



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Departamento de Suelos

Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible

Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible

***SERVICIOS AMBIENTALES: Captura de carbono en
sistemas de café bajo sombra en Chiapas, México.***

T E S I S

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**

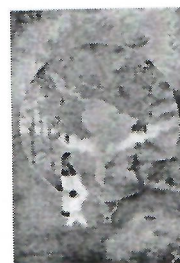


DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

CARLOS MARIO AGUIRRE DAVILA

Chapingo, Estado. de México, Noviembre de 2006

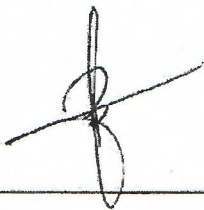


**SERVICIOS AMBIENTALES: Captura de carbono en sistemas de café bajo
sombra en Chiapas, México**

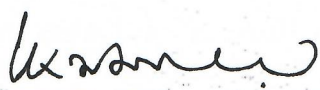
Tesis realizada por Carlos Mario Aguirre Davila, bajo la dirección del comité
asesor indicado; aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERIA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**

DIRECTOR: _____


DR. BERNARDUS H. J. DE JONG

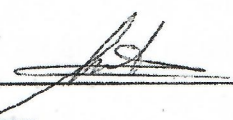
ASESOR: _____


DR. LAKSMI REDDIAR KRISHNAMURTHY

ASESOR: _____


DR. MIGUEL ANGEL VERGARA

ASESOR: _____


DRA. MARIA LORENA SOTO-PINTO

ASESOR: _____


DR. JOSE LUIS ROMO LOZANO

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por su infinita misericordia, Él y su voluntad permite el día de hoy el cumplimiento de un gran sueño. Mil y mil gracias Señor.

A mis padres Mario Aguirre y Luz Stella Dávila, su amor ejemplar digno de imitar. Sus oraciones grandes bendiciones de Dios.

A Mile, hermosa niña que llegó a mi vida para quedarse. Eres un regalo de Dios.

A mis hermanos Rubén y Lina, gracias por su amor fraterno, apoyo y compañía.

A Joint Japan / World Bank Graduate Scholarship Program, por seleccionarme, financiar mis estudios de maestría y brindarme la hermosa oportunidad de conocer otra cultura "El Hermanado Pueblo Mexicano".

A la Universidad Autónoma Chapingo por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría, en especial al Dr. José Luís Romo Lozano, M.C. Miguel Uribe Gómez, Dr. L. Krishnamurthy, Dr. Miguel Ángel Vergara, Dr Miguel Ángel Musalem y Srta Dolores Coronel.

Al Colegio de la Frontera Sur "Ecosur" por brindarme la linda oportunidad de realizar mi estancia de investigación en el estado de Chiapas; en especial al Dr Bernardus H. J. De Jong y la Dra. Maria Lorena Soto Pinto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México "CONACYT", a través de proyecto 46244 SEP – CONACYT, por proveer los fondos para esta investigación.

A mis fieles amigos en las largas jornadas de estudio y trabajo de campo: Víctor Hugo Aguilar, Sandra Roncal y Nelson Rendón.

A las comunidades indígenas de Jol Cacuala, Altamirano, Muquenal, Majoval y Plátanos en el estado de Chiapas. Pueblo de lucha, que no se rinde frente a tanta injusticia y adversidad.

Al Dr. Jorge Castellanos por sus importantes consejos en el área estadística.

A la Cooperativa Ambio por el apoyo logístico brindado.

A mis familiares: Gorritos, Eduardo, Teresita, Martha, Victoria, Natis, Andrés, Sra. Oliva, Don Fernando, Sole, José y Felipe.

A mis amigos: Dra. Maria T. Trujillo, Dr. Héctor Fabio Libreros, Ing. Henry Garzón, Cristina Vargas y Dulce Maria Sánchez.

Al pueblo Mexicano por su hospitalidad durante estos dos años.

SERVICIOS AMBIENTALES: Captura de carbono en sistemas de café bajo sombra en Chiapas, México

ENVIRONMENTAL SERVICES: Carbon sequestration in coffee shade systems in Chiapas, Mexico

Aguirre – Davila C. M., De Jong, B.

RESUMEN

La cafeticultura en México tiene un importante valor social, ambiental y económico. Los sistemas tradicionales de producción de café ofertan diversos productos (madera, frutos, plantas comestibles); y servicios (conservación de suelos y biodiversidad, regulación hidrológica, y captura de carbono). El Cambio Climático es un serio problema en el mundo. Los sistemas de café bajo sombra pueden jugar un importante papel en el almacenamiento y captura de carbono. Las grandes extensiones de estos sistemas en México, permitiría el manejo e implementación de proyectos que integren el pago por servicios ambientales.

El presente estudio se realizó en plantaciones de productores de café en las comunidades indígenas de la región Tzeltal y Tzotzil del estado de Chiapas. Se evaluó el almacenamiento de C en sistemas de Café Natural, Monocultivo Bajo Sombra y Policultivo Tradicional. Asimismo, se valoró económicamente el pago por captura de C.

Los sistemas de café natural, monocultivo bajo sombra y policultivo tradicional, almacenan en promedio 172 Mg C ha^{-1} ; la materia orgánica del suelo es el principal reservorio con 69% de carbono total; la biomasa viva almacena el 27% y la materia orgánica muerta el 4%. Los árboles son el principal reservorio en la biomasa viva con el 60%. Estos sistema ambientalmente son importantes porque almacenan grandes cantidades de carbono, por eso es necesaria su conservación. El potencial de captura de carbono en 20 años en un sistema de café natural se estimó en 30 Mg C ha^{-1} . Sin embargo, el pago por la captura de C no es atractivo al producto ya que solo representa el 2% de los ingresos totales generados en la parcela. La transformación de un sistema de café natural a un sistema de producción orgánico incluyendo la captura de C y la venta de madera, puede ser económicamente más atractivo y una importante fuente de ingresos en el largo plazo (relación B/C de 0.8, frente a una relación B/C de 1.9). Finalmente, es necesario que los gobiernos y las agencias de desarrollo creen incentivos económicos que promuevan la conservación y el pago por servicios ambientales, como los sistemas desarrollados en México y Costa Rica.

Palabras claves: Captura de carbono, sistemas de café bajo sombra, servicios ambientales

ABSTRACT

Traditional coffee shade plantations have significant social, environmental and economic value in Mexico. These systems offer different products (wood, fruits, edible plants); and services (soil and biodiversity conservation, hydrological regulation and carbon sequestration). Global climate change is a serious problem all over the world. Coffee shade systems can play an important role in carbon sequestration. Mexico has large areas covered by coffee shade systems that could facilitate the development of projects that incorporate payment for environmental services.

This study was conducted in coffee plantations run by indigenous communities in the Tzeltal and Tzotzil regions of Chiapas State. Carbon storage was evaluated in Natural Coffee, Shaded Monoculture, and Traditional Polyculture systems. The payment for providing carbon sequestration was evaluated.

Natural coffee, shaded monoculture and traditional polyculture systems stored an average of 172 Mg C ha^{-1} . Soil organic matter is the largest stock representing about 69% of total carbon; living biomass stored 27% and dead organic matter 4%. Trees represent the most important stock of living biomass with 60%. These systems are environmentally very important because they store great amounts of carbon and therefore their conservation is necessary. Carbon sequestration potential over the next 20 years was estimated to be 30 Mg C ha^{-1} in natural coffee systems. Nevertheless, the payment for carbon sequestration alone is not very attractive to the farmer, because it only represents 2% of total income generated by the plot. If a natural coffee system were to be converted into an organic coffee system, in which income would also be generated from carbon sequestration and the selling of timber, this system would be the most attractive alternative economically and could be an important source of income in the long term (B/C of 0.8 compared with B/C of 1.9). Finally, it is necessary for governments and development agencies to create economic incentives that promote conservation and payment for environmental services, such as the systems developed in Mexico and Costa Rica.

Key words: Carbon sequestration, coffee shade systems, environmental services.

CONTENIDO

RESUMEN	v
CONTENIDO	vi
INDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
3. MARCO TEORICO.....	5
3.1 El sistema de producción de café bajo sombra en México.....	5
3.1.1. Crisis cafetalera y algunas alternativas de solución.....	7
3.2. problemática del cambio climático	10
3.2.1 Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto	11
3.2.2. Mecanismos de desarrollo limpio (MDL) en el sector forestal	13
3.3. Captura y almacenamiento de carbono en ecosistemas forestales	15
3.4. Agroforestería y potencial de mitigación.....	16
3.4.1. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales.....	19
4. MATERIALES Y MÉTODOS	21
4.1. El área de estudio	21
4.1.1. Zona Selva (Comunidades de Jol Cacuala y Muquenal)	22
4.1.2. Zona Norte (Comunidades de Altamirano, Plátanos y Majoval).....	23
4.2. Selección de parcelas	25
4.3. Estimación de reservorios de carbono	26
4.3.1. Carbono en biomasa viva (BV).....	27
4.3.1.1. Árboles (A) y arbustos (arb)	27
4.3.1.2. Hierbas (Hb).....	29
4.3.1.3. Carbono en raíces (R)	30
4.3.2. Carbono en materia orgánica muerta (MOM).....	30

4.3.2.1. Ramas caídas en el suelo (RCS)	30
4.3.2.2. Mantillo (M).....	31
4.3.3. Carbono de la materia orgánica del suelo (MOS).....	32
4.4. Análisis estadístico.....	32
4.5. Definición de línea base y escenario de captura de carbono en un sistema de café natural	33
4.6. Análisis económico de la captura de carbono	34
5. RESULTADOS.....	38
5.1. Caracterización ambiental de sistemas agroforestales de café bajo sombra.....	38
5.1.1. Análisis estructural de la sombra	40
5.1.2. Prácticas generales de manejo de cafetales.....	45
5.2. Almacenamiento en reservorios de carbono	46
5.3. Escenarios de captura de carbono	49
5.4. Análisis económico del servicio ambiental: captura de carbono	51
6. DISCUSIÓN	55
7. CONCLUSIONES	61
8. BIBLIOGRAFIA	63
9. ANEXOS	70

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Modelos alométricos empleados en la estimación de biomasa arbórea y arbustiva, en sistemas agroforestales de café bajo sombra	29
Cuadro 2. Parámetros de simulación en CO2FIX, para estimación de flujos de carbono en BV en un sistema de café natural	35
Cuadro 3. 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%	47
Cuadro 4. Créditos temporales de CO2 e (tCERs) generados en el proyecto de mitigación de carbono por hectárea.	53
Cuadro 5. Indicadores financieros de evaluación económica en escenarios de café natural y orgánico, incluyendo captura de carbono por hectárea.	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio, Municipios de Chilón, Jitotol, El Bosque y Larrainzar, Chiapas, México	21
Figura 2. Parcela de Investigación para cuantificación de carbono en sistemas de café bajo sombra.....	27
Figura 3. Estimación de reservorios de carbono A. Levantamiento de parcela para estimación de biomasa arbórea en un sistema Taungya. B. Subparcela de 0.25 m ² , para cuantificación de biomasa herbácea. C. Muestreo de suelo para cuantificación de materia orgánica D. Medición de profundidad de hojarasca y cuantificación de biomasa muerta contenida en el mantillo	28
Figura 4. A. Panorámica región cafetalera del municipio de Larrainzar, Chiapas, México. B. Sistema CMBS C. Sistema CPT D. Sistema CN	40
Figura 5. Índices de Valor de Importancia (IVI %) en sistema de café monocultivo bajo sombra (CMBS)	43
Figura 6. Índices de Valor de Importancia (IVI %) en sistema de café policultivo tradicional (CPT)	44
Figura 7. Índices de Valor de Importancia (IVI %) en sistema de café natural (CN)	44
Figura 8. Densidades 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%.....	48
Figura 9. Flujos de carbono en la BV en el escenario de línea base. Sistema de café bajo natural (CN): cohorte del dosel medio y bajo conformados por <i>Inga edulis</i> y <i>Coffea arabica</i>	49
Figura 10. Flujos de carbono en BV, en un escenario de mitigación de carbono. Sistema de café natural (CN), cohorte de dosel alto, medio y bajo, conformados por <i>Cedrela odorata</i> , <i>Inga edulis</i> y <i>Coffea arabica</i>	50
Figura 11. Flujos de carbono total en BV en un sistema de café natural (CN), entre escenarios de línea base y proyecto de mitigación de carbono	51

1. INTRODUCCIÓN

Se reconoce que las emisiones de gases efecto de invernadero (GEI) vienen en aumento desde la era preindustrial 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 origen en la quema de combustibles fósiles y oxidación de la biomasa residual producto de cambios en el uso del suelo por procesos de deforestación en selvas tropicales (Jaramillo, 2004), con el fin de establecer actividades agrícolas y pecuarias. Según Garduño (2004) el bióxido de carbono (CO_2) es uno de los principales gases que contribuye al incremento de la temperatura por su capacidad de absorber radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda larga.

En el año 1750 las concentraciones de CO_2 en la atmósfera eran de 288 partes por millón (ppm), para el año 2000 de 368 ppm, esto significa un incremento de 31% en poco más de 200 años; estas concentraciones constituyen las mayores registradas en los últimos 420,000 años y la velocidad de cambio no parece tener precedente en los últimos 20,000 años (IPCC, 2001a).

Se estima que el aumento y estacionalidad de los GEI en la atmósfera por la continua emisión de los mismos, provocaría para el año 2,100 una elevación en la temperatura superficial promedio entre 1.4°C y 5.8°C , lo que traería serias consecuencias sobre sistemas biológicos sociales y económicos (IPCC, 2001a)

En México una de las principales fuente de emisión de CO_2 son los cambios de uso del suelo y procesos de deforestación de bosques tropicales. De acuerdo con Masera *et al.*, (1997) y Cairns *et al.*, (2000), 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 CO_2 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.

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 (2001a) 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 en la biomasa viva aérea 9, 21, 50 y 63 Mg C ha⁻¹ en regiones semiaridas, subhúmedas, húmedas y templadas respectivamente; el potencial de almacenamiento de carbono 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 un 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 biodiversidad) a las comunidades que los manejan y población en general. 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 practicas 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.

Según 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 componentes clave en la dinámica y conformación de reservorios estables de carbono.

El presente estudio persiguió evaluar el almacenamiento de carbono en tres sistemas de café bajo sombra; complementariamente se analizó el potencial de captura de carbono y el impacto que genera el pago de este servicio en la economía del productor.

2. OBJETIVOS

1. Caracterización ambiental de tres sistemas de producción de café bajo sombra con potencial para captura de carbono.
2. Estimación de los reservorios de biomasa viva, materia orgánica muerta y materia orgánica del suelo.
3. Definición del potencial de mitigación de carbono en biomasa aérea en un sistema de café bajo sombra.
4. Valoración económica del pago de servicio ambiental "captura de carbono" en un sistema de café bajo sombra.

3. MARCO TEORICO

3.1 EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ BAJO SOMBRA EN MÉXICO

La cafeticultura en México tiene un importante valor económico, social y ambiental; más de 4,300 comunidades en 12 estados de la república y 411 municipios derivan gran parte de su sustento del manejo de este cultivo. Se estima que la superficie cultivable es de 700,000 ha y la producción de café la realizan principalmente familias campesinas e indígenas a pequeña escala. El 92% de la superficie cultivada se concentra en predios menores a 5 ha o 70% con menos de 2 ha, lo que representa el 65% de la superficie cafetalera del país y casi la mitad del total de la producción (Moguel y Toledo, 1996).

México es el cuarto país productor de café después de Brasil, Colombia y Vietnam, y el primer exportador de café orgánico a nivel mundial. En los años ochenta el café generó el 36% del valor de las exportaciones agrícolas y ocupó el quinto lugar por superficie cosechada antecedido por el maíz, el frijol, el sorgo y el trigo. En los años 70, contribuyó con US \$ 100 millones a la economía, esta cifra fue cuadruplicada para 1976 y en 1994 generó divisas por US \$ 700 millones. Esta situación hizo del café uno de los principales cultivos de exportación del país (Nestel, 1995). Como actividad agrícola ocupa cerca de 3 millones de personas en los procesos de producción y comercialización.

Las principales zonas cafetaleras se encuentran en las vertientes del Golfo de México y del Pacífico en los estados de Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Guerrero e Hidalgo. Asimismo es representativo que gran parte de las áreas de café se encuentran en regiones de alta biodiversidad de flora y fauna, designadas por la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) como áreas prioritarias de conservación por el alto número de especies endémicas presentes y remanentes de extensas áreas de ecosistemas de selvas altas y medianas, selvas bajas caducifolias, bosques de

encinos y bosques mesófilos de montaña (Moguel y Toledo, 1996; Moguel y Toledo, 1999).

La producción de café en México a diferencia de los sistemas altamente tecnificados en países como Brasil y Colombia, se realiza en sistemas tradicionales, caracterizados por la presencia de un dosel de árboles diverso. Estructural y florísticamente ofertan gran número de productos (madera, leña, frutos, plantas comestibles y medicinales) y servicios (conservación de suelos, regulación hidrológica, captura de carbono (C), conservación de biodiversidad) (Pohlan, 2002; Perfecto *et al.*, 1996, Perfecto *et al.*, 2005).

De acuerdo con Moguel y Toledo (1999), existen cinco sistemas de producción de café que difieren por el nivel de manejo agroecológico, la vegetación y la complejidad estructural. El café en los sistemas *rusticano* y *policultivo tradicional* se cultiva bajo el dosel de bosque natural; estructuralmente y florísticamente son los más complejos. *Policultivo tradicional* a diferencia del *rusticano* presenta mayor grado de manipulación del ecosistema nativo, donde se introducen, promueven y toleran diversas especies vegetales configurando los denominados agrobosques con gran variedad de árboles, frutales, arbustos y hierbas comestibles para uso medicinal y alimento en la unidad familiar y/o venta en mercados locales. Estos sistemas presentan relativamente bajos niveles de producción, no emplean productos de síntesis química y su manejo esta condicionado por los conocimientos y prácticas agroecológicas ancestrales de comunidades indígenas especialmente (Bandeira *et al.*, 2002).

En términos de biodiversidad los sistemas mencionados son importantes refugios de flora y fauna, principalmente en áreas donde existe alta fragmentación de ecosistemas y pérdida de bosques naturales por procesos de deforestación. Teniendo en cuenta que estos sistemas presentan mayor diversidad de estratos y una cubierta arbórea mas estructurada, pueden albergar diferentes formas de vida: epifitas (Loranthaceae y Orquidiaceae), arbustos, árboles y especies animales como artrópodos, aves, anfibios, reptiles y mamíferos (Perfecto *et al.*, 1996). En la actualidad existen programas de

conservación de especies de aves y plantas en estos agroecosistemas (Mas y Dietsch, 2004).

El sistema *policultivo comercial* parte de la eliminación total de la cobertura forestal y la introducción de especies con buenos atributos de sombra para el café y generación de productos; para tal fin se emplean especies como *Inga spp*, caucho (*Castilla elastica*), cedro (*Cedrela mexicana*), cítricos, banano, pimienta, guayaba entre otros. Otros sistemas como el *monocultivo de café bajo sombra* y el *café bajo sol*, son los más simples estructuralmente y fueron promovidos en los años 70 por el hoy extinto Instituto Mexicano del Café "INMECAFE" (Agencia responsable del mercado y producción de café en México) con una orientación netamente hacia el mercado. El primero se caracteriza por presentar un dosel muy especializado con árboles del género *Inga*, el segundo presenta alta tecnificación y se cultiva a libre exposición. La sustentabilidad de estos sistemas finalmente esta muy condicionada al uso de agroquímicos.

3.1.1. Crisis cafetalera y algunas alternativas de solución

Las políticas de globalización promovidas por organismos multilaterales como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, empujan a los países del tercer mundo al liberar el comercio y buscar un crecimiento orientado a la exportación en sus áreas de ventajas comparativas. Inicialmente el café se comercializaba en un mercado regulado a través del Acuerdo Internacional del Café. Los países productores y consumidores acordaban niveles de producción y definían cuotas de exportación con el fin de controlar la sobreproducción y mantener un precio relativamente estable.

En el año 1,989, desacuerdos comerciales entre los países miembros de la Organización Internacional del Café generan la ruptura del pacto cafetero a nivel mundial y su ingerencia en la regulación de cuotas y bandas de precios. Esta crisis llevo a la liberalización del mercado que trajo como consecuencia una abrumadora caída del precio internacional del café, respecto a los precios

registrados en los años 80 y parte de los 90. La situación llegó a ser tan crítica que los precios de venta no solventaban los costos de producción.

Complementariamente se suman otros aspectos de importancia que ahondan hoy la crisis del café en el mundo (Gresser y Tickell, 2002):

1. Distribución inequitativa de los beneficios generados en la cadena productiva, donde las grandes multinacionales y tostadoras obtienen los mayores márgenes de ganancia respecto a los pequeños productores.
2. Reducción en la calidad de café y generalización de mezclas estandarizadas que conlleva a una caída del precio, donde las compañías procesadoras aprovechan la situación para obtener materias primas a muy bajo costo.
3. Grandes volúmenes de producción en países como Brasil y Vietnam con el ánimo de competir y acaparar mercados (producción intensiva en grandes extensiones y altos niveles de tecnificación).

De acuerdo a la problemática mencionada, los mayores perjudicados son los pequeños productores, representados en un sinnúmero de comunidades rurales las cuales por sus condiciones económicas y tecnológicas no pueden competir. En el caso de México miles de campesinos indígenas que subsisten de la actividad cafetalera en sistemas tradicionales de producción están sumergidos en una grave crisis, donde la extrema pobreza y la incapacidad de suplir necesidades básicas de alimentación, educación, salud y vivienda crecen cada día.

Frente a la problemática han emergido iniciativas de mercado específicas por parte de organizaciones de carácter internacional y nacional aplicadas en países como México, Guatemala, El Salvador, entre otros, que promueven un precio justo de compra de los consumidores hacia los productores. Programas de certificación como el Comercio Justo, Bird Friendly del Smithsonian Migratory Bird Center, ECO-OK del Rainforest Alliance, Café especiales y de

altura, son agentes dinamizadores de cambio en las practicas de producción y comercialización, y es así como a través de estos existe una relación mas directa y fluida entre el productor y el consumidor, donde se aprovecha la libertad de elección de este ultimo para promover la integración del componente social y ecológico. Estas iniciativas aunque no son la solución final del problema, contribuyen y mejoran ciertos indicadores socioeconómicos en las vidas de las familias campesinas productoras.

De acuerdo con Barton *et al.*, (2002) y Vanderhoff (2005), estos programas de certificación tienen como principios, la producción sustentable de café desde el punto de vista ambiental (garantizando la conservación y buen manejo de los recursos naturales), social (involucrando la organización comunitaria y la autogestión), calculo integral de los costos de producción y transferencia total al precio de venta y relación directa de comercialización entre el productor y el consumidor.

Considerando que la producción de café en México se realiza principalmente bajo plantaciones tradicionales y de acuerdo al potencial que poseen para ofertar bienes y servicios ambientales, los productores involucrados en estas iniciativas, desarrollan practicas de manejo agroecológico y orgánicas específicas para obtener un producto con altos estándares de calidad y satisfacer demandas de consumo puntuales (nichos de mercado), y a su vez contribuir con la conservación de la biodiversidad y manejo del medio ambiente. Asimismo el consumidor conciente, al conocer todas las actividades desarrolladas y beneficios sociales y ecológicos que se generan, elige los productos cuyos precios expresan la verdad a cerca del precio de costo real de producción.

Como se mencionó los sistemas tradicionales de producción de café en México, estructural y florísticamente ofertan gran número de servicios ambientales. Durante las ultimas tres décadas, la captura de carbono es uno de estos servicios ambientales que toma mayor relevancia a nivel global, dada la grave crisis ambiental generada por el fenómeno de cambio climático. Autores como

De Jong *et al.*, (1997a) y van Noordwijk *et al.*, (2002), resaltan el importante papel que pueden cumplir los sistemas de café bajo sombra y otros sistemas agroforestales y de manejo forestal en el proceso de captura de CO₂ y conformación de reservorios estables de carbono.

En México como punto de referencia, durante las últimas décadas se vienen desarrollan iniciativas pilotos como el proyecto Scolel té con productores indígenas en las regiones Tzeltal y Tzotzil del estado de Chiapas, que promueven la inclusión del concepto de pago de servicios ambientales, a través del establecimiento y manejo comunitario de plantaciones forestales y agroforestales en los sistemas de uso de la tierra presentes, con el fin de capturar carbono para mitigación de cambio climático y generación de beneficios socioeconómico a los productores (De Jong *et al.*, 1997b).

3.2. PROBLEMÁTICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

En las últimas décadas el calentamiento global generado por el incremento y acumulación de gases efecto de invernadero (GEI) en la atmósfera tiene mayor relevancia en las agendas políticas y ambientales los gobiernos mundiales. Esta problemática estrechamente relacionada con la emisión de GEI de tipo antropogénico, esta provocando serios cambios en los sistemas biológicos, físicos y socioeconómicos.

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 2) cambios en los regímenes de precipitación en diversas regiones del mundo, 2) aumento en el número de tormentas tropicales e inundaciones, 3) retiradas generalizada de las capas de hielo polar y no polar, y aumento en el nivel medio del océano (fusión de los glaciares y capas de hielo del Ártico y el Antártico), 4) 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, 5) reducción de la disponibilidad y calidad de alimentos, 6) alteración de la productividad ecológica y la diversidad con riesgo creciente de modificación de hábitats y extinción de especies vulnerables, 7) escasez de agua en muchas zonas del mundo y reducción de las reservas de agua potables disponible, 8) disminución en los volúmenes de cosechas y 9) cambios negativos en el sector comercial, medidos por cambios en el producto interno bruto (PIB) de las naciones principalmente de escasos recursos y/o en vía de desarrollo (IPCC, 2002).

3.2.1 Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto

Con el fin de hacer frente al cambio climático, las naciones en pleno producto de la Cumbre de Río realizada en Brasil en el año de 1992, tomaron la decisión de emprender medidas relevante 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 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 1,990. El Anexo II, lo constituye un subconjunto de países donadores miembros de la OCDE. Estos países deben facilitar recursos a los países en desarrollo No anexo I constituido por todas las demás Partes (economías emergentes y países en vía de desarrollo), para que emprendan esfuerzos de mitigación y desarrollen capacidades de adaptación.

Complementariamente se creó un mecanismo enérgico y jurídicamente vinculante entre las Partes denominado El Protocolo de Kyoto, el cual pide a los países industrializados incluidos en el Anexo I, excepto los Estados Unidos que no participa, reduzcan sus emisiones de GEI en aproximadamente un 5% por debajo de los niveles de 1,990 para el periodo 2,008 – 2,012. El Protocolo de Kyoto, 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 en países del No anexo I. 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.

3.2.2. Mecanismos de desarrollo limpio (MDL) en el sector forestal

Los ecosistemas forestales pueden capturar cantidades significativas de bióxido de carbono (CO₂), principal GEI. En las últimas décadas ha surgido un interés considerable por incrementar el contenido de carbono en la vegetación terrestre mediante la conservación forestal, la reforestación, la agroforestería y otros métodos de manejo del uso de suelo. Gran número de estudios han demostrado el gran potencial que poseen los bosques y los agroecosistemas para almacenar carbono.

Durante el Acuerdo de Marrakech en el año 2,001, 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 carbono 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 2,008 – 2,012). Los países en desarrollo ven 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 carbono 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 captura de CO₂ atmosférico en el balance final. Lo anterior se conoce como adicionalidad y es calculado comparando 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 del 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 el 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 y reducciones. El plan de monitoreo que constituye la base de verificación futura, debe proporcionar certeza, que

la reducción de emisiones se realiza y que los otros objetivos del proyecto están siendo alcanzados.

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

3.3. CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN ECOSISTEMAS FORESTALES

Se reconoce a nivel global que el almacenamiento de carbono en los suelos gestionados y la captura de carbono tras la reversión de tierras agrícolas excedentes a ecosistemas naturales son uno de los principales mecanismos a través de los cuales se pueden incrementar los reservorios de carbono en la tierra (IPCC, 1996).

En la reversión de tierras agrícolas a ecosistemas naturales, la conservación y el manejo de los bosque juegan un importante rol en el proceso de mitigación; para efectos existen tres categorías de manejo forestal que pueden ayudar a reducir el carbono presente en la atmósfera: 1) captura de carbono a través de forestación, reforestación, agroforestería y restauración de suelos degradados mediante técnicas de manejo silvicultural que incrementen las tasas de crecimiento, 2) conservación de carbono contenido en la biomasa, a través de la ordenación, protección de reservas naturales, control de la deforestación e incendios y regulación de los regimenes de explotación de bosques naturales, 3) sustitución de carbono, mediante el incremento de la conversión de biomasa en productos de madera duraderos, incremento en el uso de biocombustibles y plantaciones bioenergéticas (Masera, 1995).

La captura de carbono en un ecosistema natural gira fundamentalmente sobre procesos biológicos y ecológicos de fotosíntesis, respiración y descomposición. La productividad primaria neta de un ecosistema (PPN) es el principio de acumulación de biomasa y materia orgánica del suelo. Las plantas adquieren el CO₂ atmosférico por difusión a través de los estomas, el cual reacciona con el complejo enzimático rubisco, formando carbohidratos que son almacenados en los tejidos de la planta. La cantidad de CO₂ que se captura y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis, se conoce como producción primaria bruta (PPB). La mitad de la PPB se incorpora en los tejidos vegetales como incrementos de biomasa en el tallo, ramas, hojas y raíces, la otra mitad regresa a la atmósfera como CO₂ debido a la respiración autótrofa de los tejidos vegetales (Jaramillo, 2004).

El carbono orgánico en el suelo también es transferido vía exudado de raíces, hojarasca, madera y raíces muertas, mediante procesos de descomposición biológica y química por parte de microorganismos; la respiración heterotrófica de estos materiales libera grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera, solo una pequeña proporción de carbono es finalmente almacenada en el suelo. (Beedlow *et al.*, 2004). Considerando lo anterior, el almacenamiento de carbono en un ecosistema es la diferencia entre el carbono capturado (en la biomasa viva y materia orgánica del suelo) y el respirado autótrofa y heterotróficamente (Waiting y Schlesinger, 1985).

3.4. AGROFORESTERÍA Y POTENCIAL DE MITIGACIÓN

El potencial de los sistemas agroforestales (SAF) para captura de carbono, ha sido evaluado por diferentes autores (Dixon, 1995; De Jong, 2000; Orlando *et al.*, 2002; Montagnini y Nair, 2004). De acuerdo con el Centro Internacional de Investigación en Agroforestería "ICRAF" (Nair, 1993), agroforestería se define como aquellos sistemas de uso de la tierra donde especies leñosas perennes se usan y manejan deliberadamente junto con cultivos agrícolas y/o animales y

donde las interacciones ecológicas y económicas entre componentes surgen de los arreglos espaciales y/o temporales.

Los SAF juegan un importante papel al proveer diferentes rangos de productos (leña, madera para construcción, frutos, plantas comestibles, aceites, resinas, gomas, forraje) y servicios (control de malezas, captura de carbono, fijación biológica de nitrógeno, conservación del agua, suelo y su fertilidad, regulación térmica e hidrológica, conservación de biodiversidad) (Krishnamurthy y Avila, 1999).

La agroforestería tiene como objetivos principales aumentar la oferta y el rendimiento de los productos obtenidos, así como mantener la fertilidad del recurso suelo para mejorar el nivel de vida de los productores. Los impactos positivos de la agroforestería se pueden traducir en: búsqueda de la seguridad alimentaria en las comunidades rurales, autosuficiencia productiva, conservación de recursos naturales, reducción de la presión y degradación de ecosistemas naturales, organización comunitaria a través de procesos de autogestión (Nair, 1993). El principio básico es validar y maximizar los beneficios de las interacciones entre suelo, plantas, animales, medio ambiente y hombre por medio de prácticas adecuadas, que hagan frente a la problemática en una comunidad o región.

Los sistemas agroforestales pueden ser importantes reservorios de carbono en el tiempo, dependiendo de la productividad que posean, la finalidad para la cual hayan sido diseñados y las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrollan; asimismo el almacenamiento de carbono en la biomasa viva y la materia orgánica del suelo juegan un importante rol dentro de esta dinámica (Oelbermann *et al.*, 2004). La acumulación de carbono es más evidente en la biomasa viva presente en árboles y arbustos, los rangos de almacenamiento de carbono en la biomasa viva dependen principalmente de la proporción de árboles presentes (Montagnini y Nair 2004).

De acuerdo con Young (1997), la producción de materia seca en la biomasa aérea en diferentes SAF y regiones ecológicas varía desde $2.3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a $48 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, dependiendo del número de componentes, estratos y arreglos espaciales y temporales; asimismo la producción de biomasa subterránea (raíces) puede variar de $1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a $4.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

La mitad del carbono asimilado es eventualmente transportado para crecimiento de las raíces y parte es transferido al suelo vía exudado de raíces vivas y materiales orgánicos muertos, sujetos a procesos de descomposición por parte de microorganismos (Fassbender, 1993). Los principales factores que actúan sobre la evolución de la materia orgánica del suelo y su estado de residencia, concierne al tipo de vegetación presente, ingreso de residuos, composición química de los materiales, factores climáticos (temperatura y humedad), propiedades del suelo como textura, contenido y mineralogía de arcillas y nivel de acidez presente (Young, 1989).

Uno de los objetivos fundamentales de la agroforestería es la gestión de la MO del suelo. La materia orgánica como componente importante del suelo provee de nutrientes a las plantas, estabiliza la estructura e incrementa la capacidad de intercambio catiónico (Schroth y Sinclair, 2003). La construcción de reservorios estables de materia orgánica a través de prácticas adecuadas de manejo y conservación que permita la incorporación de materiales orgánicos al suelo (residuos vegetales producto de podas, compostas entre otros), permitiría no solo mejorar características físico – químicas, sino a su vez convertirlo en un importante reservorio de carbono en el proceso de mitigación.

Los SAF almacenan aproximadamente 9, 21, 50 y 63 Mg C ha^{-1} , en regiones semiáridas, subhúmedas, húmedas y templadas respectivamente, asimismo el almacenamiento de carbono total (Ct) se estima entre 12 a 228 Mg C ha^{-1} (Schoeder, 1994). De acuerdo con Oelbermann *et al.*, (2004), el potencial de almacenamiento de C en biomasa viva en SAF de zonas tropicales es de $2.1 \times 10^9 \text{ Mg C año}^{-1}$, mientras en zonas templadas es de $1.9 \times 10^9 \text{ Mg C año}^{-1}$.

En el caso de México, experiencias de captura de carbono desarrolladas por el proyecto Scolel té, en las regiones Tzeltales y Tzotziles del estado de Chiapas, estiman que el potencial de captura de carbono de sistemas agroforestales en zonas subtropicales y tropicales, puede oscilar entre 40 a 80 y 60 a 140 Mg C ha⁻¹ respectivamente (De Jong *et al.*, 1997b).

3.4.1. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales

En el trópico húmedo mexicano, Rajagopal (2004) estimó la cantidad de carbono almacenado en SAF de cítricos en diferentes arreglos espaciales y componentes (asocio café, plátano, pasturas). Los sistemas cítrico – café – plátano, cítrico – café, cítrico – pastura y cítrico plátano almacenaron 196, 186, 181, 144 Mg C ha⁻¹ respectivamente. El carbono contenido en la biomasa aérea osciló entre 41 y 75 Mg C ha⁻¹, la mayor cantidad se encontró en los árboles, el cual fue cinco veces mayor al carbono almacenado por arbustos y hierbas. La distribución del carbono en este reservorio mostró variaciones marcadas por el tipo de especies arbóreas, densidad, regímenes de manejo y edad de los sistemas.

El carbono en la materia orgánica del suelo fue mucho mayor en comparación al carbono presente en la biomasa aérea, el almacenamiento osciló entre 101 y 129 Mg C ha⁻¹ a 0.3 m de profundidad, representando el 58% al 75% del carbono total. El autor concluyó que los SAF con alto nivel de complejidad de estratos y especies arbóreas almacenan mayor cantidad de carbono, por lo tanto recomendó reforzar estudios para identificar el diseño de sistemas complejos y regímenes de manejo apropiados a fin de capturar y mantener la mayor cantidad de carbono en diferentes condiciones biofísicas y socioeconómicas

Evaluaciones sobre almacenamiento de carbono en cuatro SAF en suelos Andisoles de Costa Rica, indicaron que el sistema que almacenó más carbono fue café – *Erythrina poeppigiana* de 10 años (195 Mg C ha⁻¹), seguido de café – *Eucalyptus deglupta* de 8 años (169 Mg C ha⁻¹), *Brachiaria brizantha* – *Acacia*

mangium de 3 años (96 Mg C ha^{-1}) y *B. brizantha* – *E. deglupta* de 3 años (95 Mg C ha^{-1}). Al comparar los reservorios de carbono de biomasa aérea y materia orgánica del suelo a 0.25 m de profundidad, más del 90% del carbono se encontró en este último. Los autores concluyeron que el suelo es el principal reservorio y que la cantidad de carbono almacenado en cada SAF dependen del clima, las condiciones edáficas y el manejo que se brinde al sistema (Ávila *et al.*, 2001).

Estudios realizados en la Amazonia peruana confirman nuevamente el hecho, que la mayor cantidad de carbono se encuentra en el suelo. Sistemas como huerto casero, café bajo sombra y silvopastura almacenaron 196, 193 y 120 Mg C ha^{-1} respectivamente, de los cuales más del 58% se encontró en el suelo. El autor concluyó además que los árboles son también un importante reservorio (30% del Ct) después del suelo (Callo, 2001).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. EL ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en un área con potencial para la producción de cafés especiales tipo “Altura”, en un rango altitudinal de 860 a 1,530 msnm, en los municipios de Chilón, Larrainzar, El Bosque y Jitotol de Zaragoza, estado de Chiapas, México. Se seleccionaron cinco comunidades indígenas las cuales desarrollan prácticas de producción de café bajo diferentes manejos agroecológicos y tipo de sombra. Las comunidades seleccionadas fueron: Jol Cacuala y Muquenal, ubicadas al noreste de Chilón, Majoval al noroeste de Larrainzar, Plátanos al suroeste de El Bosque y Altamirano al noreste de Jitotol de Zaragoza (Ver Figura 1).

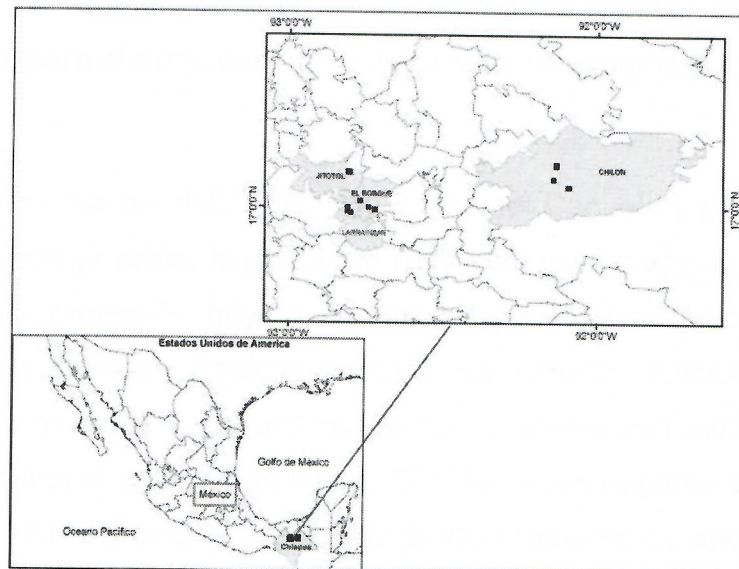


Figura 1. Área de estudio, Municipios de Chilón, Jitotol, El Bosque y Larrainzar, Chiapas, México

4.1.1. Zona Selva (Comunidades de Jol Cacuala y Muquenal)

Las comunidades de Jol Cacuala y Muquenal, se encuentran en el municipio de Chilón. Las dos comunidades son de tenencia ejidal. En este municipio, el 78% de los habitantes son indígenas y pertenecen a la etnia Tzeltal.

La región se encuentra en la zona subtropical; presentan clima calido a semi-calido húmedo (A) C (m) (García, 1988). Existe un gradiente altitudinal que va desde los 800 a 1,270 msnm, con una precipitación media anual en la parte alta de 1,200 a 1,500 mm, y en la parte media y baja de 2,000 mm (INEGI, 1993). Las lluvias se distribuyen en la mayor parte del año, siendo los meses de abril y mayo los mas calurosos. La temperatura media anual es de 22°C. El relieve presenta altos y bajos que imprimen un aspecto accidentado entre cordilleras, cerros y montañas. Los suelos se clasifican según FAO como Regosoles. En las comunidades de Jol Cacuala y Muquenal, la vegetación es Bosque Mesófilo de Montaña y Selva Alta Perennifolia respectivamente (INEGI, 1984). En los dos sistemas de vegetación, la población práctica el sistema de roza, tumba y quema (RTQ), para el establecimiento de cultivos de temporal, especialmente la milpa.

De acuerdo al censo del INEGI del año 2,000, Jol Cacuala y Muquenal poseen alto índice de marginación; la población para este mismo año era de 139 y 215 habitantes; en promedio hay 6 miembros por hogar. Existe un precario cubrimiento en servicios básicos como agua potable, baterías sanitarias y drenaje. Los materiales constructivos de las viviendas son madera y tejas de zinc, el piso generalmente es de tierra. El 70% de los hogares poseen energía eléctrica y el 100% cocinan con leña. El grado promedio de escolaridad en las dos comunidades no supera el tercer año de primaria.

La principal actividad económica es la agricultura, fundamentada en el cultivo de café y milpa. Las actividades agrícolas son consideradas de subsistencia; el manejo de la milpa garantiza de cierta forma la producción de alimentos para el consumo familiar. Las principales especies en el este sistema son maíz, frijol,

chayote, calabaza, especies medicinales entre otras. La producción de maíz y frijol oscila en 1 t ha^{-1} y 0.4 t ha^{-1} respectivamente. El cultivo de café se encuentra bajo dosel de árboles remanentes del bosque natural, regeneración natural y/o siembra; también se encuentran asociadas especies de interés para la economía familiar como plátano, cítricos, guayaba, zapote y aguacate. Los cafetales son manejados convencionalmente (bajos niveles de insumos y mano de obra) y la gran mayoría no están certificados orgánicamente. La comercialización se realiza principalmente a través de intermediarios.

4.1.2. Zona Norte (Comunidades de Altamirano, Plátanos y Majoal)

Las comunidades de Altamirano, Plátanos y Majoal, se encuentran ubicadas en los municipios de Jitotol, El Bosque y Larrainzar respectivamente. Las tres comunidades son de tenencia ejidal. En los tres municipios el 75% de la población es indígena y la gran mayoría pertenece a la etnia Tzotzil.

La región se encuentra en la zona subtropical. Los principales climas son semicalido húmedo y calido húmedo, los dos con abundantes lluvias en verano. La precipitación oscila entre 1,000 y 2,000 mm, la temperatura fluctúa entre 18 y 28°C; la temperatura más baja se presenta durante el invierno. Predominan pliegues fallados y laderas prolongadas que son surcadas por arroyos que derivan de las montañas hacia los ríos en las zonas bajas. Los suelos se clasifican según FAO como Luvisoles en la comunidad de Altamirano y Feozones en las comunidades de Plátanos y Majoal. En las tres comunidades, se pueden encontrar dos tipos de vegetación, Bosque Mesófilo de Montaña y Selva Alta Perennifolia. En estos sistemas de vegetación la población practica la roza-tumba-quema (RTQ) para el establecimiento de milpa y cultivos permanentes como el café.

La zona presenta mediano y altos índices de marginación; según el INEGI para el año 2,000 la población en las comunidades de Altamirano, Platanos y

Majoval era de 432, 1,675 y 785 habitantes respectivamente y en promedio hay 6 miembros por hogar. Mas del 50% de la población cuenta con servicios de sanitarios, agua entubada y drenaje. Las viviendas se construyen generalmente con madera y tejas de zinc; en algunas viviendas las paredes y los pisos son de ladrillo y cemento. Más del 80% de los hogares cuentan con energía eléctrica y todos cocinan con leña. El grado promedio de escolaridad alcanza el tercer año de primaria.

La principal actividad económica es la cafeticultura. En la región existen diferentes organizaciones comunitarias (Organizaciones de Solidaridad Social como J'amteletic, Ureafa), que promueven la comercialización del café con criterios de producción orgánica, sostenible y comercio justo. La producción de café se realiza generalmente bajo sombra mono—específica de *Inga spp*, o sombrío diversificado; asimismo existe mayor rigurosidad en el manejo agroecológico del café y cuidado del medio ambiente.

La organización comunitaria frente a la producción de café ha permitido dotar de infraestructura a muchos productores para mejorar procesos de transformación primaria (manejo, cosecha y beneficio húmedo). Dichas organizaciones buscan producir café de alta calidad que posibilite el acceso a mercados internacionales y de esta manera obtener un sobreprecio que mejore ciertos indicadores de ingresos en las familias. Paralelamente se practica la milpa, siendo una actividad agrícola cotidiana con la cual se garantiza el suministro de alimentos para el consumo familiar. Las principales especies encontradas en este sistemas son el maíz, frijol, chayote y calabaza.

Para el caso de las dos zonas (Selva y Norte) donde se realizó el estudio, algunos ejidatarios poseen ganado vacuno en pequeñas áreas de pastura nativa (< 1 ha). El manejo de este sistema de producción se realiza con bajo nivel de insumos y cargas menores a 3 unidades animales ha^{-1} . Se resalta también la cría de especies menores como aves y porcinos y en algunos casos abejas para la producción de miel en los traspacios de las viviendas. Las actividades mencionadas se consideran en cierta medida como fuente de

ahorro y se emplea en momentos de fuertes necesidades económicas o gastos inesperados en los hogares.

4.2. SELECCIÓN DE PARCELAS

La investigación se llevó a cabo en parcelas de productores de café en las comunidades relacionadas; la fase de campo, se realizó durante los meses de febrero, marzo, abril y mayo de 2,006. De acuerdo a entrevistas con especialistas, fuentes secundarias (Soto – Pinto *et al.*, 2000; Soto – Pinto *et al.*, 2001; Peeters *et al.*, 2002) y recorridos de campo, fueron seleccionadas esas comunidades teniendo en cuenta la presencia de los sistemas de café objeto de estudio, cada uno identificado por un manejo agroecológico y tipo de sombra específico.

Se evaluaron dos sistemas de café clasificados por Moguel y Toledo (1999) como monocultivo bajo sombra (CMBS) y policultivo tradicional (CPT); un tercer sistema denominado café natural (CN)¹ se tomo como punto de referencia para el análisis estructural de los sistemas, potencial de captura de carbono (C) y análisis económico. El sistema CMBS está presente en las comunidades de Plátanos y Majoval, CPT en la comunidad de Altamirano y CN en las comunidades de Jol Cacuala y Muquenal.

Se levantaron en los campo de los productores seleccionados 20 parcelas de 1,000 m² cada una; 7 parcelas en CMBS, 6 parcelas en CPT y 7 parcelas en CN. Cada parcela fue caracterizada teniendo en cuenta los siguientes indicadores: altitud, temperatura ambiental, pendiente, forma del terreno, tipo local de suelo, pedregosidad, drenaje y nivel de erosión.

Los sistemas fueron clasificados por objetivos de producción, tipo de componentes presentes (árbol, arbustos y cultivo), arreglos espaciales y

¹ El café natural (CN), se entiende como el sistema de café bajo criterios convencionales de producción. La descripción de este sistema se detalla en los capítulos de resultados y discusión.

temporales, adaptabilidad ambiental y agroecológica y nivel de manejo socioeconómico (Nair, 1993). En cada parcela se realizó un inventario ecológico - forestal y florístico con el fin de conocer la estructura y diversidad de la vegetación (Lamprecht, 1990 y Richards, 1996). Se calcularon índices convencionales de abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia (IVI) (Melo y Vargas, 2003). Se describieron las entradas y salidas en cada sistema, representadas en los insumos y productos que se aplican y obtienen; finalmente se estableció el calendario de labores de manejo agroecológico.

4.3. ESTIMACIÓN DE RESERVORIOS DE CARBONO

La cuantificación de los reservorios de C se realizó mediante el establecimiento de parcelas circulares de monitoreo de 1,000 m² (Figura 2). 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 (Lamprecht, 1990, MacDiken, 1997; CATIE, 2000; Hairiah *et al.*, 2001 e IPCC, 2003b). En cada parcela se estimó la cantidad de C orgánico presente en los reservorios definidos por el IPCC (2003b) para el desarrollo de proyectos forestales de mitigación de C:

- a. Biomasa viva: árboles, arbustos, hierbas, raíces (gruesas y finas).
- b. Materia orgánica muerta: ramas caídas y mantillo.
- c. Materia orgánica del suelo.

En el centro de cada parcela de producción de café, se estableció la parcela de monitoreo, previo reconocimiento conjunto con el productor. Desde el punto central de la parcela se radiaron ocho líneas en sentido horizontal de 5.65 y 17.85 m cada una, las cuales constituyeron parcelas de 100 y 1,000 m² respectivamente. Considerando que la gran mayoría de las parcelas se

encontraban en zonas de pendientes, las distancias de los radios fueron corregidas con factores de compensación de pendiente. En el punto central se determinó la posición geográfica de la parcela, con un sistema de posicionamiento satelital GPS. En la Figura 3, se detallan las principales actividades desarrolladas en campo para la cuantificación de reservorios.

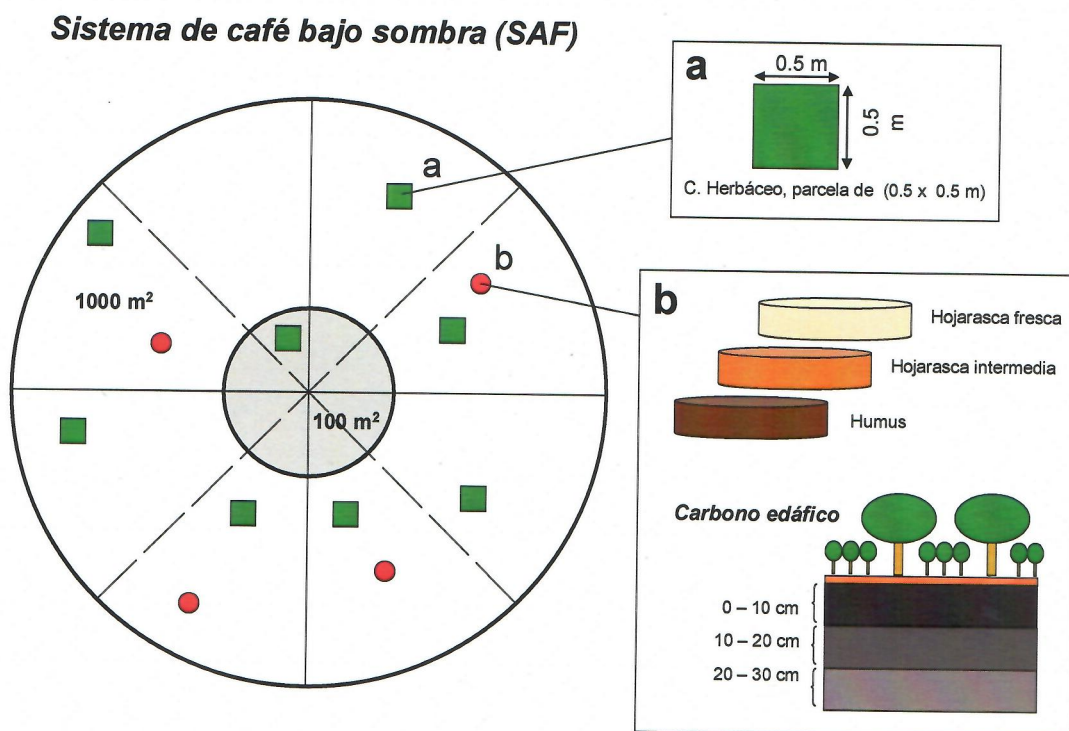


Figura 2. Parcela de Investigación para cuantificación de carbono en sistemas de café bajo sombra

4.3.1. Carbono en biomasa viva (BV)

4.3.1.1. Árboles (A) y arbustos (arb)

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 1,000 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. En la parcela de 100 m²

se midieron los árboles y arbustos inferiores a 10 cm de DN; este componente estuvo representado principalmente por arbustos de café; 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 Cuadro 1.

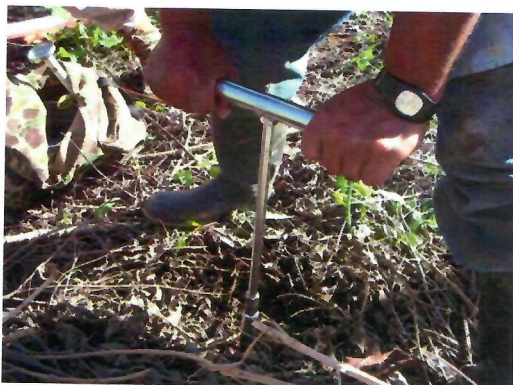
A.



B.



C.



D.



Figura 3. Estimación de reservorios de carbono **A.** Levantamiento de parcela para estimación de biomasa arbórea en un sistema Taungya. **B.** Subparcela de 0.25 m^2 , para cuantificación de biomasa herbácea. **C.** Muestreo de suelo para cuantificación de materia orgánica **D.** Medición de profundidad de hojarasca y cuantificación de biomasa muerta contenida en el mantillo

Cuadro 1. 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	$Y = \exp[-2.977 + \ln(\rho D^2 H)]$	0.99	Chave et al., 2005
<i>Bactris gasipaes</i>	$Y = 0.97 + 0.078(AB) - 0.00094(AB)^2 + 0.0000064(AB)^3$ [¶]	0.96	IPCC, 2003
Palmas	$Y = 10 + 6.4(H)$	0.96	Frangi y Lugo 1985
<i>Musa sp</i>	$Y = 0.0303D^{2.1345}$	0.99	Hairiah et al., 2001
<i>Citrus sinensis</i>	$Y = -6.64 + 0.279(AB) + 0.000514(AB)^2$	0.94	IPCC, 2003
<i>Coffea arabica</i>	$Y = 0.2811D^{2.0635}$	0.94	Hairiah et al., 2001

[¶]Y: Biomasa en kg (árbol)⁻¹ D: Diámetro normal 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 de palmas, cítricos y plátano 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 C para el cálculo de densidad de C total presente en la biomasa arbórea y arbustos (IPCC, 2003b).

4.3.1.2. Hierbas (Hb)

Se lanzó aleatoriamente en la parcela de 1,000 m² ocho veces un cuadro de 0.5 x 0.5 m (0.25 m²) para la estimación de biomasa herbácea. El material herbáceo fue cortado a ras del suelo pesado y almacenado en bolsas plásticas. Se tomaron cantidades aproximadas de 50 gr por subparcela y se conformó una muestra compuesta. Las muestras fueron secadas en estufa a 70 °C hasta peso

constante. El material herbáceo fue molido (molino Willey) y tamizado en malla numero 10. Se conformaron muestras compuesta entre parcelas de una misma localidad y de allí se tomó submuestra de 5 gr para análisis de C. Los análisis de C de material herbáceo y mantillo se realizaron en Leco CHN 1,000 ®.

4.3.1.3. Carbono en raíces (R)

Se estimó la cantidad de biomasa de raíces totales (gruesas y finas) presente en cada parcela, mediante ecuación alométrica desarrollada por Cairns *et al.*, (1997).

$$Y = \exp[-1.0587 + 0.8836 \ln(ABD)] \quad \text{Donde,}$$

Y : Biomasa de raíces gruesas en Mg ha^{-1} de materia seca.

ABD : Biomasa arbórea y arbustiva en Mg ha^{-1} de materia seca.

Se asumió por convención, el valor de 0.5 como factor de C para el cálculo de C presente (IPCC, 2003).

4.3.2. Carbono en materia orgánica muerta (MOM)

4.3.2.1. Ramas caídas en el suelo (RCS)

Se calculó el volumen de ramas caída en el suelo a través del método de intersección planar propuesto por Van Wagner (1968), sobre estimaciones de volúmenes de ramas caídas en superficies forestales. Se muestrearon cuatro transectos de 25 m cada uno, teniendo como referencia la parcela de $1,000 \text{ m}^2$ y en la cual se midieron ramas caídas con diámetros mayores a 3 cm según los siguientes estados de descomposición: fresco, seco y descompuesto; el volumen se calculó con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi^2 \sum d^2}{8l} \quad \text{Donde,}$$

V : Volumen en $\text{m}^3 \text{ m}^{-2}$

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 C. Estas variables se utilizaron para inferir sobre la cantidad total de C contenido en ramas por estado de descomposición.

4.3.2.2. Mantillo (M)

En la parcela de 1,000 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 del matillo; 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 C.

4.3.3. Carbono de la materia orgánica del suelo (MOS)

En los mismos sitios donde se recolectó el mantillo, se tomaron muestras de suelo con barrena tipo Hoffer y se conformaron muestras compuestas de los siguientes horizontes: 0 – 10, 10 – 20 y 20 – 30 cm (Figura 2). Cada muestra de suelo fue secada durante 7 días al ambiente. Posteriormente las muestras fueron desagregadas con martillo de madera y tamizadas en malla número 40, para posterior análisis de materia orgánica por el método de combustión húmeda descrita por Walkley & Black (1934). Se aplicó 1.724 como factor de corrección del contenido de C en la materia orgánica (Fassbender, 1993).

Con el fin de estimar la cantidad de C almacenado en el suelo, se midió la densidad aparente del suelo (DA) en g mL^{-1} , mediante el método de la probeta. Para efectos de este método se utilizó un volumen conocido de 10 mL, las muestras de suelo por horizonte fueron secadas al ambiente, luego desagregadas con martillo de madera y tamizadas en malla número 10. 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 C orgánico de cada muestra multiplicando la DA y el porcentaje de C respectivo. Con esta información se determinó la cantidad total de C orgánico por horizonte en 1 ha.

4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó Anova de una vía donde las condiciones de campo de cada parcela están anidadas al tratamiento (modelo de efectos aleatorios Tipo II; Sokal y Rohlf, 1981) y prueba de comparación múltiple de medias (Hochberg's GT2; Sokal y Rohlf, 1981), con el fin de comparar los promedios de densidades de C ha^{-1} en los reservorios de biomasa viva, materia orgánica muerta y materia orgánica del suelo de los sistemas de café bajo sombra evaluados.

Se calculó error estándar de la media, coeficiente de variación, e intervalo de confianza al 90% para densidades de C contenidas en los reservorios de árboles, arbustos, hierbas, raíces, ramas caídas en el suelo, mantillo y materia orgánica del suelo. Se empleo el paquete estadístico SPSS 13.0 (2004).

4.5. DEFINICIÓN DE LINEA BASE Y ESCENARIO DE CAPTURA DE CARBONO EN UN SISTEMA DE CAFÉ NATURAL

Estimados los reservorios de C contenidos en la biomasa viva, materia orgánica muerta y materia orgánica del suelo, se definió 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 CO2FIX V 3.1 (Schelhaas *et al.*, 2004) se simularon los flujos de C 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 CN con proyecto de captura de C y manejo agroforestal (enriquecimiento forestal con *Cedrela mexicana*).

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 cohortes de evaluación y crecimiento. El crecimiento de cada cohorte fue expresada en términos de incremento corriente anual (ICA), para lo cual se tomaron las curvas de crecimiento de *Cedrela mexicana* en la región de los Tuxtlas, México (Sanchez, 2004), *Inga edulis* en la región de la Amazonia Peruana (Lojka *et al.*, 2005) y *Coffea arabica* en Turrialba, Costa Rica (Fassbender, 1993). Las cohortes evaluadas fueron:

- a. Dosel alto: Sombra de árboles de *Cedrela mexicana* (100 árboles / ha⁻¹).
- b. Dosel medio: Sombra de *Inga spp* (177 árboles ha⁻¹).
- c. Dosel bajo: Arbustos de café (2,000 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, prácticas 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 2, se definen los parámetros empleados para la estimación de flujos de C en un sistema de producción de CN.

El manejo de cada escenario contempló actividades de podas sanitarias en los cafetos realizadas al finalizar cada cosecha y podas de manejo del dosel de los árboles de sombra del género *Inga* principalmente; para efectos del dosel medio se asumió una remoción del 10% del total de las ramas. También cada 10 años se consideró una renovación de esta cohorte en un 50%. Las cohortes de dosel alto y medio, cada una de ellas es renovada en su totalidad a los 20 años.

4.6. ANÁLISIS ECONOMICO DE LA CAPTURA DE CARBONO

Se analizó económicamente el sistema CN, integrando el manejo convencional, el pago de un servicio ambiental y el desarrollo de una nueva estrategia de manejo agroecológico en la parcela, con el fin de conocer el impacto que genera la inclusión de nuevas iniciativas en los ingresos de los productores. El análisis consideró los siguientes escenarios de manejo:

1. Manejo convencional (sistema de café natural).

Cuadro 2. Parámetros de simulación en CO2FIX, para estimación de flujos de carbono en BV en un sistema de café natural

Parámetros	<i>C. odorata</i>	<i>I. edulis</i>	<i>C. arabica</i>
<i>Cohorte</i> §			
Rotación	20	10	20
Densidad (Mg BV/m ³)	0.47	0.58	0.5
Contenido de C (%)	0.5	0.5	0.5
Carbono inicial Mg C ha ⁻¹ (tallo)	0	11.06	2.04
Carbono inicial Mg C ha ⁻¹ (follaje)	0	0.34	1.13
Carbono inicial Mg C ha ⁻¹ (ramas)	0	5.61	8.18
Carbono inicial Mg C ha ⁻¹ (raíces)	0	3.86	2.72
<i>Tasa de recambio</i> §			
Follaje	1	1	0.3
Ramas	0.05	0.1	0.05
Raíces	0.05	0.07	0.07
<i>Fracción removida en aprovechamiento</i>	1	0.4	1

§ Información de ICA (m³ 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, se muestran en el anexo 10.

2. Manejo convencional (sistema de café natural) incluyendo el pago de un servicio ambiental (captura de carbono) y venta de madera.
3. Transformación de un sistema café natural a un manejo orgánico incluyendo el pago por captura de carbono y venta de madera.

Se construyeron flujos de fondos para CN y café orgánico, se estimaron costos de producción desde el establecimiento, manejo, cosecha, e ingresos por venta de productos generados (madera) y el pago del servicio ambiental captura de

carbono. La información de costos y beneficios se obtuvo de entrevistas semi estructuradas a cafeticultores en el área de injerencia de la organizaciones Ureafa, J'amteletic y la comunidad Muquenal. Esta información se comparó y se ajustó según la estructura de costos para producción orgánica de café definida por FIRA (Fideicomiso Instituido en Relación con la Agricultura, Banco de México).

El análisis económico del servicio ambiental captura de C, se evaluó considerando la diferencia de C capturado y almacenado entre los escenarios de mitigación y línea base obtenidos en la simulación de un sistema de CN. El periodo de acreditación es de 20 años. El C capturado y almacenado se expresó en términos de Mg C ha^{-1} (El escenario 3 asume las mismas cantidades de C capturadas en el escenario 2). El presente estudio contempla cuatro verificaciones de C en los años 4, 9, 14 y 19². Las cantidades verificadas se expresaron en términos de $\text{Mg CO}_2 \text{ e}^3$. Finalmente el análisis económico consideró la venta de créditos temporales de emisiones removidas tCERs cada 5 años (Chomitz y Lecocq, 2003).

Los indicadores financieros evaluados fueron: valor presente neto (VPN), relación beneficio costo (B/C) y tasa interna de retorno (TIR). La tasa real de descuento (TRD), se calculó teniendo en cuenta la tasa nominal de interés (TN) y la tasa de inflación (TI) emitidas por las autoridades financieras de México. Se realizó un análisis de sensibilidad en el escenario 3, contemplando 1) aumentos y reducciones del 20% en los costos y beneficios que se obtienen por la venta del café, C y madera, e 2) incrementos en la tasa de descuento con la cual se evalúa el proyecto.

La evaluación del impacto económico que genera el pago por la captura de C y el desarrollo de una nueva estrategia de manejo agroecológico en el sistema de CN tuvo en cuenta las siguientes consideraciones.

² Para efectos del análisis económico los créditos de carbono generados en el proyecto de captura se contabilizaron a partir del año cero (0).

³ Un $\text{Mg CO}_2 \text{ e}$, es igual a 44/12 de C.

1. El manejo convencional de cafetales (sistema de CN) y los precios de mercado del café a este nivel, se toman como punto de referencia y comparación cuando se incluyen otras estrategias de manejo (producción orgánica y sustentable y pago de servicios ambientales).
2. El manejo orgánico de cafetales incluye un sobreprecio en el café, y además puede estar influenciado por otras iniciativas como el "*Comercio Justo*". Este tipo de manejo incluye estrategias que promueven actividades más amigables con el medio ambiente: conservación de suelos, conservación de fauna y flora, protección de aguas, entre otros; así como una mayor y mejor organización social para la producción, con el fin de acceder a mercados especializados de café a nivel nacional e internacional.
3. La captura de C, el beneficio económico se valoró de acuerdo a los Mg de C expresados en términos de CO₂ e capturados por el sistema CN. El precio de venta de un tCERs consideró valores promedio presentes en los mercados internacionales.
4. Los ingresos generados por la venta de productos de madera se calcularon según el volumen de madera que se obtiene después de restar las pérdidas en el aprovechamiento y aserrío, una vez que los árboles cumplen el turno de aprovechamiento.

5. RESULTADOS

5.1. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ BAJO SOMBRA

Estructuralmente los tres sistemas de café bajo sombra son sistemas agrisilvícola en los cuales el componente leñoso se representa por árboles de diferentes especies y arbustos de café. La distribución espacial de los árboles es mixta y con densidades variables, asimismo en el tiempo, los componentes son coincidentes es decir que cada uno coexiste al mismo tiempo durante la permanencia del sistema.

El componente arbóreo en los sistemas café natural (CN), monocultivo bajo sombra (CMBS) y policultivo tradicional (CPT) presenta densidades de 177, 360, 397 árboles ha^{-1} respectivamente; asimismo el número de especies arbóreas son 7, 5, 12 especies ha^{-1} . Las especies arbóreas que principalmente conforman el dosel en los tres sistemas son *Inga spp*, *Citrus spp* y *Leucaena brachycarpa*. En el sistema CPT se resalta la presencia de gran número de especies de la flora regional entre las cuales se encuentran *Nectandra salicifolia*, *Cupania dentata*, *Heliocarpus aff. popayanensis*, *Oecopetalum mexicanum*, *Cornus disciflora*. En los tres sistemas generalmente está presente la especie *Musa sapientum* fuente de alimento para las familias.

La incorporación de *Inga spp* en los tres sistemas tiene como objetivo dinamizar la fijación biológica de nitrógeno atmosférico en el suelo a través de la asociación simbiótica de esta especie con bacterias del género *Rhizobium*. De acuerdo con Nair (1993) teniendo en cuenta el caso de *Inga vera*, esta especie puede alcanzar tasas de fijación de nitrógeno de 35 a 40 $\text{kg de N}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, que comparado con el nitrógeno de los fertilizantes representa una contribución importante de este elemento al suelo.

El componente arbustivo (café) se encuentra en densidades de 2,357 (CN), 1,986 (CMBS) y 2,150 (CPT) cafetos ha^{-1} . La producción aproximada en los

sistemas CMBS y CPT es de 16 y 13 quintales⁴ ha⁻¹, mientras en CN es menor, 10 quintales ha⁻¹. La densidad de árboles y cafetos está relacionada principalmente con el manejo agroecológico (conocimientos y prácticas culturales) que le imprime cada productor a su parcela de café.

Funcionalmente los tres sistemas tienen como objetivo la producción de café, sin embargo según su estructura cada uno permite la generación de diferente calidad y cantidad de productos y servicios ambientales. Los sistemas CMBS y CPT en las comunidades de estudio, están certificados orgánicamente, mientras el sistema de café natural (CN) no lo está.

Los sistemas CPT y CN ofertan mayor número de productos, entre los cuales se encuentra leña, madera, comestibles y medicinales. La madera se emplea principalmente para usos rurales (arreglo de viviendas, construcción y mantenimiento de cercos) y en algunos casos puede ser vendida en mercados locales como madera de aserrío. Existe un gran número de frutos comestibles como naranja, lima, banano, guayaba, guanábana para consumo familiar, en caso de existir excedentes son comercializados en el mercado local. En el sistema CMBS se aprovecha la leña, subproducto de las podas de manejo que se realizan a las copas de los árboles en las labores de desombre. La Figura 4 muestra panorámicas del área de estudio así como de los sistemas CMBS, CPT y CN.

Ambientalmente los tres sistemas se encuentran en la zona subtropical, en climas que van de húmedo a semicalido húmedo. Socio-económicamente emplean bajos niveles de insumos. En cierta medida los sistemas CMBS y CPT emplean mayores insumos por el tipo de producción orgánica desarrollada. El 80% de la producción se destina principalmente a mercados internacionales en países como Bélgica, Italia, Estados Unidos, Holanda y Alemania. La comercialización del café orgánico se realiza bajo los principios del Comercio Justo, lo que permite mejorar substancialmente el precio por kilogramo de café

⁴ Un quintal equivale a 57.5 kg de café pergamino.

y recíprocamente los ingresos de los productores. Finalmente la comercialización de café convencional se realiza a través de intermediarios donde el precio de compra al productor es muy bajo.

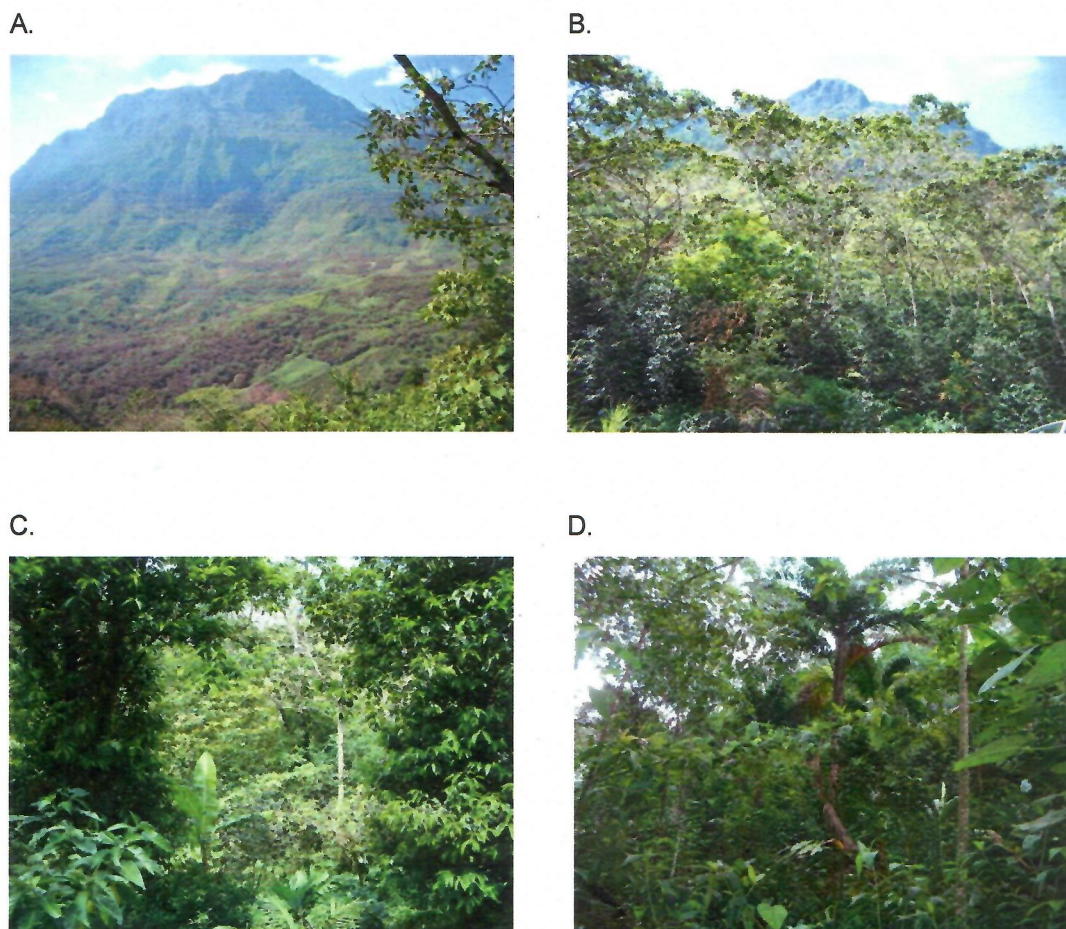


Figura 4. A. Panorámica región cafetalera del municipio de Larrainzar, Chiapas, México. **B.** Sistema CMBS **C.** Sistema CPT **D.** Sistema CN

5.1.1. Análisis estructural de la sombra

El sistema CMBS posee alto grado de manipulación del dosel (mono especificidad) y presencia de especies con atributos de buena sombra. La densidad promedio es de 360 árboles ha^{-1} y presenta un solo estrato a una altura de 7 m; la distribución de la sombra es relativamente uniforme. Se identificaron 17 especies, en promedio 5 especies ha^{-1} . Las principales especies

en términos de abundancia son *Inga thibaudiana* (64%), *Inga pavoniana* (16%), *Leucaena Brachycarpa* (6%), *Datura sp* (2%) y *Musa sapientum* (2%).

El genero *Inga* con el 80% de abundancia, se maneja con el objetivo de dinamizar procesos de fijación biológica de nitrógeno en el suelo, aporte de hojarasca y reciclaje de nutrientes, así como brindar sombra que propicie condiciones micro climáticas adecuadas para el desarrollo del cafetal.

El manejo de esta especie es producto además de políticas del desaparecido Instituto Mexicano de Café (INMECAFE) en los años 70 y 80, el cual en sus primeras fases incentivo la conversión de sistemas tradicionales de producción de café a sistemas más intensivos con sombrío de esta especie.

En el sistema CPT la densidad promedio de árboles de sombra es de 397 árboles ha⁻¹, el dosel presenta tres estratos: el primero y segundo se encuentran a 7 y 14 m de altura, el tercer estrato esta por encima de los 18 m, conformado por un grupo reducido de árboles emergentes. La distribución de la sombra es irregular, algunos lugares pueden tener mayores niveles de sombra que otros. Se identificaron 31 especies, en promedio 12 especies ha⁻¹. Las principales especies en términos de abundancia son *Inga punctata* (23%), *Musa sapientum* (12%), *Cornus disciflora* (9%), *Nectandra salicifolia* (9%), *Vernonia deppeana* (6%), *Oecopetalum mexicanum* (6%), *Heliocarpus aff. popayanensis* (5%) y *Cupania dentata* (5%).

Especies como *Heliocarpus aff. popayanenses*, *Cornus. disciflora*, *Oecopetalum. mexicanum*, *Rhamnus. capraefolia*, *Trichilia havanensis*, entre otras, pueden ser árboles remanentes de procesos de aprovechamiento forestal de bosques (extracción selectiva de especies maderables) en estadios previos al establecimiento del cafetal.

Durante el transcurso del tiempo los productores han ingresado nuevas especies como *Persea americana*, *Musa. sapientum*, *Citrus. cinensis* y *Annona cherimolla* con propósitos de diversificación de productos especialmente frutos

comestibles. Este sistema por su mayor diversidad de especies, densidad de árboles y número de estratos, es un importante refugio de avifauna; además se resalta la presencia de *Nectandra salicifolia* como fuente de alimento para las aves.

El sistema CN posee una densidad de árboles de sombra de 177 árboles ha⁻¹, el dosel está conformado por un solo estrato a una altura de 10 m, la proyección de la sombra sobre el cafetal no es regular y presenta grandes áreas de claros donde los cafetos crecen a libre exposición de luz solar. Se identificaron 32 especies, en promedio, 7 especies ha⁻¹. Las principales especies en términos de abundancia son *Inga thibaudiana* (22%), *Musa sapientum* (18%), *Inga pavoniana* (12%), *Ocotea mexicana* (5%) y *Croton draco* (4%), *Piper auritum* (4%), *Bactris gasipae* (3%), *Inga spuria* (2%). Al igual que el sistema CMBS, el género *Inga* con el 38% de la abundancia es el componente principal de la sombra.

En términos de Índice de Valor de Importancia (IVI) se resalta el gran número de especies que contribuyen a la diversidad de los sistemas de café objeto de estudio, principalmente en los sistemas de CPT y CN. Generalmente en los sistemas evaluados se introducen especies como *Inga spp*, *Musa sapientum*, *Citrus sinensis*, *Persea americana*, *Cedrela mexicana* entre otras, para producción de frutos y aprovechamiento de leña y madera; si se excluyen estas especies y considera el otro grupo de especies presentes en la estructura horizontal, estos sistemas son un importante resguardo de flora arbórea - regional.

Las Figuras 5, 6, 7, muestran la distribución de IVI's por especies en cada uno de los sistemas. El CMBS es el más simple en términos de diversidad de especies, existen solamente 9 especies adicionales a la especie que es columna vertebral del sistema (*Inga sp*). Las especies con mayores IVI's son *Datura sp* (31%), *Eupatorium aff. sordidum* (16%), *Cecropia obtusifolia* (12%), *Vernonia patens* (9%) y *Vernonia deppeana* (9%). Estas especies se

caracterizan porque aparecen comúnmente en estados iniciales de la sucesión vegetal (facilidad de colonización de áreas).

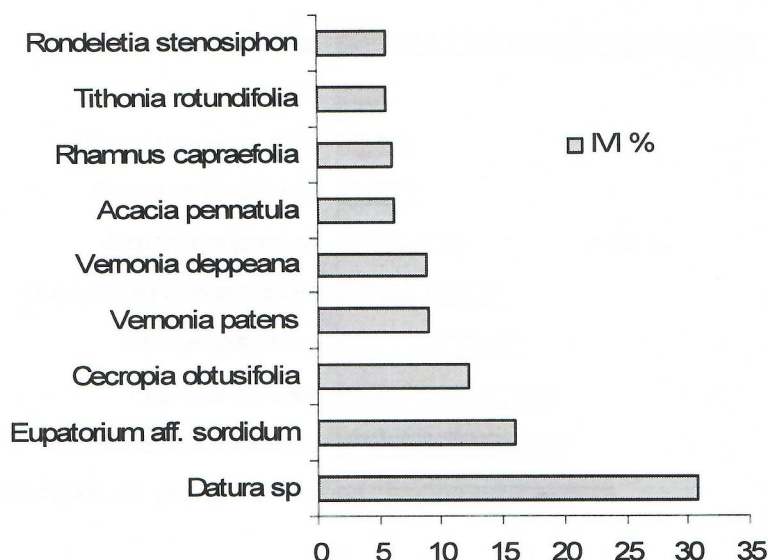


Figura 5. Índices de Valor de Importancia (IVI %) en sistema de café monocultivo bajo sombra (CMBS)

En los sistemas CPT y CN, 23 y 20 especies, son parte de la flora adicional de cada sistema. En el sistema CPT, *Heliocarpus aff. popayanensis* (15%), *Nectandra salicifolia* (13%), *Cupania dentata* (12%), *Cornus disciflora* (10%) y *Oecopetalum mexicanum* (9%), *Vernonia. deppeana* (7%) tienen importante peso ecológico, asimismo el grupo de las otras 14 especies alcanzan el 23% restante.

En el sistema CN, *Liquidambar styraciflua* (10%), *Oecopetalum. mexicanum* (10%), *Croton. draco* (10%), *Chaetoptelea mexicana* (7%), *Yon' chuch* (6%), *Acalypha* sp (6%), *Vernonia deppeana* (5%) y *Cecropia obtusifolia* (5%) son las especies mas relevantes; el grupo de las otras especies alcanza el 36%. Se menciona que el alto valor de IVI de *Liquidambar. styraciflua* esta muy influenciado por el valor de dominancia de 24%, en comparación con la abundancia 2% y frecuencia 4%; esto significa que el árbol de esta especie, es

un individuo de gran tamaño en términos de diámetro y altura y remanente de procesos de aprovechamiento forestal en la zona durante las ultimas décadas.

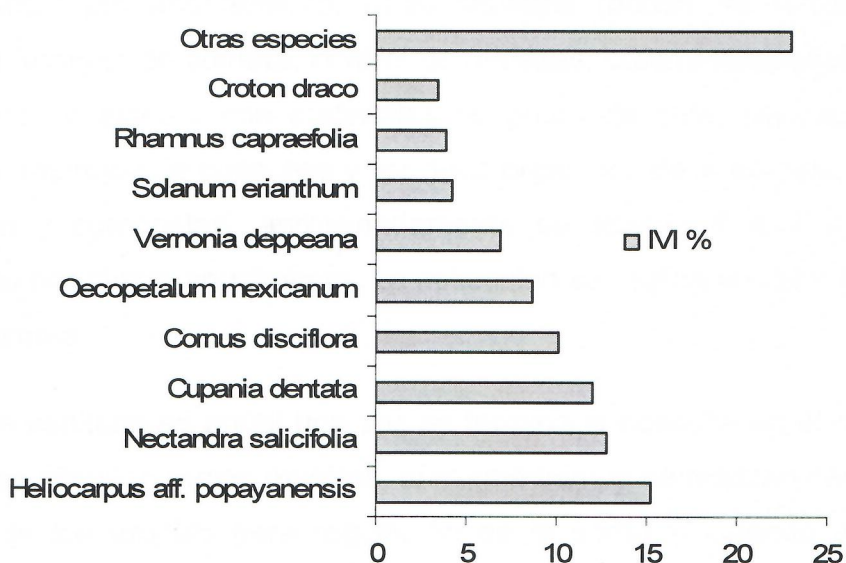


Figura 6. Índices de Valor de Importancia (IVI %) en sistema de café policultivo tradicional (CPT)

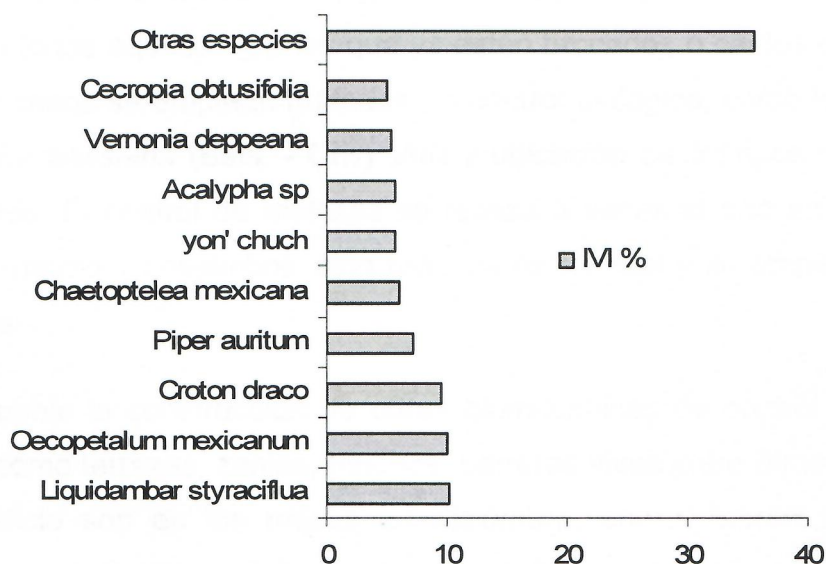


Figura 7. Índices de Valor de Importancia (IVI %) en sistema de café natural (CN)

5.1.2. Practicas generales de manejo de cafetales

Los sistemas CMBS y CPT son manejados orgánicamente. Las principales actividades son abonamiento, poda sanitaria (podas de ramas, renuevo y agobio), manejo de sombra, control de malezas, control fitosanitario y cosecha. El abono se elabora con materiales de pulpa de café, hojarasca, suelo del bosque, rastros de cosechas y residuos orgánicos de la parcela, los cuales se mezclan y compostan; aproximadamente se aplican 1 a 2 kg de materia orgánica por planta anualmente. La aplicación se realiza en los meses de mayo y septiembre.

La poda sanitaria es anual una vez se termina la cosecha en el mes de marzo donde se eliminan ramas muertas, al mismo tiempo se realizan desrames en las copas de los árboles para regulación de la sombra. Cuando se renueva el cafetal aproximadamente cada 20 años, los cafetos son podados desde la base para inducir la generación de rebrotes.

El control fitosanitario es todo el año y se concentra en el control de la broca, mediante inspecciones periódicas donde se recolectan a tiempo los granos maduros y sobre maduros evitando el ataque del barrenador; además se eliminan todos aquellos granos que ya estén brocados o caídos en el suelo. En algunos casos se emplean métodos de control biológico, como la aspersión de *Beauveria bassiana* (Bals. - Criv) Vuill y ubicación de trampas con feromonas atrayentes. El control de malezas se realiza 3 veces al año en los meses de febrero, marzo y noviembre, esta práctica es manual y se emplea únicamente machete.

Es frecuente la construcción de obras biomecánicas de control de erosión de suelos como terrazas, zanjas, trinchos, barreras vivas entre otros. La cosecha y el beneficio son en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo. Estos sistemas al ser orgánicos son constantemente inspeccionados por certificadores que velan el cumplimiento de actividades de manejo y

compromisos adquiridos por el productor. El desarrollo de todas las actividades de manejo es motivado por el sobreprecio que adquiere el café.

El sistema CN presenta cierta similitud en las actividades de manejo, diferenciándose principalmente en que el sistema no es abonado con ningún producto orgánico; la producción de café está supeditada por la capacidad de producción de la planta y las condiciones ambientales del lugar (generalmente existen irregularidad en los volúmenes de producción a través del tiempo). Otro aspecto que diferencia la producción orgánica de la convencional es la periodicidad y calidad de las prácticas de control de maleza, control fitosanitario, podas y desombres.

El control de malezas se realiza generalmente con azadón el cual genera el movimiento de horizontes orgánicos superficiales del suelo y por ende mayor erosión; no se construyen obras de control de erosión. Finalmente el manejo del cafetal esta condicionado por la disponibilidad de recursos del productor y el precio de comercialización en el mercado.

5.2. ALMACENAMIENTO EN RESERVORIOS DE CARBONO

Los sistemas CN, CMBS y CPT poseen densidades promedio de carbono total (Ct) de 129.82, 170.46 y 215.64 Mg C ha⁻¹ respectivamente. El mayor reservorio en los tres sistemas es la materia orgánica del suelo (MOS) con 68.8%, 70.5% y 67.8%. En el Cuadro 3 se relaciona las densidades de C almacenado en cada reservorio por sistema.

En los sistemas CMBS y CPT la biomasa viva (BV) almacena el 27.5% y 26.7% del Ct respectivamente. Los árboles (A) concentran más del 60% del C de la BV, los arbustos (arb) y raíces totales (R) aproximadamente el 20% y 15%. En la materia orgánica muerta (MOM) la cantidad de C es similar en los dos sistemas. Al interior de MOM, el mantillo (M) es el principal reservorio con más del 90%.

Cuadro 3. 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%

	Café natural		Monocultivo bajo sombra		Policultivo tradicional	
	CN	%	CMBS	%	CPT	%
Biomasa viva (BV)	a		ab	b		
Arboles ≥ 10 cm de DN	35.14 ± 6.93	27.1	46.84 ± 13.72	27.5	57.47 ± 14.41	26.7
Arboles ≥ 5, < 10 cm de DN	17.02 ± 6.45	13.1	27.30 ± 9.49	16.0	37.89 ± 10.45	17.6
Arbustos (café)	0.14 ± 0.09	0.1	0.36 ± 0.27	0.2	0.85 ± 0.52	0.4
Hierbas	11.37 ± 3.02	8.8	11.03 ± 4.36	6.5	8.83 ± 2.62	4.1
Raíces (gruesas y finas)	0.44 ± 0.18	0.3	0.12 ± 0.06	0.1	0.24 ± 0.14	0.1
	6.16 ± 1.13	4.7	8.03 ± 2.15	4.7	9.67 ± 2.18	4.5
Materia orgánica muerta (MOM)	a		a	a		
Ramas caídas	6.72 ± 2.50	5.2	6.28 ± 2.11	3.7	6.04 ± 1.71	2.8
Mantillo	1.48 ± 1.53	1.1	0.68 ± 0.20	0.4	0.33 ± 0.14	0.2
	5.24 ± 1.72	4.0	5.60 ± 1.99	3.3	5.72 ± 1.84	2.7
Materia orgánica del suelo (MOS)	a		ab	b		
Materia orgánica del suelo	87.97 ± 24.35	67.8	117.35 ± 23.77	68.8	152.12 ± 20.72	70.5
	87.97 ± 24.35	67.8	117.35 ± 23.77	68.8	152.12 ± 20.72	70.5
C total del sistema (Ct)	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 el sistema CN. La BV almacena el 27.1% de los cuales 50% esta en A, 32% en arb y 18% en R. La MOM tiene el 5.2% del Ct, de los cuales el 77% esta en el mantillo.

La variabilidad de C entre sistemas y reservorios es muy diversa. La menor variabilidad de Ct esta en CPT (15%) seguido de CMBS (21%) y CN (37%). 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 8).

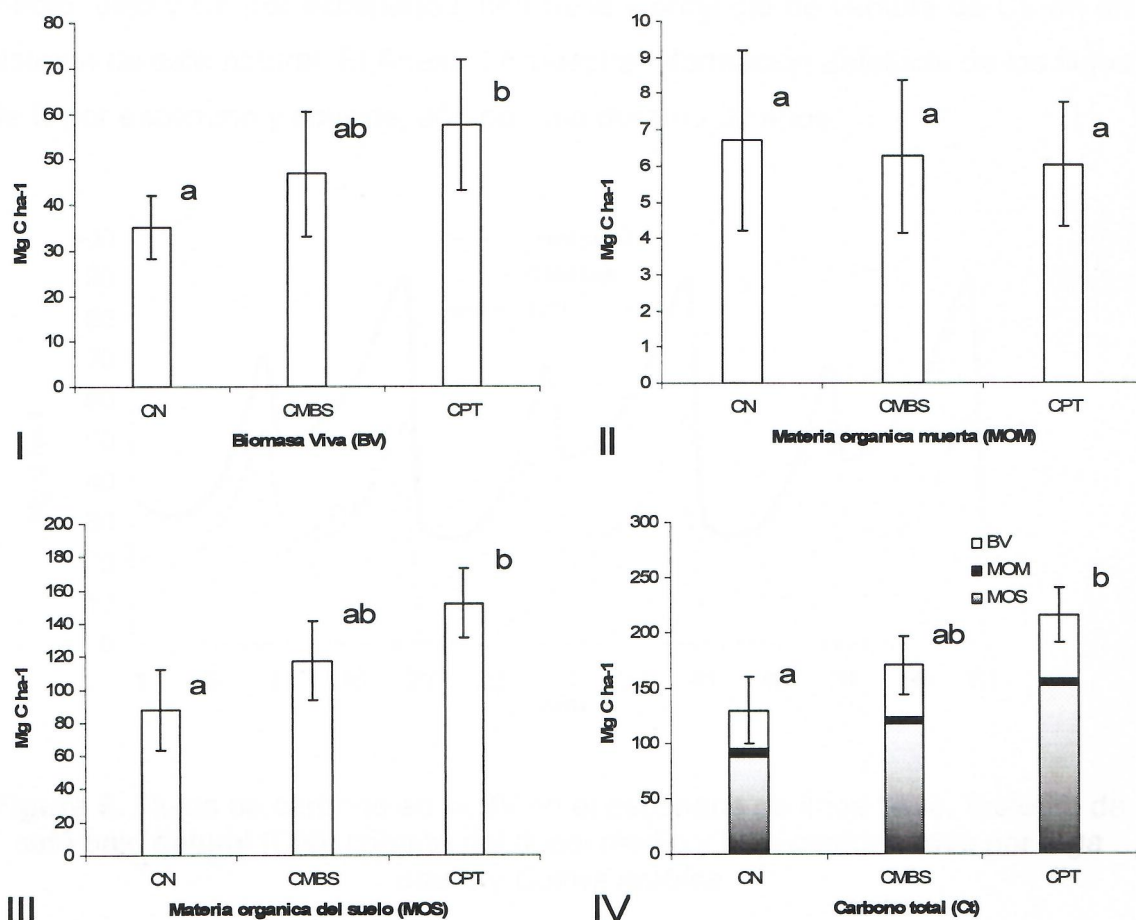


Figura 8. Densidades en Mg C ha⁻¹ en los reservorios de BV (I), MOM (II), MOS (III) y Ct (IV) en sistemas CN, CMBS y CPT. Información expresada en media e intervalo de confianza al 90%. Letras iguales entre tratamientos, no difieren significativamente al 90%

El ANOVA identificó diferencias significativas entre tratamientos en carbono total ($F_{2, 7} = 8.6$; $P = 0.003$), biomasa viva ($F_{2, 7} = 3.12$; $P = 0.07$) y materia orgánica del suelo ($F_{2, 7} = 6.807$; $P = 0.007$); la materia orgánica muerta no difiere significativamente ($F_{2, 7} = 0.091$; $P = 0.914$). El Ct, BV y MOS en los sistemas CMBS y CPT no difieren significativamente ($P > 0.1$), mientras entre CPT y CN hubieron diferencias significativas, Ct ($P = 0.02$), BV ($P = 0.066$) y MOS ($P = 0.005$).

5.3. ESCENARIOS DE CAPTURA DE CARBONO

Las Figuras 9, 10, 11, muestran los flujos de C en las cohortes de dosel alto, medio, bajo y Ct, por escenario (línea base y proyecto de captura de C), en un sistema de café natural. El Anexo 11 muestra información detallada de los flujos de C por escenario y cohorte, año por año durante 60 años.

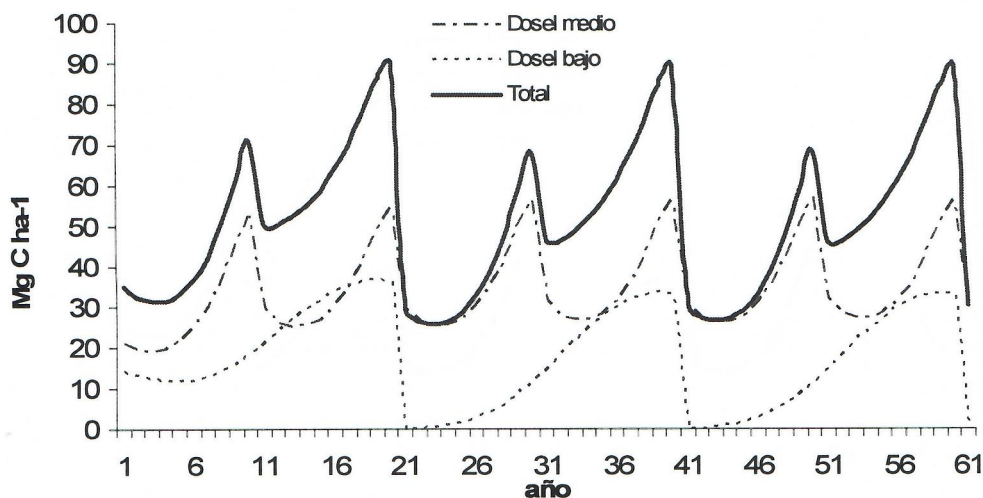


Figura 9. Flujos de carbono en la BV en el escenario de línea base. Sistema de café bajo natural (CN): cohorte del dosel medio y bajo conformados por *Inga edulis* y *Coffea arabica*

De acuerdo con el 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, medio y Ct es de 14.1, 20.89 y 34.99 Mg C ha⁻¹. Al finalizar los primeros 20 años existe un incremento neto de 22.07, 33.48 y 55.54 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 89.82 Mg C ha⁻¹ aproximadamente.

En el escenario de mitigación (proyecto de captura de C), 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 sólo llega a 25.92 y 39.02 Mg C ha⁻¹, lo que representa un incremento neto de 11.82 y 18.13 Mg C ha⁻¹. La cohorte que presenta mayor acumulación es el dosel alto con 56.9 Mg C ha⁻¹, en los primeros 20 años. El almacenamiento de Ct promedio durante cada periodo es de 121.63 Mg C ha⁻¹ aproximadamente.

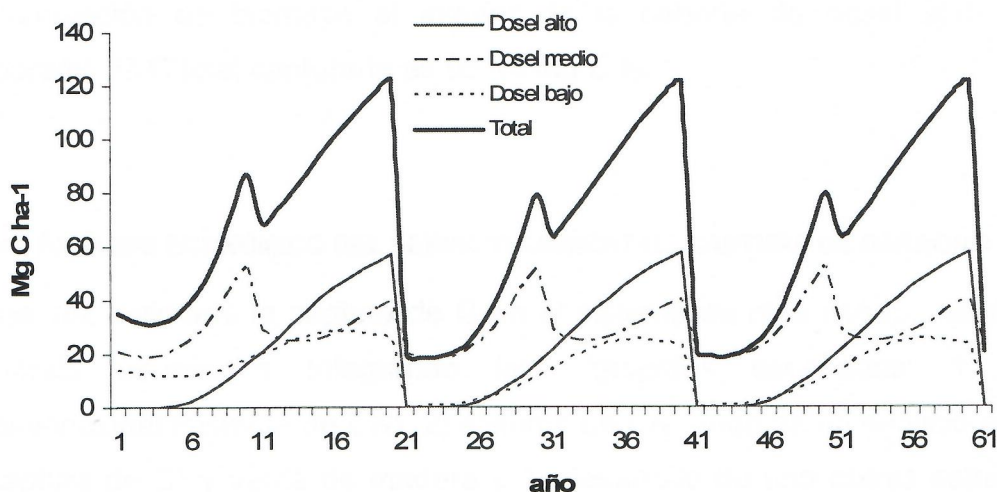


Figura 10. Flujos de carbono en BV, en un escenario de mitigación de carbono. Sistema de café natural (CN), cohorte de dosel alto, medio y bajo, conformados por *Cedrela odorata*, *Inga edulis* y *Coffea arabica*

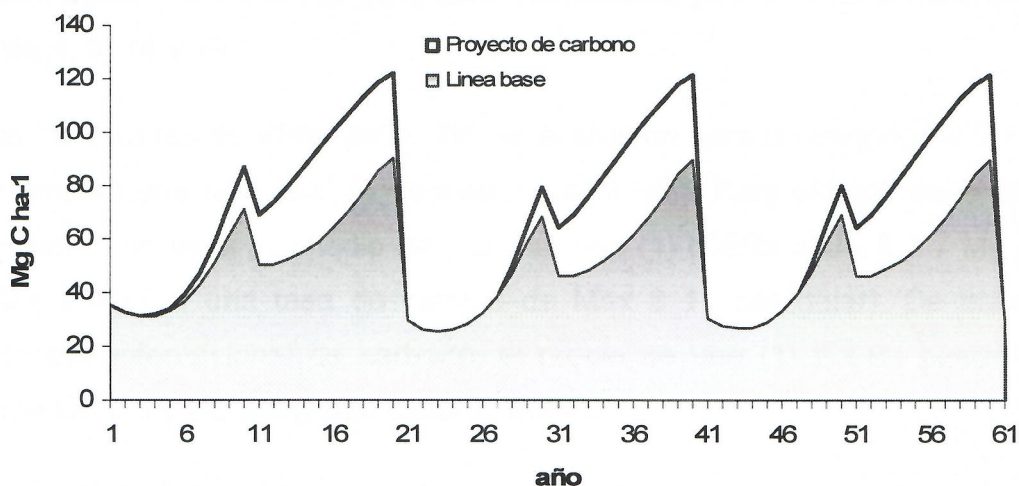


Figura 11. Flujos de carbono total en BV en un sistema de café natural (CN), entre escenarios de línea base y proyecto de mitigación de carbono

La diferencia entre los escenarios de línea base y proyecto mitigación muestran que la cantidad de C capturada en el primero, segundo y tercer periodo son 31.31, 32.11 y 32.02 Mg C ha⁻¹ respectivamente, y se representa por la acumulación de biomasa al interior de la cohorte de dosel alto (*Cedrela odorata*). El C total capturado es 95.44 Mg C ha⁻¹.

5.4. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SERVICIO AMBIENTAL: CAPTURA DE CARBONO

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 CN), 2) sistema de CN, pago de un servicio ambiental (captura de C) y venta de madera y 3) desarrollo de una nueva estrategia de manejo agroecológico (producción orgánica de café), captura de C 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. El Cuadro 4 muestra en detalle esta

información, así como los beneficios económicos por la venta de tCERs en los años 4, 9, 14 y 19.

Los indicadores de VPN, B/C y TIR se evaluaron para un periodo de 20 años y se empleó una tasa real de descuento del 3.9%⁵. Para efectos del análisis se consideró 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 \$ 23⁶. El volumen de producción de madera de *Cedrela odorata* se estimó en 110.71 m³ ha⁻¹ a los 20 años. Descontando perdidas del 50% por aserrío el volumen neto de madera que puede ser vendida es de 55.36 m³ ha⁻¹ equivalentes a 24,215 pie tabla (1 m³ = 437.45 Pie tabla). El precio de comercialización de un pie tabla es de Méx \$ 18. El Cuadro 4 muestra los indicadores financieros por escenario de evaluación. En los Anexos 12, 13, 14, 15 y 16 se relaciona detalladamente los flujos de caja, costos y beneficios en los diferentes escenario de evaluación.

El VPN fue mayor en el escenario 3 (\$179,936) en comparación al escenario 2 (\$133,252). El VPN en el escenario 1 es negativo (-\$18,546) significando la existencia de perdidas económicas. Similar comportamiento presento la relación B/C; la mayor relación esta en el escenario 2 (2.0) seguido de los escenarios 3 (1.9) y 1 (0.8). Los escenario 2 y 3 poseen una TIR del 15.2% y 19.4% respectivamente; en el escenario 1 el VPN al ser negativo hace que la TIR este por debajo de cero. En el Cuadro 5, se relacionan los indicadores financieros VPN, TIR y B/C, para cada escenario evaluado.

⁵ La tasa real de descuento se calculó considerando los siguientes indicadores: Tasa nominal de Interés (CETEX) (TN) = 7.08% y Tasa de inflación (TI) = 3.06%.

⁶ 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.

Cuadro 4. Créditos temporales de CO₂ e (tCERs) generados en el proyecto de mitigación de carbono por hectárea.

Año	Carbono neto capturado Mg C ha ⁻¹	Carbono acumulado en Mg CO ₂ e ha ⁻¹	Cambios en los stock de C (Mg CO ₂ e 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	0	0			
1	0	0	0			
2	0.01	0.03	0.03			
3	0.17	0.63	0.63			
4	0.84	3.07	3.07	3.07	5	125
5	2.3	8.43	8.43			
6	4.65	17.06	17.06			
7	7.79	28.57	28.57			
8	11.55	42.34	42.34			
9	15.7	57.57	57.57	57.57	5	2,343
10	18.49	67.79	67.79			
11	23.45	85.97	85.97			
12	28	102.66	102.66			
13	32.07	117.59	117.59			
14	35.04	128.48	128.48	128.48	5	5,229
15	36.71	134.61	134.61			
16	36.99	135.62	135.62			
17	35.66	130.75	130.75			
18	32.93	120.73	120.73			
19	31.31	114.79	114.79	114.79	5	4,672

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

Cuadro 5. Indicadores financieros de evaluación económica en escenarios de café natural y orgánico, incluyendo captura de carbono por hectárea.

Indicador	Café natural (1)	Café natural, incluyendo el pago por captura de carbono y venta de madera (2).	Café orgánico, incluyendo el pago por captura de carbono y venta de madera (3)
Costos actualizado [¶]	105,874	129,831	204,419
Beneficios actualizados [¶]	87,328	263,120	384,393
VPN [¶]	- 18,546	133,289	179,973
VPN (anual) [¶]	- 927	6,664	8,999
B/C	0.8	2.0	1.9
TIR (%)		15.2	19.4

[¶] Costos, beneficios, VPN y VPN anual en pesos mexicanos (Méx \$).

A medida que se integra una nueva opción de manejo (escenarios 2 y 3 respecto al escenario 1), 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 \$ 175,792 (201%) respectivamente, en los escenarios 2 y 3 es de \$ 74,588 (57%) y \$ 121,273 (46%).

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 y captura de C solamente el 12% (\$23,957). Los beneficios en este escenario se distribuyen de la siguiente forma: Beneficios por venta de café 54% (\$ 208,601), venta de madera 44% (\$ 168,972) y captura de carbono 2% (\$ 6,820).

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 de \$ 2,109 y \$ 6,820. La relación B/C para la captura de C fue 3.2. El costo neto de captura de C en un sistema de café bajo sombra enriquecido forestalmente con 100 árboles ha⁻¹ de *Cedrela odorata*, se estimó en Méx \$ 69 Mg C⁻¹ (US \$ 6.3 Mg C⁻¹).

El análisis de sensibilidad en el escenario 3 muestra lo siguiente: Cuando los costos de producción se incrementan 20%, el VPN tiene un valor de \$ 139,089 y una B/C igual a 1.6. Cuando los beneficios se reducen un 20%, el VPN y la B/C disminuyen a \$ 103,065 y 1.5. Cuando la tasa de descuento aumenta el VPN y la relación B/C disminuyen. Para tasas de descuento del 5, 10, 15 y 20% el VPN y la relación B/C presenta los siguientes valores: VPN: 145,084, 52,223, 14,285 y -2,022; B/C: 1.79, 1.44, 1.17 y 0.96.

6. DISCUSIÓN

De acuerdo a la clasificación de sistemas tradicionales de producción de café en México (Moguel y Toledo, 1999), en la zona de estudio se identificaron dos sistemas de café bajo sombra con variantes en el manejo agroecológico. El sistema de monocultivo bajo sombra (CMBS) y el sistema policultivo tradicional (CPT). El sistema café natural (CN) es un punto de referencia en el análisis estructural de los sistemas, potencial de captura de carbono y 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.

Los principales servicios ambientales que ofertan estos sistemas son captura de carbono, regulación hidrológica, mejoramiento, conservación de suelos y biodiversidad. La producción orgánica de café en los sistemas CMBS y CPT en comparación con la producción del sistema de CN, podría de cierta forma ampliar la oferta de servicios ambientales resultado de las prácticas de manejo amigables con el medio ambiente que desarrollan los productores (obras de conservación de suelos, diversificación y sustitución de agroquímicos).

La diversidad de especies y el número de estratos en el sistema CPT, podrían desempeñar 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 epífitas, manejo de la biodiversidad por parte de agricultor).

La abundancia de género *Inga* en los sistemas CN y CMBS, es resultado de políticas promovidas en los años 70 con el fin de simplificar los sistemas tradicionales e incluir especies con buenos atributos de sombra para el café (Soto – Pinto 2001). La conversión fue dirigida a proveer grandes volúmenes y satisfacer demandas de consumo en mercados nacionales y exportación.

El C de la materia orgánica del suelo es el principal reservorio con aproximadamente el 70% del Ct; asimismo el C en este reservorio es mayor en los sistemas con manejo orgánico CMBS y CPT frente a CN. 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 BV, 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 Rajagopal (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. En la Amazonia Peruana un sistema de café bajo sombra de *Inga* spp, almacenó 46.15 y 95.97 Mg C ha⁻¹ en la BV y la MOS.

Se resalta el aporte de C del 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 mas constantes en cantidad de C almacenado en los sistemas evaluados. El principal aporte de hojarasca dentro del mantillo en los sistemas evaluados puede provenir de árboles de *Inga spp*, los cuales son integrados en el sistema con el fin de promover la fijación biológica de N, el reciclaje de nutrientes y la incorporación de materia orgánica (Nair, 1993). 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 y captura neta de Ct en el escenario de mitigación es de 124 y 31.31 Mg C ha⁻¹ para un periodo de acreditación de 20 años respectivamente. 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 CN y CMBS considerando la densidad de árboles presente y la preeminencia de *Inga spp* como columna vertebral de la sombra. La renovación parcial del sombrío con 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, 1997).

Teniendo en cuenta el contenido de Ct en los sistemas CN, CMBS, CPT de 172 Mg C ha⁻¹ en promedio, es de suma importancia su conservación 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 y la regulación hidrológica, entre otros.

La difícil situación económica por la que atraviesa el sector cafetalero, hace indispensable implementar nuevas acciones que promuevan el desarrollo 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 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. Comparando el escenario 1 y 2 la relación B/C aumenta 1.2 puntos; cuando se integra el manejo orgánico y la captura de carbono (escenario 3), la relación aumenta 1.1 punto.

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 (1.2), 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 3.2 aunque este indicador es relativamente alto, el aporte económico de la captura de carbono respecto a otros productos es reducido, \$ 6,820 frente a \$ 208,601 por venta de café y \$ 168,972 por venta de madera. El mayor aporte económico en los escenarios 2 y 3, 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).

El costo de la captura de C en cafetales bajo sombra, considerando únicamente el manejo de la biomasa viva es muy bajo, US \$ 6.3 Mg C. Aunque los beneficios económicos se transfieren más hacia la venta de la madera, los

costos de establecimiento y manejo permitirían de cierta forma una fácil implementación. Como se mencionó 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).

La TIR al igual que el VPN y la relación B/C es mayor en los escenarios 2 y 3 respecto al escenario 1 y el margen de maniobra de un proyecto aumenta en la medida que existe un nuevo componente de manejo. Considerando la TIR en los escenarios 2 y 3, el proyecto respectivo soportaría tasas de interés inferiores al 15.2% y 19.4% respectivamente. Tasas por encima de este valor harían inviable el proyecto de captura de carbono, venta de productos maderables y manejo orgánico de café. Es importante resaltar el incremento que se da en la TIR cuando se pasa del escenario 2 al 3. De cierta forma la transformación de un sistema de café natural a café orgánico integrando la captura de carbono, traería mayor estabilidad al proyecto y mejoraría el nivel de ingresos promedio que percibe el productor.

Cuando los costos de producción aumentan y los beneficios percibidos por la venta de café, créditos de carbono y madera se reducen un 20%, el VPN y B/C disminuyen. Sin embargo la rentabilidad del sistema se mantiene por los ingresos que se perciben de la venta de madera principalmente. En la medida que la tasa de descuento aumenta la rentabilidad del proyecto en términos de VPN y B/C se reduce proporcionalmente.

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 involucre el concepto de desarrollo sostenible y generen mayor impacto en la economía del productor.

7. CONCLUSIONES

Los sistemas café natural, monocultivo bajo sombra y policultivo tradicional almacenan 129.82, 170.46 y 215.64 Mg C ha⁻¹ respectivamente.

En los sistemas de café bajo sombra evaluados el principal reservorio es el suelo, el almacenamiento oscilo entre 87.92 y 152.12 Mg C ha⁻¹.

Los sistemas café natural, monocultivo bajo sombra, policultivo tradicional almacenan en la biomasa viva 35.14, 46.84, 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 cohortes y manejo ejercido.

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

La captura de C a través de un proyecto de mitigación (enriquecimiento forestal con *Cedrela mexicana*) en un sistema de café bajo sombra se estimó en 31.31 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 (3.2), 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 árboles.

Es necesario que los gobiernos y agencias de desarrollo creen incentivos económicos especiales, bajo el concepto de servicios ambientales que promuevan el manejo sostenible y conservación de estos sistemas tradicionales de producción de café, que por sus características estructurales y florísticas son de vital importancia para la generación de múltiples beneficios ecológicos. En el caso del almacenamiento y captura de carbono se debe dar un trato especial y generar estrategias de pago por este servicio ambiental, a los productores que cuidan y manejan estos sistemas.

8. BIBLIOGRAFIA

- Ávila, G., Jiménez, F., Beer, J., Gómez, M., e Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería de las Americas* 8 (30): 32 – 35.
- Aukland, L., Moura, Costa P., Bass, S., Hug, S., Landell – Mills, N., Tipper, R., y Carr, R. 2002. Colocando los cimientos para el MDL: Preparando el sector del uso de la tierra. Una guía rápida al Mecanismo de Desarrollo Limpio. 2^{da} Ed. Londres. 39 p.
- Bandeira, F. P. 2002. El proceso de estructuración de cafetales rústicos y su papel para la conservación de la biodiversidad. Un estudio de caso de un área indígena de México. In, *Análisis de factores que afectan el establecimiento y la estructuración florística de los cafetales rústicos en dos áreas del sur este de México*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología. México. 126 p.
- Barton D. B., Plaza - Sanchez J. L., Contreras, M. E. 2002. Social dimensions of organic coffee production in Mexico: Lessons for Eco – Labeling initiatives. *Society and Natural Resources* 15: 429 – 446.
- Beedlow M. A., Tingey D. T., Phillips D. L., Hogsett W. E., Olszyk, D. M. 2004. Rising atmospheric CO₂ and carbon sequestration in forests. *Front Ecol Environ*: 2(6) 315 – 322.
- Brown, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. (FAO Forestry Paper - 134). Rome, 1997. 89 p.
- Cairns, M. A., Haggerty P. K., Alvarez, R., Ben H. J. De Jong, Olmsted, I. 2000. Tropical Mexico's recent land use change: A región's contributions to the global carbon cycle. *Ecological Applications* 10 (5) 1426 – 1441.
- Callo Concha D. A. 2001. Cuantificación del carbono secuestrado por algunos sistemas agroforestales y testigos en tres pisos ecológicos de la Amazonia del Perú. Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. México. 72 p.
- CATIE. 2000. Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical, guía para el establecimiento y medición. Turrialba, Costa Rica. 52 p.
- Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC). 1997. Protocolo de Kyoto. Kyoto. 31 p.

- Cordero, J., y Boshier, D. H. 2003. Árboles de Centroamérica: Un manual para extensionistas. Oxford Forestry Institute "OFI" y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza "CATIE". 1077 p.
- Chave, J., Andalo, C., Brown S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira T., Lescure, J. – P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig H., Riéra B., Yamakura T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87 – 99.
- Chomitz, K. M., y Lecocq, F. 2003. Temporary sequestration credits: An instrument for carbon bear. Development Research Group. World Bank. Washington D. C. 14 p.
- De Jong, B., Soto, L., Montoya, G., Nelson, K., Taylor, J., y Tipper, R. 1997a. Forestry and agroforestry alternatives for carbon mitigation: an analysis from Chiapas, Mexico. In: Adger W., Pettenella D., Whitby M.C., (eds). *Climate Change Mitigation and European Land Use Policies*. CAB International, Wallingford, UK. P. 263-284.
- De Jong, B., Tipper, R., Taylor R. 1997b. A Framework for monitoring and evaluation of carbon mitigation by farm forestry projects: example of a demonstration project in Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol 2 (1997): 231 – 246.
- De Jong, B., Masera, O., y Hernández – Tejeda T. 2004. Opciones de captura de carbono en el sector forestal. In, *Cambio Climático: Una visión desde Mexico*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). 1^{ra} Ed. Mexico. 369 – 380.
- Dixon, R. K. 1995. Agroforestry systems: sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems* 31: 99–116.
- Fassbender, H. W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, CATIE. 2^{da} Ed. Turrialba, Costa Rica. 491 p.
- Faustino, M. 1998. La Vegetación de Chiapas. Gobierno del Estado de Chiapas y CONECULTA. 3^{ra} Ed. 596 p.
- Frangi, J. L. y Lugo, A. E. 1985. Ecosystem dynamics of a subtropical floodplain forest. *Ecological Monographs* 55:351-369.
- Garcia, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Copen. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 217 p.

- Garduño, R. 2004. Que es el efecto de invernadero. In, Cambio Climático: Una visión desde Mexico. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). 1^{ra} Ed. Mexico. 29 – 39.
- Greenberg, R., Bichier, M., y Sterling, J. 1997. Bird Population in Rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas, México. *Biotropica* 29 (4) 501 – 514.
- Gresser, C. y Tickell, S. 2002. Pobreza en tu taza de café. Oxfam Internacional. Perú. 54 p.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático "IPCC". 1996. Tecnología, políticas y medidas para mitigar el cambio climático (en línea). OMM y PNUMA. 102 p. Disponible en <http://www.ipcc.ch>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático "IPCC". 2001a. Tercer informe de evaluación de cambio climático "Mitigación" (en línea). OMM y PNUMA. 95 p. Disponible en <http://www.ipcc.ch>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático "IPCC". 2001. Cambio Climático 2001: Informe de síntesis. Resumen para Responsables de Políticas (en línea). OMM y PNUMA. 38 p. Disponible en <http://www.ipcc.ch>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático "IPCC". 2002. Cambio climático y biodiversidad (en línea). OMM y PNUMA. 93 p. Disponible en <http://www.ipcc.ch>.
- Hairiah, K., Sitompul, S. M., Van Noordwijk M., y Palm, C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. International Centre for Research in Agroforestry, Bogor Indonesia. 23 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática). 1984. Carta de uso del suelo y vegetación 1:25000. Mapas E 15 – 8, E 15 - 11. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática). 1993. Anuario estadístico del estado de Chiapas. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Aguascalientes, México.
- Intergovernmental Panel on Climate Change "IPCC". 2003b. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (en línea) National Greenhouse Gas Inventories Programme. Kanagawa, Japan. Disponible en <http://www.ipcc.ch>.

- Jaramillo, V. J. 2004. El ciclo global del carbono. Una visión desde Mexico. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). 1^{ra} Ed. Mexico. 76 – 85.
- Krishnamurthy, L. R., y Ávila M. 1999. Agroforestería básica. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México D.F., México. 340 p
- Lamprecht, Hans. 1990. Silvicultura en los Trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Cooperación Técnica, Republica Federal de Alemania. Eschborn. 335 p.
- Lojka, B., Preininger, D., Lojkova, J., Banout, J., Polesny, Z. 2005. Biomass growth and farmer knowledge of *inga edulis* in peruvian amazon. Agricultura Tropica et Subtropica. Vol. 38(3-4) 2005
- MacDicken, K. G. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International Institute for Agricultural Development. Forest Carbon Monitoring Program. 87 p.
- Mas H. Alexandre y Dietsch V. T. 2004. Linking shade coffee certification to biodiversity conservation: butterflies and birds in Chiapas, Mexico. Ecological Application 14 (3): 642 – 654.
- Masera, O. 1995. Carbon Mitigation Scenarios for Mexican Forests: Methodological Considerations and Results. *Interciencia* 20 (6): 388-395.
- Masera, O., Ordoñez, M. J., y Dirzo, R. 1997. Carbon emissions from Mexican Forests: Current Situation and Long-term Scenarios, *Climatic Change* 35: 265-295.
- Melo Cruz, O. A. y Vargas, Ríos R. 2003. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad del Tolima, CRQ, CARDER, CORPOCALDAS, CORTOLIMA. 235 p.
- Moguel, P. y Toledo V. M. 1996. El Café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. Ciencias 43: 40 – 51.
- Moguel, P. y Toledo V. M. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. Conservation Biology 13 (1): 11 – 21.
- Montagnini, F., y Nair, R. K. P. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. In Agroforestry Systems. 61: 281 – 295.
- Nair, R. K. P. 1993. An Introduction to Agroforestry. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. 543 p.

- Nestel, D. 1995. Coffee in Mexico: international market, agricultural landscape and ecology. *Ecological Economics* 15: 165 – 178.
- Oelbermann, M., Voroney, P. R., y Gordon, M. A. 2004. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104: 359 – 377.
- Organización de las Naciones Unidas. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Nueva York. 50 p.
- Orlando, B., Baldock, D., Canger, S., Mackenses, J., Magininis, S., Socorro, M., Rietbergen, S., Robledo, C. y Schneider, N. 2002. Carbon forest and people: Towards the integrated management of carbon sequestration, the environment and sustainable livelihoods. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. Vi + 42 p.
- Peeters Liza Y. K., Soto – Pinto L., Perales, H., Montoya, G., Ishiki, M. 2003. Coffee production, timber and firewood in traditional and *Inga* – shaded plantations in Southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 95 481 – 493.
- Pennington, T. D., y Sarukhán, J. 2005. Árboles tropicales de México; Manual para la identificación de las principales especies. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. 3^{ra} Ed. 523 p.
- Perfecto, L., Rice, R. A., Greenberg, R., Van der Voort M. E. 1996. Shade Coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *Bio Science*, Vol. 46, No. 8. 598 – 608.
- Perfecto, L., Vandermeer J., Mas, A., Soto Pinto, L. 2005. Biodiversity, yield, and shade coffee certification. *Ecological Economics* 54: 435 – 446.
- Pohlan, J. 2002. México y la Cultura Chiapaneca, reflexiones y alternativas para los caficultores. Die Deutsche Bibliothek – CIP – Einheit Saufnahme. Aachen Shaker (Berichtsausder Agrarwissenschaft). 386 p.
- Point Carbon. 2006. Disponible en: <http://www.pointcarbon.com>
- Rajagolpa, R. I. 2004. Estimación del secuestro de carbono en sistemas agroforestales a base de cítricos en el trópico húmedo mexicano. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. México. 145 p.
- Richards, P. W. 1996. The Tropical Rain Forest. Cambridge University Press. 2^{da} Ed. United Kingdom. 575 p.

- Sanchez, Lopez E. 2004. Manual para el diseño, establecimiento y manejo de los principales sistemas agroforestales de cedro rojo, cedro nogal y primavera en la región de los Tuxtlas, Veracruz. Tesis de Maestrías, División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 265 p.
- Schelhaas, M. J., Esch van P. W., Groen, T. A., De Jong B.H.J., Kanninen, M., Liski, J., Masera, O., Mohren, G. M. J., Nabuurs, G. J., Palosuo, T., Pedroni, L., Vallejo, A., Vilén, T. 2004. CO2FIX V 3.1 manual - a modelling framework for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems. CATIE, Wageningen University. Wageningen. 49 p.
- Schroeder, P. 1994 Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 27: 89–97.
- Schroth, G., y Sinclair, F. L. 2003. Trees, crops and soil fertility. Concepts and research methods. CABI Publishing. UK. 437 p.
- Smith, J., Mulongoy, K., Persson, R., y Sayer, J. 2000. Harnessing carbon markets for tropical forest conservation: towards a more realistic assessment. *Environmental Conservation* 27(3): 300–311.
- Sokal, R. R., y Rohlf, J. F. 1981. Biometry. The principles and practices of statistics in biological research. 2^{da} Ed. State University of New York at Stony Brook. W. H. Freeman and Company, New York. 208 – 270.
- Soto – Pinto L., Perfecto I., Castillo-Hernández J., Caballero-Nieto J.. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 80: 61–69: 977 – 987.
- Soto – Pinto L., Romero – Alvarado Y., Caballero – Nieto J., Segura Warnholtz G. 2001. Woody plant diversity and structure of shade grown coffee plantations in Northern Chiapas, Mexico. *Biol. Trop.* 49 (3 - 4)
- United Nations Environment Programme (UNEP) y Climate Changed Secretariat (UNFCCC). Climate change information kit. Disponible en: <http://www.unep.ch/conventions>.
- Vanderhoff, B. Francisco. 2005. Excluidos hoy, protagonistas mañana. México. 166 p.
- Van Noordwijk M., Rahayu S., Hairiah K., Wulan Y. C., Farida A., y Verdist B. 2002. Carbon stock assessment for a forest – to – coffee conversion landscape in Sumber – Jaya (Lampug, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. *Science in China Series C – Life Sciences* 45: 75 – 86 Suppl. SCOCT 2002. Science in China Press, Beijing.

- Van Wagner, C. E. 1968. The line intersect method in forest fuel sampling. Forest science 14: 20 – 26.
- Waiting R. H., y Schlesinger W. H. 1985. Forest productivity and seccession. In, Forest ecosystems: concepts and management. Academic Press. London. 340 p.
- Young, A. 1989. Agroforestry for soil management. 1^{ra} Ed. CAB International. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). UK. 276 p.
- Young, A. 1997. Agroforestry for soil management. 2^{da} Ed. CAB International. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). UK. 320 p.

9. ANEXOS

Anexo 1. Clasificación agroforestal de sistemas de café bajo sombra, Chiapas, México, según clasificación de Nair (1993)

Sistema	Objetivo	Estructura			Funciones del sistema	Adaptabilidad ambiental	Nivel de manejo socioeconómico
		Naturaleza de los componentes	Arreglo de los componentes				
			Espacio	Tiempo			
Café natural (CN)	Producción de café convencional, sin criterios de certificación orgánica	Sistema Agrisilvícola	Mixtos con densidades variables	Coincidentes	Producción de café, aprovechamiento de leña, producción de frutos comestibles y plantas medicinales. Prestación de servicios ambientales: captura de carbono.	Zonas subtropicales, en climas húmedos	Bajo nivel de insumos
Café monocultivo bajo sombra (CMBS)	Producción de café con criterios orgánico y comercio justo	Sistema Agrisilvícola	Mixtos, con densidades variables	Coincidentes	Producción de café y en menor escala aprovechamiento de leña. Prestación de servicios ambientales: protección y mejoramiento de suelos, fijación biológica de nitrógeno, regulación hídrica y captura de carbono.	Zonas subtropicales, en climas semi - húmedos	Mediano nivel de insumos
Café policultivo tradicional (CPT)	Producción de café con criterios orgánico y comercio justo	Sistema Agrisilvícola	Mixtos, con densidades variables	Coincidentes	Producción de café y en menor escala aprovechamiento de leña, madera para usos rurales, producción de frutos comestibles y plantas medicinales. Prestación de servicios ambientales: protección y mejoramiento de suelos, regulación hídrica, captura de carbono y biodiversidad.	Zonas subtropicales, en climas semi - húmedos	Mediano nivel de insumos

Anexo 2. Cronograma de actividades, manejo de cafetales orgánicos, Chiapas, México

Practica (Insumo, calidad, cantidad y herramienta)	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Preparación del terreno: machete, lima y azadón.												
Establecimiento de la plantación de café (Incluye, trazo, ahoyado y siembra): plántulas, 2000 cafetos ha ⁻¹ , nivel A, cinta métrica, pala ahoyadora, barreta, carretilla y costales.												
Preparación de abono: materiales orgánicos (pulpa de café, hojarasca, rastrojo, suelo del bosque, residuos orgánicos de la parcela), cenizas, cal agrícola, pala, plásticos.												
Aplicación de abonos: composta o vermi – composta (1.5 kg x cafeto año ⁻¹), carretilla, costales y pala.												
Control de malezas y limpia artesanal: machete y azadón (el azadón es utilizado en el sistema de café convencional).												
Poda sanitaria, renuevo de cafeto y agobio (se realiza a partir del quinto año): machete.												
Desrame de árboles (manejo de sombra): hacha y machete.												
Cosecha: canastos y costales.												
Beneficio húmedo de café: costales, tanques de fermentación, despulpadora, patio de secado, rastrillo de madera.												
Control fitosanitario: trampas y hongo para control de broca.												
Construcción de obras de control de erosión												
Beneficio seco (conversión de café pergamino a café oro).												
Almacenamiento: patio de almacenamiento y costales.												
Comercialización (transporte y gastos administrativos).												

Anexo 3. Especies de sombra identificadas en tres sistemas de café bajo sombra

Familia	Nombre Comun	Nombre Científico	Forma biológica [§]	Presencia [¶]	Usos [†]
Agavaceae	Izote	<i>Yucca elephantipes</i> Regel	t	2	
Anacardiáceas	Mala mujer	<i>Toxicodendron striata</i> Kuntze	t	2, 3	
Annonaceae	Anona	<i>Annona cherimolla</i> Mill.	t	2	1,3,4
Apocynaceae	Palo de oro	<i>Thevetia peruviana</i> (Pers.) schum.	t	2	1
Arecaceae	Chapay	<i>Astrocharium mexicanum</i> Liebm.	p	3	3,8
	Palma pejibaye	<i>Bactris gasipaes</i> H.B.K.	p	3	3
Asteraceae	Corcho	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.	s	1, 2	
	Sun	<i>Tithonia rotundifolia</i> (Miller) Blake	s	1	3
Bignoniaceae	Palo blanco	<i>Rondeletia stenosisiphon</i> Hemsl	t	1, 2	
		<i>Tabebuia rosea</i> (Ber) D.C	t	3	2,6,8
Burseraceae	Palo mulato, chacaj	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	t	3	2,7
Caprifoliaceae	Chicjalapte	<i>Viburnum hartwegii</i> Benth	t		
Caricaceae	Papaya	<i>Carica pennata</i> Heilb.	t	1	3
Compositae	Pom' té	<i>Eupatorium aff. sordidum</i> Less	s	1, 2	8
	Sitit	<i>Vernonia deppeana</i> Less.	s	1, 2, 3	1
	Tsui	<i>Liabum discolor</i> (Hook. & Arn) Benth. & Hook. Ex Hemsl	t	2	
Cornaceae	Palo colorado	<i>Cornus disciflora</i> Sessé & Moc. ex DC.	t	2	4,5,6
Euphorbiaceae	Chatet	<i>Omphalea oleifera</i> Hemsl.	t	3	
	Chi' ch bat, sangre de drago	<i>Croton draco</i> Schl.	t	2, 3	8
	Tumin' té	<i>Croton billbergianus</i> Mull Arg	t	3	1
	Manichajan	<i>Acalypha</i> sp.		3	
Fabaceae	Chalum I	<i>Inga thibaudiana</i> DC.	t	1, 3	8
	Coquil' te	<i>Inga pavoniana</i> Donn.	t	1, 3	1,3,8
	Coquil' te blanco, san	<i>Inga spuria</i> H.B.K.	t	3	1,8
	Guash, timbre	<i>Leucaena brachycarpa</i> Urban.	t	1, 2, 3	1,5
	Macheton	<i>Inga radians</i> Pitt.	t	1	8
	Mote	<i>Erythrina</i> sp	t	3	1,2,3,5
	No identificada 0		t	1	
	Shashib	<i>Acacia pennatula</i> (Schl.) et Cham. Benth	t	1	1,2
	Taray	<i>Diphysa americana</i>	t	2	1,2,5,8
	Tzelel	<i>Inga punctata</i> Willd.	t	2, 3	1,8
Flacourtiaceae	Coloch' té	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	t	3	1,2
Guttiferae	Jox' te	<i>Vismea camparaguey</i> Sprage & Riley	t	3	
Hamamelidáceas	Liquidambar	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	t	3	2,4,6
Icacinaceae	Cacaté	<i>Oecopetalum mexicanum</i> Gr. Et Th	t	2, 3	1,2,3,8
Lauraceae	Aguacate criollo	<i>Persea americana</i> Mill	t	2	1,2,3,4,8
	Aguacatillo	<i>Nectandra salicifolia</i> (HBK) Nees	t	2	1,2,8
	On' te	<i>Persea liebmanii</i> Mez.	t	3	1,3,8
Malpighiaceae		<i>Bunchosia lanceolata</i> Turcz.	t	2	
Meliaceae	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King	t	3	2,6
	Cedro	<i>Cedrela mexicana</i> M. Roem.	t	3	2,6,8

[§] Forma biológica: t) árbol, s) arbusto, p) palma, h) hierba alta

[¶] Presencia en sistema: 1) monocultivo bajo sombra (CMBS), 2) policultivo tradicional (PT), 3) café natural (CN)

[†] Usos claves: 1) leña, 2) madera, 3) comestible, 4) medicina, 5) forrage, 6) artesanías, 7) gomas y resinas, 8) sombra

Anexo 3. Continuación

Familia	Nombre Comun	Nombre Científico	Forma biológica [§]	Presencia [¶]	Usos [†]
Meliaceae	Palo purga	<i>Trichilia havanensis</i> Jacq.	t	2	1,8
Moraceae	Guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i> Berthold	t	1, 3	2,4
Musaceae	Guineo	<i>Musa sapientum</i> L.		1, 2, 3	3,8
Myrtaceae	Guayaba	<i>Psidium guajava</i> Linnaeus	t	2	1,3,4
	Pomarrosa	<i>Eugenia jambos</i> L.	t	2	3,8
Piperaceae	Hierba santa	<i>Piper auritum</i> H.B.K	h	3	3
Ramnaceae	Anonia, k' anol'te	<i>Rhamnus capraefolia</i> Schlecht	t	1, 2	
Rubiaceae	Café	<i>Coffea arabica</i> L.	t		1,3
Rutaceae	Lima	<i>Citrus limetta</i> Risso	t	1	1,3
	Naranja	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	t	1, 2	1,3,4
Sapindaceae	Quiebrahacha, toj' pos' te	<i>Cupania dentata</i> Moc. & Sessé ex DC.	t	2	1,2,6
Sapotaceae	Chii' t	<i>Chrysophyllum mexicanum</i> (Brand) Standl	t	3	1,2,3
Saurauíaceas	Ajob, baba toro	<i>Saurauia villosa</i> D.C	t	3	
Solanaceae	Ashin' te	<i>Solanum americanum</i> Miller	s	2	3
	Campana	<i>Datura</i> sp	s	1, 2	
	Cinco negritos	<i>Cestrum nocturnum</i> L.	t	2	1,4,5
	Verruga	<i>Lycianthes tricolor</i> (Moc. Et Sessé ex Dunall) Bitter	t	2	
Tiliaceae	Bat	<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz	t	3	1
	Corcho rojo	<i>Heliocarpus</i> aff. <i>Popayanensis</i> H.B.K.	t	2	2
Ulmaceae	Chuchum	<i>Chaetoptelea mexicana</i> (Liebm.) Planch.	t	3	
Verbenaceae	Tabaquillo	<i>Solanum erianthum</i> D. Don	t	2	2
	Chuman' te	No identificada		3	
-	No identificada 1	No identificada		3	
-	No identificada 2	No identificada		3	
-	No identificada 4	No identificada		1	
-	Yon' chuch	No identificada		3	

[§] Forma biológica: t) árbol, s) arbusto, p) palma, h) hierba alta

[¶] Presencia en sistema: 1) monocultivo bajo sombra (CMBS), 2) policultivo tradicional (PT), 3) café natural (CN)

[†] Usos claves: 1) leña, 2) madera, 3) comestible, 4) medicina, 5) forraje, 6) artesanías, 7) gomas y resinas, 8) sombra

Anexo 4. Abundancia relativa (%) de especies, en tres sistemas de café bajo sombra, CN, CMBS y CPT, Chiapas, México

Café natural (CN)		Monocultivo bajo sombra (CMBS)		Policultivo tradicional (CPT)	
Abundancia %					
<i>Inga thibaudiana</i>	22	<i>Inga thibaudiana</i>	64	<i>Inga punctata</i>	23
<i>Musa sapientum</i>	18	<i>Inga pavoniana</i>	16	<i>Musa sapientum</i>	12
<i>Inga pavoniana</i>	12	<i>Leucaena brachycarpa</i>	6	<i>Cornus disciflora</i>	9
<i>Oecopetalum mexicanum</i>	5	<i>Datura sp</i>	2	<i>Nectandra salicifolia</i>	9
<i>Croton draco</i>	4	<i>Musa sapientum</i>	2	<i>Vernonia deppeana</i>	6
<i>Piper auritum</i>	4	<i>Eupatorium aff. sordidum</i>	2	<i>Oecopetalum mexicanum</i>	6
<i>No Identificada 1</i>	4	<i>Citrus limetta</i>	2	<i>Heliocarpus aff. Popayanen</i>	5
<i>Bactris gasipaes</i>	3	<i>Citrus sinensis</i>	1	<i>Cupania dentata</i>	5
<i>Inga spuria</i>	2	<i>Cecropia obtusifolia</i>	1	<i>Rhamnus capraefolia</i>	3
Otras especies	27	Otras especies	4	Otras especies	22
	100	Total	100		100

Anexo 5. Índices convencionales para la evaluación de la estructura horizontal del sistema de café natural (CN), Chiapas, México

N. Comun	N. Científico	Abundancia		Dominancia*		Frecuencia		IVI
		Abs	%	Abs	%	Abs	%	%
1 liquidambar	<i>Liquidambar styraciflua</i>	1	2.0%	5,153	24.0%	1	4.3%	10.1%
2 cacadé	<i>Oecopetalum mexicanum</i>	7	14.0%	2,502	11.7%	1	4.3%	10.0%
3 chi' ch bat	<i>Croton draco</i>	6	12.0%	1,720	8.0%	2	8.7%	9.6%
4 hierba santa	<i>Piper auritum</i>	5	10.0%	571	2.7%	2	8.7%	7.1%
5 chuchum	<i>Chaetoptelea mexicana</i>	1	2.0%	2,463	11.5%	1	4.3%	5.9%
6 yon' chuch	<i>No Identificada 1</i>	5	10.0%	610	2.8%	1	4.3%	5.7%
7 manichajan	<i>Acalypha sp</i>	3	6.0%	1,455	6.8%	1	4.3%	5.7%
8 sitit	<i>Vernonia deppeana</i>	3	6.0%	236	1.1%	2	8.7%	5.3%
9 guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i>	3	6.0%	980	4.6%	1	4.3%	5.0%
10 jox' te	<i>Vismea camparagwey</i>	2	4.0%	1,131	5.3%	1	4.3%	4.5%
11 chii' t	<i>Chrysophyllum mexicanum</i>	3	6.0%	624	2.9%	1	4.3%	4.4%
12 chatet	<i>Omphalea oleifera</i>	1	2.0%	1,320	6.2%	1	4.3%	4.2%
13 mala mujer	<i>Toxicodendron striata</i>	2	4.0%	502	2.3%	1	4.3%	3.6%
14 tu' minté	<i>Croton billbergianus</i>	2	4.0%	354	1.7%	1	4.3%	3.3%
15 coloch' té	<i>Casearia sylvestris</i>	1	2.0%	531	2.5%	1	4.3%	2.9%
16 chuman'te	<i>No Identificada 3</i>	1	2.0%	415	1.9%	1	4.3%	2.8%
17 ajob	<i>Saurauia villosa</i>	1	2.0%	314	1.5%	1	4.3%	2.6%
18 bat	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	1	2.0%	284	1.3%	1	4.3%	2.6%
19 on' te	<i>Persea liebmanii</i>	1	2.0%	177	0.8%	1	4.3%	2.4%
20 chapay	<i>Astrocharium mexicanum</i>	1	2.0%	87	0.4%	1	4.3%	2.3%
	Total	50	100%	21,428	100%	23	100%	100%

* Dominancia: Expresada en terminos de area basal en cm²

Anexo 6. Índices convencionales para la evaluación de la estructura horizontal del sistema de café monocultivo bajo sombra (CMBS), Chiapas, México

N. Comun	N. Científico	Abundancia		Dominancia*		Frecuencia		IVI
		Abs	%	Abs	%	Abs	%	
1 campana	<i>Datura sp</i>	6	28.6%	1,190	36.4%	3	27.3%	30.7%
2 pom' té	<i>Eupatorium aff. sordidum</i>	5	23.8%	486	14.9%	1	9.1%	15.9%
3 guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i>	2	9.5%	586	17.9%	1	9.1%	12.2%
4 corcho	<i>Vernonia patens</i>	2	9.5%	277	8.5%	1	9.1%	9.0%
5 sitit	<i>Vernonia deppeana</i>	2	9.5%	255	7.8%	1	9.1%	8.8%
6 shashib	<i>Acacia pennatula</i>	1	4.8%	154	4.7%	1	9.1%	6.2%
7 k' anol'te	<i>Rhamnus capraefolia</i>	1	4.8%	133	4.1%	1	9.1%	6.0%
8 sun	<i>Tithonia rotundifolia</i>	1	4.8%	95	2.9%	1	9.1%	5.6%
9 palo blanco	<i>Rondeletia stenosphon</i>	1	4.8%	95	2.9%	1	9.1%	5.6%
Total		21	100%	3,271	100%	11	100%	100%

* Dominancia: Expresada en terminos de area basal en cm²

Anexo 7. Índices convencionales para la evaluación de la estructura horizontal del sistema de café policultivo tradicional (CPT), Chiapas, México

N. Comun	N. Científico	Abundancia		Dominancia*		Frecuencia		IVI
		Abs	%	Abs	%	Abs	%	
1 corcho rojo	<i>Heliocarpus aff. Popayanensis</i>	14	8.9%	18,045	26.8%	5	10.0%	15.2%
2 aguacatillo	<i>Nectandra salicifolia</i>	24	15.2%	7,468	11.1%	6	12.0%	12.8%
3 quiebrahacha	<i>Cupania dentata</i>	14	8.9%	11,479	17.0%	5	10.0%	12.0%
4 palo colorado	<i>Comus disciflora</i>	25	15.8%	5,699	8.5%	3	6.0%	10.1%
5 cacaté	<i>Oecopetalum mexicanum</i>	15	9.5%	7,003	10.4%	3	6.0%	8.6%
6 sitit	<i>Vernonia deppeana</i>	17	10.8%	3,970	5.9%	2	4.0%	6.9%
7 tabaquillo	<i>Solanum erianthum</i>	5	3.2%	2,250	3.3%	3	6.0%	4.2%
8 anonia	<i>Rhamnus capraefolia</i>	9	5.7%	1,286	1.9%	2	4.0%	3.9%
9 chi' ch bat	<i>Croton draco</i>	5	3.2%	2,184	3.2%	2	4.0%	3.5%
10 Bunchosia lanceolata TL	<i>Bunchosia lanceolata</i>	6	3.8%	1,254	1.9%	2	4.0%	3.2%
11 palo de oro	<i>Thevetia peruviana</i>	4	2.5%	996	1.5%	2	4.0%	2.7%
12 mala mujer	<i>Toxicodendron striata</i>	2	1.3%	503	0.7%	2	4.0%	2.0%
13 palo purga	<i>Trichilia havanensis</i>	2	1.3%	306	0.5%	2	4.0%	1.9%
14 pom' té	<i>Eupatorium aff. sordidum</i>	2	1.3%	263	0.4%	2	4.0%	1.9%
15 anona	<i>Annona cherimolla</i>	3	1.9%	1,125	1.7%	1	2.0%	1.9%
16 taray	<i>Diphyssa americana</i>	2	1.3%	1,335	2.0%	1	2.0%	1.7%
17 palo blanco	<i>Rondeletia stenosphon</i>	1	0.6%	855	1.3%	1	2.0%	1.3%
18 cinco negro	<i>Cestrum nocturnum</i>	2	1.3%	297	0.4%	1	2.0%	1.2%
19 campana	<i>Datura sp</i>	2	1.3%	246	0.4%	1	2.0%	1.2%
20 axinte	<i>Solanum americanum</i>	1	0.6%	573	0.8%	1	2.0%	1.2%
21 tsui	<i>Liabum discolor</i>	1	0.6%	133	0.2%	1	2.0%	0.9%
22 corcho	<i>Vernonia patens</i>	1	0.6%	95	0.1%	1	2.0%	0.9%
23 verruga	<i>Lycianthes tricolor</i>	1	0.6%	79	0.1%	1	2.0%	0.9%
Total		158	100%	67,443	100%	50	100%	100%

* Dominancia: Expresada en terminos de area basal en cm²

Anexo 8. Información detallada de reservorios de carbono por parcela, en tres sistemas de café bajo sombra, CN, CMBS, CPT, Chiapas, México

Sistema	# parcela	Codigo	A ≥ 10	A < 10	arb (café)	Hb	R	BV	RCS	M	MOM	MOS	Ct
CN	1	CafC3	15.505	0.065	6.926	0.814	5.012	28.322	0.255	1.995	2.249	73.038	103.610
	2	CafC4	11.831	0.059	11.318	0.215	5.151	28.574	1.385	8.741	10.126	62.649	101.349
	3	CafC5	4.858	0.144	17.522	0.431	5.016	27.972	1.928	5.128	7.056	73.801	108.829
	4	Tze05	12.077	0.139	8.679	0.753	4.697	26.346	0.332	6.898	7.230	75.533	109.109
	5	Tze07	19.433	0.407	13.179	0.319	7.057	40.395	0.425	5.961	6.385	60.764	107.544
	6	Tze17a	23.941	0.074	15.078	0.325	8.165	47.582	0.046	2.598	2.644	124.093	174.319
	7	Tze20a	31.499	0.075	6.889	0.249	8.048	46.760	5.957	5.382	11.339	145.891	203.990
CMBS	1	Cafor1	24.343	0.036	19.813	0.054	9.099	53.345	1.083	10.359	11.443	139.548	204.335
	2	Cafor2	11.954	0.000	7.900	0.116	4.487	24.456	0.260	6.010	6.270	96.266	126.992
	3	Cafor3	39.894	0.703	14.741	0.003	11.100	66.441	0.798	8.121	8.919	115.602	190.962
	4	Cafor4	44.535	0.233	15.485	0.155	11.966	72.375	0.703	4.140	4.843	70.265	147.483
	5	Cafor5	10.969	0.963	8.063	0.082	4.515	24.591	0.871	3.953	4.825	94.557	123.973
	6	Cafor6	33.303	0.086	2.139	0.271	7.503	43.302	0.482	3.379	3.861	161.050	208.213
	7	Cafor7	26.103	0.497	9.067	0.173	7.529	43.369	0.528	3.264	3.792	144.135	191.295
CPT	1	Cafbio1	32.561	0.089	10.402	0.086	8.892	52.030	0.003	9.476	9.479	124.596	186.106
	2	Cafbio2	33.104	0.742	7.721	0.327	8.620	50.515	0.404	3.745	4.149	145.800	200.463
	3	Cafbio3	47.568	0.121	12.626	0.098	11.977	72.391	0.351	6.029	6.380	198.362	277.133
	4	Cafbio4	26.085	1.884	2.829	0.432	6.613	37.843	0.264	7.517	7.781	164.322	209.946
	5	Cafbio5	60.995	1.145	11.008	0.455	14.203	87.806	0.401	4.105	4.506	127.645	219.958
	6	Cafbio6	27.037	1.098	8.374	0.063	7.686	44.259	0.528	3.437	3.965	152.021	200.245

CN: Café natural; **CMBS:** Café monocultivo bajo sombra; **CPT:** Café policultivo tradicional

A ≥ 10: Árboles mayores a 10 cm de DN; **A < 10:** Árboles ≥ 5 y < 10 cm de DN; **arb:** Arbusto de café; **Hb:** Hierbas; **R:** Raíces gruesas y finas; **BV:** Biomasa Viva

RCS: Ramas caídas en el suelo; **M:** Mantillo; **MOM:** Materia orgánica muerta

MOS: Materia orgánica del suelo

Ct: Carbono total

Anexo 9. Estadígrafos para estimación de carbono en tres sistemas de café bajo sombra en Chiapas, México

CN	Media	Var	Sx	E	Li	Ls	CV %
A ≥ 10	17.021	77.485	3.327	6.454	10.566	23.475	52%
A < 10	0.138	0.015	0.047	0.091	0.047	0.228	90%
arb (café)	11.370	16.992	1.558	3.023	8.348	14.393	36%
Hb	0.444	0.059	0.092	0.178	0.266	0.621	55%
Raices	6.164	2.362	0.581	1.127	5.037	7.291	25%
BV	35.136	89.295	3.572	6.929	28.207	42.065	27%
RCS	1.475	4.374	0.790	1.533	-0.058	3.009	142%
M	5.243	5.512	0.887	1.721	3.522	6.965	45%
MOM	6.718	11.670	1.291	2.505	4.214	9.223	51%
MOS	87.967	1,103.225	12.554	24.355	63.612	112.322	38%
Ct	129.821	1,724.120	15.694	30.446	99.375	160.268	32%

CMBS	Media	Var	Sx	E	Li	Ls	CV %
A ≥ 10	27.300	167.344	4.889	9.485	17.815	36.786	47%
A < 10	0.360	0.138	0.140	0.272	0.088	0.632	103%
arb (café)	11.030	35.379	2.248	4.361	6.668	15.391	54%
Hb	0.122	0.008	0.033	0.064	0.058	0.187	72%
Raices	8.028	8.583	1.107	2.148	5.880	10.177	36%
BV	46.840	349.857	7.070	13.715	33.125	60.555	40%
RCS	0.675	0.075	0.104	0.201	0.474	0.876	41%
M	5.604	7.402	1.028	1.995	3.609	7.599	49%
MOM	6.279	8.307	1.089	2.113	4.165	8.392	46%
MOS	117.346	1,050.651	12.251	23.767	93.579	141.114	28%
Ct	170.465	1,334.274	13.806	26.784	143.681	197.249	21%

CPT	Media	Var	Sx	E	Li	Ls	CV %
A ≥ 10	37.892	187.192	5.171	10.446	27.446	48.338	36%
A < 10	0.846	0.468	0.259	0.522	0.324	1.369	81%
arb (café)	8.827	11.815	1.299	2.624	6.203	11.451	39%
Hb	0.243	0.033	0.069	0.139	0.104	0.383	75%
Raices	9.665	8.172	1.080	2.183	7.483	11.848	30%
BV	57.474	356.123	7.133	14.408	43.066	71.882	33%
RCS	0.325	0.032	0.068	0.137	0.188	0.462	55%
M	5.718	5.832	0.913	1.844	3.874	7.562	42%
MOM	6.043	5.042	0.849	1.714	4.329	7.758	37%
MOS	152.124	736.751	10.259	20.723	131.401	172.848	18%
Ct	215.642	1,034.413	12.156	24.556	191.086	240.197	15%

CN: Café natural

CMBS: Café monocultivo bajo sombra

CPT: Café policultivo tradicional

Var: Varianza; Sx: Desviacion estandar; E: Error estandar; Li: Limite inferior

Ls: Limite superior; CV %: Coeficiente de variacion

Anexo 10. Información complementaria para simulación en CO₂Fix.
Incremento corriente anual (ICA), incremento relativo en hojas,
ramas y raíces.

Variable	Edad	Dosel alto (Cedrella odorata)	Dosel medio (Inga spp)	Dosel bajo (Coffea arabica)
Incremento corriente anual (ICA)	0	0.00	0.00	0.00
	1	0.00	0.10	-
	2	0.02	0.60	-
	3	0.19	1.63	0.57
	4	0.79	3.03	-
	5	1.85	4.83	-
	6	3.16	7.02	2.28
	7	4.51	9.58	-
	8	5.75	12.50	-
	9	6.79	12.50	-
	10	7.61	12.50	7.41
	11	8.23	12.50	-
	12	8.67	-	-
	13	8.95	-	-
	14	9.11	-	-
	15	9.17	12.50	7.98
	16	9.15	-	-
	17	9.06	-	-
	18	8.94	-	-
	19	8.78	12.50	3.99
	20	-	-	-
	25	-	-	0.28
	29	-	-	0.00
Incrementos relativos de materia seca				
Follage	0	1	1	1
	5			0.8
	10	1	1	1
	15			1
	20	1	1	1
	25			1.5
	30	1	1	
Ramas	0	1	1	1
	5			1
	10	1	1	1
	15			1
	20	1	1	1
	25			1
	30	1	1	1
Raíces	0	1	1	1
	5			0.7
	10	0.8	0.7	0.6
	15			0.6
	20	0.7	0.7	1
	25			
	30	1	1	

Anexo 11. Flujos de carbono por escenario y cohorte, año por año durante 60 años.

año	Escenario de línea base (Mg C ha ⁻¹)			Escenario de mitigación de carbono (Mg C ha ⁻¹)				Captura C ha ⁻¹)		(Mg
	Dosel medio	Dosel bajo	Total	Dosel alto	Dosel medio	Dosel bajo	Total	Línea base	Proyecto	Total
0	20.89	14.1	34.99	0	20.89	14.1	34.99	34.99	34.99	0
1	19.42	13.02	32.44	0	19.42	13.02	32.44	32.44	32.44	0
2	18.96	12.25	31.2	0.01	18.95	12.25	31.21	31.2	31.21	0.01
3	19.56	11.71	31.28	0.19	19.55	11.71	31.45	31.28	31.45	0.17
4	21.44	11.65	33.08	0.87	21.41	11.65	33.92	33.08	33.92	0.84
5	24.8	11.96	36.76	2.35	24.74	11.96	39.06	36.76	39.06	2.3
6	29.81	12.66	42.47	4.74	29.74	12.64	47.12	42.47	47.12	4.65
7	36.64	14.11	50.75	7.98	36.54	14.02	58.54	50.75	58.54	7.79
8	45.38	16.12	61.5	11.9	45.27	15.87	73.05	61.5	73.05	11.55
9	52.6	18.47	71.07	16.35	52.49	17.93	86.77	71.07	86.77	15.7
10	29.61	21.04	50.65	20.71	28.71	19.72	69.14	50.65	69.14	18.49
11	26.11	24.13	50.24	25.84	25.5	22.35	73.69	50.24	73.69	23.45
12	25.18	27.01	52.18	30.95	24.6	24.63	80.18	52.18	80.18	28
13	25.33	29.62	54.96	35.9	24.71	26.42	87.03	54.96	87.03	32.07
14	26.79	32.01	58.8	40.45	25.76	27.63	93.84	58.8	93.84	35.04
15	29.78	34.15	63.93	44.61	27.7	28.34	100.64	63.93	100.64	36.71
16	34.47	35.6	70.06	48.35	30.35	28.35	107.05	70.06	107.05	36.99
17	40.98	36.42	77.41	51.69	33.54	27.84	113.07	77.41	113.07	35.66
18	49.07	36.63	85.71	54.65	37.03	26.95	118.63	85.71	118.63	32.92
19	54.37	36.17	90.53	56.9	39.02	25.92	121.84	90.53	121.84	31.31
20	29.4	0	29.4	0	20.25	0	20.25	29.4	20.25	-9.15
21	26.27	0.15	26.42	0	18.47	0.15	18.62	26.42	18.62	-7.8
22	25.34	0.42	25.76	0.01	18.07	0.42	18.5	25.76	18.5	-7.26
23	25.51	0.79	26.3	0.19	18.71	0.79	19.69	26.3	19.69	-6.61
24	26.99	1.52	28.51	0.87	20.62	1.52	23.01	28.51	23.01	-5.5
25	29.98	2.55	32.54	2.35	23.99	2.55	28.9	32.54	28.9	-3.64
26	34.67	3.89	38.56	4.74	29.02	3.89	37.66	38.56	37.66	-0.9
27	41.2	6.01	47.2	7.98	35.86	6.01	49.84	47.2	49.84	2.64
28	49.67	8.64	58.31	11.9	44.62	8.59	65.11	58.31	65.11	6.8
29	56.64	11.57	68.21	16.35	51.86	11.34	79.55	68.21	79.55	11.34
30	31.52	14.69	46.21	21.07	29.12	14.07	64.26	46.21	64.26	18.05
31	27.92	18.33	46.25	26.1	25.68	17.19	68.97	46.25	68.97	22.72
32	26.89	21.7	48.59	31.2	24.76	19.93	75.89	48.59	75.89	27.3
33	26.95	24.76	51.72	36.31	24.92	22.25	83.48	51.72	83.48	31.76
34	28.34	27.54	55.88	41.02	26.12	23.97	91.11	55.88	91.11	35.23
35	31.25	30.05	61.3	45.29	28.21	25.09	98.58	61.3	98.58	37.28
36	35.87	31.81	67.68	49.11	31.03	25.41	105.55	67.68	105.55	37.87
37	42.32	32.92	75.24	52.5	34.38	25.16	112.04	75.24	112.04	36.8
38	50.74	33.44	84.17	55.49	38.03	24.48	118	84.17	118	33.83
39	56.2	33.22	89.42	57.86	40.09	23.58	121.53	89.42	121.53	32.11
40	30.36	0	30.36	0	20.8	0	20.8	30.36	20.8	-9.56
41	27.15	0.15	27.3	0	18.95	0.15	19.1	27.3	19.1	-8.2
42	26.18	0.42	26.6	0.01	18.51	0.42	18.94	26.6	18.94	-7.66
43	26.31	0.79	27.1	0.19	19.13	0.79	20.11	27.1	20.11	-6.99
44	27.74	1.52	29.27	0.87	21	1.52	23.39	29.27	23.39	-5.88
45	30.71	2.55	33.26	2.35	24.35	2.55	29.26	33.26	29.26	-4
46	35.37	3.89	39.25	4.74	29.36	3.89	37.99	39.25	37.99	-1.26
47	41.86	5.99	47.85	7.98	36.17	6.01	50.15	47.85	50.15	2.3
48	50.31	8.61	58.92	11.9	44.91	8.58	65.39	58.92	65.39	6.47
49	57.25	11.53	68.78	16.35	52.13	11.33	79.81	68.78	79.81	11.03
50	31.81	14.63	46.45	21.06	29.23	14.05	64.33	46.45	64.33	17.88
51	28.2	18.27	46.47	26.09	25.79	17.16	69.04	46.47	69.04	22.57
52	27.16	21.64	48.8	31.2	24.86	19.9	75.96	48.8	75.96	27.16
53	27.22	24.7	51.92	36.3	25.02	22.23	83.55	51.92	83.55	31.63
54	28.59	27.47	56.07	41.01	26.21	23.94	91.16	56.07	91.16	35.09
55	31.5	29.98	61.48	45.27	28.29	25.06	98.62	61.48	98.62	37.14
56	36.11	31.74	67.85	49.09	31.11	25.38	105.59	67.85	105.59	37.74
57	42.56	32.85	75.4	52.49	34.45	25.13	112.07	75.4	112.07	36.67
58	50.96	33.36	84.33	55.48	38.09	24.45	118.02	84.33	118.02	33.69
59	56.38	33.14	89.52	57.84	40.14	23.55	121.54	89.52	121.54	32.02
60	30.44	0	30.44	0	20.82	0	20.82	30.44	20.82	-9.62

Anexo 12. Flujo de fondos, café natural

Escenario 1. Manejo convencional (café natural)

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CONCEPTO																				
Cosotos cultivo de café																				
Mano de obra	6,350	1,050	1,050	3,900	3,900	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250
Maquinaria y equipos	965	158	158	3,140	3,140	695	695	695	695	695	695	695	695	695	695	695	695	695	695	695
Insumos	6,200	0	0	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Costos de oportunidad de la tierra	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
Subtotal 1	15,015	2,708	2,708	8,840	8,840	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745
Beneficios																				
Produccion de café	0	0	0	4,500	4,500	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625
Factor de actualizacion	1.04	1.08	1.12	1.17	1.21	1.26	1.31	1.36	1.41	1.47	1.52	1.58	1.64	1.71	1.78	1.84	1.92	1.99	2.07	2.15
Costos actualizados	14,451	2,508	2,414	7,585	7,301	6,156	5,925	5,703	5,489	5,282	5,084	4,893	4,710	4,533	4,363	4,199	4,041	3,889	3,743	3,603
Beneficios actualizados	0	0	0	3,861	3,716	6,856	6,598	6,351	6,112	5,883	5,662	5,449	5,245	5,048	4,858	4,676	4,500	4,331	4,169	4,012
Tasa nominal	7.08%									Valor actual neto (VAN)	-18,546									
Tasa de inflacion (TI)	3.06%									VAN anual	-927									
Tasa real de descuento (%)	3.90%									Relacion B/C	0.8									

Anexo 13. Flujo de fondos, café natural, captura de carbono y venta de madera

Escenario 2. Manejo Convencional, pago de servicio ambiental (captura de carbono) y venta de madera

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CONCEPTO																				
Costos cultivo de café																				
Subtotal 1	15,015	2,708	2,708	8,840	8,840	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745	7,745
Costos captura de C y venta de madera																				
Mano de obra	450	200	200	200	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34,065
Insumos	650	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,900
Subtotal 2	1,100	300	300	300	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46,965
Beneficios																				
Produccion de café	0	0	0	4,500	4,500	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625
Captura de carbono	0	0	0	0	125	0	0	0	0	2,343	0	0	0	0	5,229	0	0	0	0	4,672
Venta de madera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	363,228
Subtotal 3	0	0	0	4,500	4,625	8,625	8,625	8,625	8,625	10,968	8,625	8,625	8,625	8,625	13,854	8,625	8,625	8,625	8,625	376,525
Factor de actualizacion																				
Costos actualizado	15,510	2,786	2,682	7,843	7,548	6,156	5,925	5,703	5,489	5,282	5,084	4,893	4,710	4,533	4,363	4,199	4,041	3,889	3,743	25,451
Beneficios actualizados	0	0	0	3,861	3,820	6,856	6,598	6,351	6,112	7,481	5,662	5,449	5,245	5,048	7,804	4,676	4,500	4,331	4,169	175,158
Tasa nominal																				
Tasa de inflacion (TI)	7.08%																			
Tasa real de descuento (%)	3.06%																			
TIR																				
Tasa de descuento (%)	15.3%																			
Factor de actualizacion	1.15	1.33	1.53	1.77	2.04	2.35	2.71	3.12	3.60	4.15	4.79	5.52	6.36	7.34	8.46	9.76	11.25	12.97	14.95	17.24
Costos actualizados	13,977	2,263	1,962	5,172	4,485	3,296	2,859	2,480	2,151	1,865	1,618	1,403	1,217	1,055	915	794	689	597	518	3,173
Ingresos actualizados	0	0	0	2,546	2,270	3,671	3,184	2,761	2,395	2,641	1,802	1,562	1,355	1,175	1,637	884	767	665	577	21,838
																				-758

Anexo 14. Flujo de fondos, café orgánico, captura de carbono y venta de madera

Escenario 3. Manejo organico de cafetal, pago de servicio ambiental captura de Carbono y venta de madera

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
CONCEPTO																						
Costos cultivo de café																						
Mano de obra	6,350	2,500	2,500	6,053	6,053	8,403	8,403	8,403	8,403	8,403	8,403	8,403	8,403	8,403	8,403	8,403	8,403	8,403	8,403	8,403	8,403	
Maquinaria y equipos	965	220	220	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	
Insumos	6,200	4,000	4,000	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	3,560	
Costos de oportunidad de la tierra	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	
Subtotal 1	15,015	8,220	8,220	11,833	11,833	14,183	14,183	14,183	14,183	14,183	14,183	14,183	14,183	14,183	14,183	14,183	14,183	14,183	14,183	14,183	14,183	
Costos captura de C y venta de madera																						
Mano de obra	450	200	200	200	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34,065	
Insumos	650	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,900	
Subtotal 2	1,100	300	300	300	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46,965	
Beneficios																						
Produccion de café	0	0	0	14,950	14,950	19,838	19,838	19,838	19,838	19,838	19,838	19,838	19,838	19,838	19,838	19,838	19,838	19,838	19,838	19,838	19,838	
Captura de carbono	0	0	0	0	125	0	0	0	0	2,343	0	0	0	0	5,229	0	0	0	0	0	4,672	
Madera de aserrio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	363,228	
Subtotal 3	0	0	0	14,950	15,075	19,838	19,838	19,838	19,838	22,181	19,838	19,838	19,838	19,838	25,067	19,838	19,838	19,838	19,838	19,838	387,737	
Factor de actualización	1.04	1.08	1.12	1.17	1.21	1.26	1.31	1.36	1.41	1.47	1.52	1.58	1.64	1.71	1.78	1.84	1.92	1.99	2.07	2.15		
Costos actualizados	15,510	7,892	7,596	10,411	10,020	11,273	10,850	10,443	10,051	9,674	9,310	8,961	8,624	8,301	7,989	7,689	7,400	7,123	6,855	28,446	204,419	
Beneficios actualizados	0	0	0	12,828	12,450	15,768	15,176	14,606	14,058	15,128	13,022	12,533	12,063	11,610	14,120	10,755	10,351	9,962	9,588	180,374	384,393	
Tasa nominal	7.08%						VPN			179,973												
Tasa de inflacion (TI)	3.06%						VPN anual			8,999												
Tasa real de descuento (%)	3.90%						Relacion B/C			1.9												
							TIR			19.4%												
TIR																						
Tasa de descuento (%)	19.5%																					
Factor de actualización	1.20	1.43	1.71	2.04	2.44	2.91	3.48	4.16	4.97	5.94	7.10	8.48	10.13	12.11	14.47	17.29	20.67	24.70	29.51	35.27		
Costos actualizados	13,485	5,966	4,993	5,950	4,979	4,870	4,076	3,411	2,854	2,388	1,999	1,672	1,400	1,171	980	820	686	574	481	1,734	64,489	
Ingresos actualizados	0	0	0	7,331	6,186	6,812	5,700	4,770	3,992	3,735	2,795	2,339	1,958	1,638	1,732	1,147	960	803	672	10,995	63,566	
																					-922	
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Factor de actualización	1.04	1.08	1.12	1.17	1.21	1.26	1.31	1.36	1.41	1.47	1.52	1.58	1.64	1.71	1.78	1.84	1.92	1.99	2.07	2.15		
Costos cultivo de café	14,451	7,614	7,329	10,154	9,772	11,273	10,850	10,443	10,051	9,674	9,310	8,961	8,624	8,301	7,989	7,689	7,400	7,123	6,855	6,598	180,462	88%
Costos maderables y C	1,059	278	267	257	248	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,848	23,957	12%
																					204,419	
Beneficios cultivo de café	0	0	0	12,828	12,347	15,768	15,176	14,606	14,058	13,530	13,022	12,533	12,063	11,610	11,174	10,755	10,351	9,962	9,588	9,228	208,601	54%
Beneficios captura C	0	0	0	0	103	0	0	0	0	1,598	0	0	0	0	2,945	0	0	0	0	2,173	6,820	2%
Beneficios madera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	168,972	168,972	44%
																					384,393	
							Méx \$ Mg C			69.1		B/C captura de C			3.2334							
							US \$ Mg C			6.3		Méx \$ Mg CO ₂ e (tCERs)			40.7							
												US \$ Mg CO ₂ e (tCERs)			3.7							

Anexo 15. Análisis de sensibilidad

Escenario 3a. Manejo Organico de Cafetal y Pago de Servicio Ambiental Captura de Carbono (incrementos en los costos de produccion 20 %)

[illegible]

Escenario 3b. Manejo Organico de Cafetal y Pago de Servicio Ambiental Captura de Carbono (reduccion en el precio del café, carbono y madera en un 20 %)

[illegible]

Escenario 3c. Aumento de la tasa de descuento

[illegible]

Anexo 16. Flujo de fondos. Café orgánico

Escenario 3 d. Café organico

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CONCEPTO																				
Cultivo de café																				
Mano de obra	6350	2500	2500	6053	6053	8403	8403	8403	8403	8403	8403	8403	8403	8403	8403	8403	8403	8403	8403	8403
Maquinaria y equipos	965	220	220	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720
Insumos	6200	4000	4000	3560	3560	3560	3560	3560	3560	3560	3560	3560	3560	3560	3560	3560	3560	3560	3560	3560
Costos de la tierra	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Subtotal 1	15015	8220	8220	11833	11833	14183	14183	14183	14183	14183	14183	14183	14183	14183	14183	14183	14183	14183	14183	14183
Beneficios																				
Produccion de café	0	0	0	14950	14950	19838	19838	19838	19838	19837.5	19838	19838	19838	19838	19838	19838	19838	19838	19838	19837.5
Subtotal	0	0	0	14950	14950	19838	19838	19838	19838	19837.5	19838	19838	19838	19838	19838	19838	19838	19838	19838	19837.5
Factor de actualizacion																				
Costos actualizado	14451	7614.4	7328.5	10154	9772.5	11273	10850	10443	10051	9673.55	9310.4	8960.9	8624.4	8300.7	7989	7689.1	7400.5	7122.6	6855.2	6597.868
Beneficios actualizados	0	0	0	12828	12347	15768	15176	14606	14058	13530.21	13022	12533	12063	11610	11174	10755	10351	9962.3	9588.3	9228.316
Tasa nominal	7.08%									28,138										
Tasa de inflacion (TI)	3.06%									1,407										
Tasa real de descuento (%)	3.90%									1.2										
TIR																				
Tasa de descuento (%)	11.9%																			
Factor de actualizacion	1.119	1.2522	1.4012	1.5679	1.7545	1.9633	2.1969	2.4583	2.7509	3.078229	3.4445	3.8544	4.3131	4.8264	5.4007	6.0434	6.7626	7.5673	8.4678	9.475491
Costos actualizados	13418	6564.7	5866.5	7547	6744.4	7224.2	6455.9	5769.4	5155.8	4607.52	4117.5	3679.7	3288.3	2938.6	2626.1	2346.9	2097.3	1874.2	1674.9	1496.809
Ingresos actualizados	0	0	0	9535	8521	10104	9029.8	8069.5	7211.3	6444.453	5759.1	5146.7	4599.3	4110.2	3673.1	3282.5	2933.4	2621.5	2342.7	2093.559