fecha:

No. De encuesta:

GENERALES

1. Edad _____ Sexo: Hombre
Mujer
2. Ocupación _____
3. Lugar de Origen _____
4. ¿Habla alguna lengua? _____
5. Religión _____
6. Estado Civil: Soltero Casado Viudo Divorciado
Unión Libre
7. Escolaridad: Primaria Secundaria Preparatoria Licenciatura
Otro. _____
8. Ingreso Mensual: \$ _____

II. VIVIENDA

1. Tipo de vivienda: Propia Prestada Rentada Inadida
Otra. _____
2. Material de Construcción: Tabique Madera Cartón
Adobe
3. Techo: Cemento Lamina de asbesto Lamina Metálica Cartón
4. Piso: Loseta Cemento Madera Tierra Apisonada
5. Número de personas que habitan su casa:
6. Número de Cuartos:
7. Aparatos con los que cuenta: Televisión Estéreo Lavadora Microondas
Estufa Refrigerador DVD / VHS Computadora Teléfono

III. SALUD

Servicios de Salud con los que cuenta: IMSS ISSSTE Centro de Salud
Dispensario Particular Otro

IV. CONSUMO

1. Alimentos que consume con mayor frecuencia:

2. De donde provienen los alimentos que usted consume

3. Del sistema de transporte en su comunidad

4. Índice de Violencia en su comunidad (robos, asesinatos, secuestros)

5. Recibe algún tipo de apoyo o está inscrito a algún programa del Gobierno (Federal, Estatal o Municipal.)

V. SI EL ENTREVISTADO ES CAFETICULTOR

1. ¿Cuál es la superficie de las tierras destinadas por usted para el cultivo de café?

2. ¿Cuántas variedades de café siembra?

3. ¿Cuánto tiempo tiene dedicándose a esta actividad?

4. ¿Pertenece a alguna organización de productores?

5. ¿Recibe apoyos de SAGARPA o COMCAFE para el mantenimiento de sus cafetales?

6. ¿Considera que es rentable la producción de café?

7. ¿Qué tipo de mantenimiento da a sus cafetales? ¿Usa algún fertilizante?

8. ¿A cuánto ascendió su producción en la última cosecha? ¿A quién vendió la misma?

Observaciones y Comentarios

ANEXO 2.

RESULTADOS DEL TRABAJO DE CAMPO CONVERTIDOS A TABLAS.

1. Vegetación arbórea encontrada en la parcela

No. Árbol	Subparcela	Nombre Científico	Nombre Común	DAP*	Calidad del fuste	Altura
1	I, III y IV	Manilkara Zapota	Chicozapote	2.30-2.70	Buena	< 30 m
2	I, II, III Y IV	Terminalia Amazonia	Guayabo volador	2.00-2.50	Buena	20-30 m
3	I, III y IV	Stemmadenia sp.	Cojon de Burro	2.40-2.60	Buena	< 30 m
4	I, II, III Y IV	Sideroxylon sp.	Tempisque o Sapotillo	.80-1.10	Regular	20-30 m
5	II Y III	Scheelea liebmannii	Coyolillo o coyol	.40-.80	Buena	20-30 m
6	I, II, III Y IV	Garcinia intermedia	Toronjil	1.00-1.60	Buena	20-30 m
7	I, III y IV	Ficus tecolutensis	Amate	1.00-1.40	Buena	20-30 m
8	I, II, III Y IV	Heliocarpus donnell	Majahua	.40-.60	Buena	10-20 m
9	I, II, III Y IV	Rondeleita steroshipon	Palo Blanco	1.60-1.80	Regular	20-30 m
10	I, II, III Y IV	Brosimum alcastrum	Ajah	.80-1.00	Buena	< 30 m
11	III Y IV	Bursea simaruba	Palo Mulato	.40-.60	Buena	10-20 m
12	III	Muntingia calabura	Capulin	.40-.90	Buena	10-20 m

Total de especies:

*Medido a 1.30 m de la base del árbol. En la tabla se presenta el mínimo y máximo del DAP medido.

2. Variedades de Cafetos presentes en la parcela

No. Especie	Especie	Variedad		Altura	Tamaño de la Hoja	Frecu
		Nombre Científico	Nombre Común			
1	Arabica	Catimor	Catimorra	1.80 - 2.00	15-20 cm	!
2	Arabica	Caturra	Caturra	1.80 - 2.00	15-20 cm	!
3	Arabica	-----	Mondonogo	1.60	10 -15 cm	!

*Porcentaje en el que se encuentra presente la especie dentro de la parcela

De la variedad conocida por los productores como Mondonogo, no se encontró el nombre científico, debido a que es una hibridación propia de los productores

3. Materia Orgánica sobre el suelo

Rectángulo 25m2	Peso Hojarasca kg.	Grado de descomposición	Peso de ramas kg.	Grado de descomposición
1	2.075	Alto	0.25	Alto
2	1.750	Alto	0.75	Alto
3	1.820	Alto	0.85	Medio
4	2.235	Alto	0.85	Medio
5	1.680	Alto	1.05	Medio
6	1.740	Alto	0.13	Medio
7	1.525	Alto	0.40	Medio
8	1.347	Alto	1.13	Alto
9	1.236	Alto	0.22	Alto
10	1.565	Alto	0.60	Alto
11	1.585	Alto	1.00	Bajo
12	1.900	Alto	0.80	Alto

4. Muestras del suelo

Muestra	Cuadrante	Peso (g)*		Textura	PH	Color		Con Mater
		Humedo	Seco			Humedo	Seco	
1	I	196	182	Arcillosa	6	5YR 4/6	5YR 5/6	
2	I	185	171	Arcillosa	6	5YR 4/6	5YR 5/6	
3	I	173	165	Arcillosa	6	5YR 4/6	5YR 5/6	
4	II	191	184	Arcillosa	6	5YR 4/6	5YR 5/6	
5	II	190	185	Arcillosa	6	5YR 4/6	5YR 5/6	
6	II	175	166	Arcillosa	6	5YR 4/6	5YR 5/6	
7	III	188	181	Arcillosa	6	5YR 4/6	5YR 5/6	
8	III	182	178	Arcillosa	6	5YR 4/6	5YR 5/6	
9	III	178	169	Arcillosa	6	5YR 4/6	5YR 5/6	
10	IV	195	189	Arcillosa	6	5YR 4/6	5YR 5/6	
11	IV	186	177	Arcillosa	6	5YR 4/6	5YR 5/6	
12	IV	194	189	Arcillosa	6	5YR 4/6	5YR 5/6	

* La muestra fue obtenida con un frasco de volumen conocido para poder calcular la densidad aparente del suelo

ANEXO 3.
ANEXO FOTOGRÁFICO.



Imagen 01. CADER 02 SAGARPA de Pijjiapan Chiapas.



Imagen 02. Presencia de la Actividad pecuaria en la Cuenca del río Pijjiapan.



Imagen 03. DICONSA de la comunidad de San Antonio.



Imagen 04 y 05. Comunidad "El Cerrón"



Imágenes de las Viviendas de la comunidad "El Cerrón".

Imágenes de la Cuenca Baja del rio Pijijapan



Áreas donde la vegetación es desplazada para la introducción de pastizales



Estiaje del Río Pijjiapan



Vestigios de las intensas lluvias de 1998, ocasionadas por el Huracán Mitch.

Camino a la zona de estudio





Vegetación Herbácea encontrada en la zona de estudio



Cajón destinado para el lavado de café

Instalaciones de los productores para llevar a cabo el lavado y secado de café



Vegetación encontrada en la zona de estudio



Garcinia intermedia, conocido por la gente como toronjil, que proporciona un fruto color amarillo muy dulce con grandes semillas.



Obtención de muestras en la zona de estudio



Cafetos sembrados en la zona de estudio, variedad *caturra* en estas imágenes se aprecia su interacción con la vegetación arbórea.



Matas de Café y hojas con flor y fruto aun verdes



Vegetación arbórea y árboles muertos en pie en la zona de estudio





Equipo de Trabajo

