

SISTEMAS AGROFORESTALES Y EL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO

Angel Infante¹

RESUMEN

El siguiente artículo presenta una visión general acerca de la fijación de carbono en sistemas agroforestales y su inclusión en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), la evolución del concepto, las variables importantes en el diseño de proyectos de MDL, las opciones de cambio climático, las opciones basadas en la Silvicultura y la evaluación de proyectos bajo el MDL. También se incluyen algunas bases técnicas relacionadas con los depósitos de carbono orgánico, la diferencia entre los depósitos de la agroforestería y prácticas comunes, tierras de cultivos de baja productividad o agroforestería secuencial en África, los impactos ambientales de la Agroforestería y su relación con el carbono y por último, algunas experiencias agroforestales como la determinación de carbono contenido en un sistema agroforestal en Guatemala, Costa Rica y el proyecto de secuestro de carbono y manejo forestal de Chiapas (México).

Palabras clave: fijación de carbono, Mecanismo de Desarrollo Limpio, cambio climático, Silvicultura, sistemas agroforestales.

¹Ing. For. MSc IFLA

AGROFORESTRY SYSTEMS AND THE CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM

SUMMARY

The following article contains a general vision on carbon fixation in Agroforestry systems and its inclusion in the Clean Development Mechanism (CDM), concept evolution, important variables in CDM project design, climate change options, options based on Silviculture and project evaluation under CDM. Some technical basis related to organic carbon deposits, difference in stocks between Agroforestry and common practices, low-productivity crop lands to sequential Agroforestry in Africa, environmental impacts of Agroforestry and its relation to carbon and finally, some Agroforestry experiences such as carbon determination contained in a Agroforestry system in Guatemala, Costa Rica and the carbon sequestration and sustainable forest management in Chiapas, Mexico are also included.

Key words: carbon fixation, Clean Development Mechanism, climate change, Silviculture, Agroforestry systems.

1. Bases conceptuales

1.1. La evolución del concepto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

Antes de que surgiera el concepto de Mecanismo de Desarrollo Limpio, aparecieron otros conceptos como Implementación Conjunta (Joint Implementation, JI), el cual permite que un país obtenga crédito para la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a alcanzarse en otro país. Fue insertado en el texto original de la Convención en Noruega. Otros países estaban preocupados acerca de su capacidad para satisfacer las obligaciones de la reducción de futuras emisiones, dentro de sus propias fronteras.

El concepto de JI fue temporalmente puesto a la orden para probar y evaluar las "actividades conjuntamente" (AIJ) en la fase piloto, acordadas en la COP-1. El término está asignado a proyectos de implementación conjunta llevados a cabo durante la pre - fase piloto antes del año 2000 creada en la COP-1 en abril de 1995. No estaba claro cómo los proyectos AIJ diferirían de los proyectos JI con respecto a los créditos a largo plazo.

La fase piloto AIJ fue vista como tal para que hubiera una transición a una fase JI operativa en el año 2000. Las AIJ probaron ser discutibles. Se suponía que la fase piloto AIJ formalmente se revisara en el año 2000, pero las Partes mostraron poca disposición para alcanzar cualquier conversación formal acerca del programa AIJ o para establecer un procedimiento mediante el cual, la evaluación de la fase piloto tomaría lugar. Esta poca disposición complicó los esfuerzos para discutir la búsqueda de opciones de mitigación fuera de las fronteras de las naciones dentro del contexto del protocolo de emisiones a ser discutido en el período conducente a la COP-3 en Kyoto.

El Fondo de Desarrollo Limpio (FDL) fue una alternativa para los enfoques de JI y AIJ que fue propuesto por Brasil y apoyado por los G77 y China. El FDL estuvo basado en el principio de penalizar una futura inconformidad de un país industrializado dentro de las metas de emisiones. El FDL no fue popular dentro de los países del Anexo I (países industrializados) que continuaron insistiendo en la flexibilidad para alcanzar proyectos de mitigación fuera de sus fronteras como un elemento de un protocolo vinculante de reducción de emisiones.

El MDL fue creado mediante el artículo 12 del Protocolo de Kyoto, el cual establece un medio para que los países industrializados y compañías puedan llevar a cabo proyectos de mitigación en los países en desarrollo y recibir créditos de compensación que pueden ser aplicados en contra de sus propias emisiones. El propósito es ayudar a las Partes no incluidas en el Anexo I a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, así como ayudar a las Partes incluidas en el Anexo I a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del Artículo 3.

La participación de los países en el MDL es voluntaria e incluye la auditoría y verificación de actividades de los proyectos. Aún no ha entrado en vigor y no ha sido ratificado por Venezuela. Es un mecanismo de flexibilización.

De cómo el MDL tratará los proyectos de compensación de carbono basados en el uso de la tierra y Silvicultura no está claro todavía. A pesar del rango de opciones disponible, la Silvicultura ha sido un tópico de argumentación en la mitigación del cambio climático. El uso de la Silvicultura para propósitos de mitigación presenta las siguientes categorías como preocupaciones a resolver:

- Que los proyectos de Silvicultura pueden causar daños ambientales e impedir el desarrollo socioeconómico en los países en desarrollo.
- Que la Silvicultura y los esfuerzos de mitigación del cambio de uso de la tierra pueden impedir el progreso en alcanzar las reducciones de emisiones e interferir con los objetivos de transferencia de tecnología.
- Las compensaciones bióticas involucran más asuntos complejos y analíticos sin resolver que cómo lo hacen otras compensaciones de GEI y la energía.
- Que los beneficios de mitigación de las compensaciones basados en el uso de la tierra son potencialmente temporales.

Sin embargo, el trabajo extenso sobre las opciones de mitigación forestales han demostrado que la mayoría de las preocupaciones pueden ser superadas. Los países tienen una oportunidad de influenciar el curso del desarrollo de la política del MDL y para asegurar que sus intereses estén representados. Una cantidad de países latinoamericanos, por ejemplo, están buscando la inclusión de sumideros como estrategia de mitigación bajo el Artículo 12 del Protocolo de Kyoto, puesto que la pérdida de bosques constituye su fuerte más significativo de emisiones de GEI y su oportunidad de mitigación más significativa.

Es posible identificar las variables generales más importantes en el diseño de proyectos de MDL, como sigue a continuación:

- Ser capaz de demostrar que los beneficios del gas invernadero del proyecto no ocurrirían sin el proyecto.
- Mostrar que el proyecto tendrá beneficios de gases invernadero y que persistirán en el largo plazo.
- Superar el potencial de "fuga" de los beneficios de carbono del proyecto.
- Cuantificar los beneficios de carbono del proyecto.
- La capacidad de diseñar una estrategia efectiva de monitoreo y verificación.
- Ilustrar la magnitud y tipo de cobeneficios del proyecto.

1.2. Opciones de mitigación de cambio climático bajo el MDL.

- Evitar la producción de CO₂ en primer lugar: estas opciones incluyen el mejoramiento de la producción de la energía y la eficiencia en la conversión, previniendo la pérdida de bosques amenazados.
- Remover el CO₂ de la atmósfera después que ha sido liberado: estas opciones incluyen plantar nuevos árboles, mejorar el manejo y las tasas de crecimiento de árboles existentes, cambiar las prácticas agrícolas para incrementar la toma de carbono del suelo o utilizar cultivos de energía.
- Reducir las emisiones o producción de otros gases de efecto invernadero: Estas opciones abarcan la reducción de emisiones de metano (reellenos sanitarios, minas de carbón, fugas de gases naturales y ganado), óxido nitroso (biomasa y fertilizantes agrícolas) y clorofluorocarbonos y sustitutos de clorofluorocarbonos (aire acondicionado y repelentes).

1.3. Opciones de mitigación basadas en la Silvicultura para el MDL.

- Disminuir o detener la pérdida de bosques existentes, preservando así los reservorios actuales de carbono. Las oportunidades de proyectos incluyen la protección forestal, el manejo forestal, el manejo de la cosecha y la agroforestería.
- Ampliar la cobertura vegetal del planeta, aumentando así los reservorios de carbono terrestre. Las oportunidades de compensación de carbono comprenden la reforestación, forestación, regeneración natural y dirigida, fertilización, prácticas de manejo de suelos.

- Incrementar el carbono almacenado en los reservorios de carbono tales como suelos agrícolas y productos forestales. Las oportunidades de compensación comprenden el reciclaje de papel, sustitución de madera por acero y concreto y cambios en la labranza y las prácticas de fertilización.
- Substituir el consumo de combustibles fósiles por fuentes de energía de biomasa sostenible.
- Las oportunidades incluyen la transferencia de tecnologías, mejoramiento de la eficiencia en la utilización de biomas existente y el subsidio del desarrollo de energía de biomasa.

El MDL jugará un papel importante en la reducción de CO₂ a nivel global. Existe una cantidad de maneras, en la cuales, esto puede alcanzarse, desde tecnología de eficiencia de energía hasta el manejo forestal. Aunque las prácticas de uso de la tierra y la Silvicultura juegan papeles importantes en el ciclo de carbono global, gran mayoría de proyectos MDL facilitarán la eficiencia y la transferencia de tecnología limpia entre los países. De esta forma, el MDL moderará la contribución de la industrialización al cambio climático.

Numerosos estudios, incluyendo aquéllos del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC,) han concluido que las medidas de mitigación de cambio climático basados en la Silvicultura y otras medidas bióticas tienen un importante papel en los esfuerzos de mitigación de cambio climático.

1.4. Evaluación de proyectos bajo el MDL.

El único criterio específicamente mencionado en el Protocolo de Kyoto es la adicionalidad: los proyectos tendrán que demostrar que sus beneficios de CO₂ son adicionales a cualquiera que ocurra en ausencia de la actividad del proyecto certificado. Dos tipos de adicionalidad son comúnmente mencionados. El primero es la adicionalidad financiera y se refiere a si los dólares en cuestión fueron verdaderamente motivados por la preocupación de la mitigación de CO₂. El segundo es la adicionalidad de carbono y se refiere a si los beneficios de CO₂ en cuestión ocurrirían para el proyecto a ser financiado.

El diseño de proyectos deberá enfatizar la identificación y promoción de co-beneficios ambientales y económicos, incluyendo:

- Importancia del área desde una perspectiva de la biodiversidad.
- Beneficios socioeconómicos y de desarrollo rural asociados con la implementación del proyecto.
- Importancia del área por otras razones ambientales, incluyendo la conservación del suelo y del agua.
- Beneficios de la transferencia de tecnología (manejo forestal, conservación).

1.5. Diseño de un proyecto MDL basado en la Silvicultura.

Para los proyectos MDL basados en la Silvicultura, una cantidad de criterios se necesitan para ser evaluados. Para iniciar una propuesta de MDL se deben presentar tareas técnicas en un marco de referencia:

- Construir una línea base "sin proyecto" del sector forestal y de emisiones de carbono asociadas. La línea base es el nivel de almacenamiento de carbono que habría existido en ausencia de la compensación.
- Construir un caso de referencia "sin proyecto" del sector forestal y de emisiones de carbono asociados.
- Identificar y analizar intervenciones de proyectos.
- Demostrar la adicionalidad del proyecto propuesto.
- Identificar y evaluar los potenciales de "fuga" del beneficio de carbono.

Existe considerable competencia para los países en desarrollo de ofrecer los servicios de compensación de GEI a través de los proyectos basados en la Silvicultura. Hay además, una única oportunidad de los gobiernos y la gente para negociar el carbono. Se intenta demostrar que los proyectos de compensación de GEI basados en la Silvicultura puedan generar flujos de caja significativos y beneficios no incluidos en el Anexo I.

2. Bases técnicas.

En estudios realizados en Brasil, los depósitos de carbono orgánico por debajo del suelo tuvieron un promedio de 40 t C/ha en 0-20 cm de profundidad en bosques no perturbados (Palm *et al*, 2000 citado por IPCC, 2000). Los usos de

la tierra siguientes dieron como resultado proporciones diferentes de carbono por debajo del suelo relativos a bosques no perturbados:

- Sistemas agroforestales: de 80 a 100 por ciento
- Secuencia de cultivo/ barbecho a corto plazo: de 90 a 100 por ciento
- Pastos: 80 por ciento
- Cultivo/barbecho a corto plazo
- Pastizales degradados *Imperata*: 50 por ciento o menos.

A excepción del cultivo/ barbecho a corto plazo y los pastizales degradados de *Imperata*, los otros usos alternativos de tierra perdieron menos de 20 por ciento de carbono del horizonte A. Este hallazgo sugiere que el potencial para el secuestro de carbono en los trópicos húmedos se encuentra principalmente por encima del suelo.

2.1. La diferencia en los depósitos entre Agroforestería y prácticas comunes.

Los pastos de diez años de edad en Brasil y los pastizales de *Imperata cilindrica* de trece años de edad en Indonesia (prácticas comunes después de la deforestación tropical) contenían 201 t C/ha menos que el bosque original que fue rozado (Palm *et al*, 2000 citado por IPCC, 2000). En contraste, los agrobosques que se establecen inmediatamente después de la tala y la quema al plantar árboles junto con cultivos de alimentos contenían 150 t C/ha menos que el bosque original. Los sistemas agroforestales pueden recuperar 35 por ciento del depósito original de carbono del bosque.

Las tierras de cultivo y los pastos pueden recuperar 12 por ciento. Por medio del establecimiento de tres sistemas basados en los pastos degradados, tierras de cultivo y pastizales, el tiempo medio del depósito de carbono en la vegetación aumenta en 50 t C/ha en 20 a 25 años, mientras que en el suelo aumenta 7 t C/ha (Palm *et al*, 2000 citado por IPCC, 2000). Por consiguiente, las prácticas agroforestales permiten el secuestro de unos 50 t C/ha adicionales- tres veces tanto como las tierras de cultivo o los pastizales pueden secuestrar. Este hallazgo indica la contribución clave de la agroforestería a los depósitos de carbono crecientes en las márgenes de los trópicos húmedos.

2.2. De las tierras de cultivos de baja productividad a agroforestería secuencial en África.

La segunda práctica principal de agroforestería es la transformación de la tierra de cultivo improductiva a cultivo basado en la agroforestería /rotaciones de barbecho de árboles. Aunque varias muestras de esta práctica se encuentran por todos los trópicos (Buresh y Cooper, 1999 citados por IPCC, 2000), se ilustra en este Reporte Especial con el reciente movimiento para aumentar la fertilidad del suelo en las áreas semi-húmedas de África tropical. Los depósitos de carbono del suelo han disminuido dramáticamente en las granjas de pequeños propietarios del África sub - sahariana debido al agotamiento de nutrientes, el cual se reconoce de forma creciente como la causa biofísica fundamental para disminuir la seguridad alimentaria en esta región (Sánchez et al, 1997 citado por IPCC, 2000).

Dados la pobreza aguda y el acceso limitado a los fertilizantes minerales, decenas de miles de granjeros en el este y sur de África están utilizando un método ecológicamente robusto. Este método consiste en llevar los recursos naturales a los campos de los granjeros donde los cultivos puedan utilizarlos: el nitrógeno proveniente del aire por la fijación biológica del nitrógeno, fósforo proveniente de los depósitos naturales de roca de fosfato y biomasa de arbustos ricos en nutrientes provenientes de bordes de camino y setos de granjas (Rao et al, 1998; Kwesiga et al, 1999; Sánchez et al, 1999 citados por IPCC).

2.3. Prácticas agroforestales que reducen las emisiones de carbono.

Existen formas de utilizar la tierra que pueden causar un efecto inverso e incrementar el contenido de carbono en el suelo y la vegetación al incrementar las cantidades de dióxido de carbono capturado. Los sistemas agroforestales pueden ser fuentes o bancos de gas invernadero (Shroeder, 1993 citado por Dixon, 1995), dependiendo de las partes del componente (árboles, cultivos, rumiantes) y la forma en que éstos son establecidos. La selección de las prácticas de establecimiento y manejo agroforestales influye en el flujo espacial y temporal (emisiones o captura) de las reservas de carbono y nitrógeno en el suelo y la vegetación. Entre estas prácticas se tienen:

- **Silvopastoril**

Remueve la materia orgánica de la producción orgánica (conserva el carbono del suelo).

Reduce la deforestación y quema de biomasa.

Modifica la dieta de los rumiantes para disminuir las emisiones de CH₄ (amoníaco).

- **Agrosilvicultural**

Maneja el nivel de agua, cultivares, fertilización y cultivo de arrozales.

- **Agrosilvopastoril**

Minimiza la intervención del sitio (labranza, cosecha).

Utiliza cultivos sostenibles en lugar del uso migratorio.

Recupera los desechos animales como combustible o materia orgánica.

Establece leguminosas, reduce la fertilización química del nitrógeno.

Las prácticas agroforestales que conservan/capturan carbono o nitrógeno

- **Silvopastoril**

Retiene la materia orgánica in situ (conserva carbono).

- **Agrosilvicultural**

Prácticas de labranza de conservación y de mulch (retiene el carbono del suelo).

Minimiza la erosión causada por el viento y la lluvia (cultivo en callejones).

Establece especies arbóreas perennes de uso múltiple (captura de CO₂).

- **Agrosilvopastoril**

Minimiza la intervención del sitio.

Aumenta el fósforo o potasio del suelo, modifica el pH.

2.4. Impactos ambientales de la Agroforestería.

Los impactos ambientales de la agroforestería se reflejan principalmente sobre el aire, el agua, el suelo, la biodiversidad y el microclima. Uno de los resultados del cambio climático es el calentamiento global del planeta, producido por el incremento en la concentración de diversos gases en la atmósfera, conocidos como de efecto invernadero, entre los que destacan: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (NO₂), el ozono, el bióxido de azufre y los clorofluorocarbonos. De estos, el dióxido de carbono es el que mayor atención recibe por cuanto sus concentraciones atmosféricas se han elevado en un 30% desde 1860 (Ordóñez, 1999 y Medina, 1999 citados por Añazco, 2001).

La causa principal del incremento en las concentraciones de CO₂ y los otros gases que provocan el efecto invernadero, han sido las actividades humanas (deforestación, fertilización, labranza, y quema de combustibles fósiles). En el año 1990, las emisiones antropogénicas netas atribuibles al consumo de combustibles fósiles, la producción de cemento, las actividades agrícolas y el cambio en el uso de la tierra, se estimaron en 7 mil millones de toneladas de carbono (7GtC) mientras que la absorción natural de la biosfera terrestre y la superficie del océano se estima entre 3 y 4 GtC. Este exceso de 3 y 4 GtC ha incrementado la concentración de dióxido de carbono de 280 partes por millón por volumen (ppmv) en la era preindustrial a 358 ppmv en 1994. Esta variación es muy grande si se toma en cuenta que las concentraciones de CO₂ en los últimos 1000 años, cuando el clima ha sido relativamente estable, han fluctuado alrededor de 280 ppmv (Ramírez, 1998., Burschel, 1998 citados por Añazco, 2001).

Los sistemas agroforestales juegan un papel preponderante en el ciclo global del carbono, dependiendo del tipo de práctica o sistema. Algunos pueden contribuir de manera negativa promoviendo la emisión de gases invernadero como son los cultivos migratorios, mantenimiento de pasturas, arrozales, fertilización con nitrógeno y producción de rumiantes.

Existen sistemas que de acuerdo con el manejo aplicado podrán contribuir negativa o positivamente. Por ejemplo, los sistemas silvopastoriles que incluyen rumiantes, producen gas metano pero los sistemas intensivos de cultivo que han sido desarrollados en Australia y en otras partes, tienen un suministro de carbono más balanceado. Cuando los sistemas agrosilvopastoriles con nogal negro *Juglans nigra*, en Norteamérica son establecidos, éstos pueden ser

inicialmente fuentes de gases invernadero, aunque en las décadas finales de la rotación éstos pueden convertirse en bancos de carbono neto, conforme toneladas de carbono son almacenadas en los troncos y sistemas radicales de los árboles maduros (Dixon, 1995).

Las tasas de fijación de carbono de los sistemas agroforestales esta en función de muchas variables, estas incluyen los componentes del sistema (árboles, suelo y rumiantes), el tipo de especies, tasa de crecimiento, longevidad, precipitación, duración del período vegetativo y otros. La tasa anual de fijación de carbono es máxima en las plantaciones jóvenes. Las tasas de fijación de varias especies utilizadas en plantaciones forestales en un turno determinado se resumen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Fijación de carbono por algunas especies utilizadas en plantaciones forestales y sistemas agroforestales.

Especie	Turno (años)	Fijación media de carbono (t/ha)
<i>Pinus caribaea</i>	15	59
<i>Leucaena sp.</i>	7-8	21-42
<i>Casuarina sp</i>	10	21-55
<i>Pinus patula</i>	20	72
<i>Cupressus lusitanica</i>	20	57
<i>Acacia nilotica</i>	10-15	12-17

Fuente: FAO (1994) citado por Añazco, 2001.

Los valores de almacenamiento de carbono (incluyendo almacenamiento de C bajo el suelo) en sistemas agroforestales varían entre 12 y 228 toneladas. El potencial para la acumulación de carbono a través de la biomasa es mayor en el trópico húmedo. Los sistemas agroforestales que tienen potencial para ayudar a

estabilizar las emisiones de gas invernadero y capturar o conservar carbono en la biosfera terrestre, se indican en el cuadro 2.

Cuadro 2. Sistemas agroforestales con potencial para reducir emisiones de gas invernadero y capturar o conservar carbono.

SISTEMA	REDUCE EMISIONES	CONSERVA/ CAPTURA
Silvopastoril		
• Remover la materia orgánica de la producción orgánica (conserva el C del suelo)	X	X
• Retener la materia orgánica <i>in situ</i> (conserva C)		X
• Reducir la deforestación y quema de biomasa	X	X
• Modificar la dieta de los rumiantes para disminuir las emisiones de CH ₄	X	
Agroforestal		
• Prácticas de labranza de conservación y de mulch (retiene C del suelo)		X
• Minimizar la erosión causada por el viento y la lluvia (abrigo y cultivo en callejones)		X
• Establecer especies arbóreas perennes de uso múltiple (captura CO ₂)		X

• Manejar el nivel del agua, cultivares, fertilización y cultivo de arrozales	X	X
• Recuperar la tierra degradada		X
Agrosilvopastoril		
• Minimizar la intervención del sitio (labranza, cosecha)	X	X
• Aumentar el P o K del suelo; modificar el pH (estimula la captura)		X
• Utilizar cultivo sostenible en lugar de uno migratorio	X	X
• Recuperar los desechos animales como combustible o materia orgánica	X	
• Establecer leguminosas, reducir la fertilización química del N	X	X

Fuente: Dixon (1995) citado por Añazco, 2001.

3. Experiencias agroforestales

3.1. Determinación de carbono contenido en un sistema agroforestal en Guatemala.

En mayo de 1998, Winrock International realizó un inventario de carbono para el sistema cafetalero del Municipio de San Juan La Laguna, Sololá, Guatemala. El inventario consistió en visitas a doce parcelas de café bajo sombra. Se determinó la fijación de carbono en el sistema cafetalero, se determinó el contenido de carbono en usos de la tierra como cultivos anuales y tierras degradadas. Los resultados demostraron que el carbono adicional fijado por el sistema cafetalero con respecto a la agricultura anual y las tierras degradadas se encuentra en los árboles que comprenden el sistema forestal. El carbono

contenido en el suelo también aumentó con la presencia permanente de árboles y arbustos. El cuadro 3 indica el carbono fijado en sistemas agroforestales.

Cuadro 3. Carbono fijado en el sistema agroforestal de producción de café (tC/ha).

Modalidad	Biomasa arriba del suelo	Biomasa abajo del suelo	Hojarasca	Suelos (30 cm)	Total
Café	27	4	6	48	85
Tierras degradadas	4	0	1	29	34
Cultivos anuales	1	0	1	33	35

Fuente: Winrock, 1998.

3.2. Fijación de carbono en sistemas agroforestales en Costa Rica.

En Costa Rica se evaluó el almacenamiento y fijación de carbono en sistemas agroforestales bajo las combinaciones: café y eucalipto de cuatro, seis y ocho años de edad; café y bucare, pasto brachiaria y eucalipto y brachiaria y mangium. Más del 89% del carbono almacenado en los sistemas correspondió al carbono del suelo. La fijación de carbono del componente arbóreo estuvo entre 0,4 y 2,2 t/ha/año. El aporte del componente arbóreo al total de carbono almacenado por el sistema varió entre 1% para el eucalipto de seis años en café y 7% para mangium en potreros de brachiaria.

Las tasas de fijación de carbono del componente arbóreo de los sistemas agroforestales (SAF) con café y pastos variaron entre 0,3 t/ha para bucare en asociación con café y 2,2 t/ha para mangium asociado con brachiaria. El siguiente cuadro indica la fijación de carbono del componente arbóreo en sistemas agroforestales con café y pastos en Costa Rica. El cuadro 5 presenta la cantidad de carbono almacenado.

Cuadro 4. Fijación de carbono del componente arbóreo en sistemas agroforestales con café y pastos en Costa Rica.

Sistema agroforestal	Densidad (árboles/ha)	Tasa de fijación tC/ha/año
Café+eucalipto (4 años)	277	1,1
Café + eucalipto (6 años)	156	0,4
Café + eucalipto (8 años)	156	0,4
Café + bucare (+ de 10 años)	156	0,3
Brachiaria + eucalipto (3 años)	370	1,8
Brachiaria + mangium (3 años)	370	2,2

Fuente: Avila, G. et al 2001/ Café: *Coffea arabica*, eucalipto: *Eucalyptus deglupta*, Bucare: *Erythrina poeppigiana*, Brachiaria: *Brachiaria brizantha*, Mangium: *Acacia mangium*.

Cuadro 5. Cantidad de carbono almacenado (tC/ha) en diferentes sistemas agroforestales o de café o pasturas en Costa Rica.

Sistema agroforestal	Arriba del suelo	Orgánico del suelo (0-25 cm)	Total
Café +eucalipto (4 años)	12,5	139,1	151,6
Café + eucalipto (6 años)	7,7	161,0	168,7
Café + eucalipto 88 años)	12,3	108,6	120,9
Café + bucare (más de 10 años)	10,6	184,4	195,0
Brachiaria + mangium (3 años)	8,9	86,6	95,5
Brachiaria + eucalipto (3 años)	7,5	87,3	94,8

Fuente: Avila, G. et al. 2001

3.3. Proyecto de secuestro de carbono y manejo forestal sustentable en Chiapas (México).

El Proyecto Secuestro de Carbono y Manejo Forestal de Chiapas en México está localizado en la región nororiental de Chiapas. Abarca las regiones bajas (Tzeltal) y altas (Tojolobal) del noreste de Chiapas y el Estado Sur que bordea a Guatemala y algunas áreas adicionales no identificadas. El área contiene varias formaciones boscosas con una biodiversidad muy alta que resultan de interacciones entre los factores geológicos, edáficos climatológicos y antropógenos. Las formaciones más importantes son bosques de pino, bosques de pino-roble y bosques de roble. La región climática es subtropical a templada, subhúmeda con lluvias veraneras y sequías de invierno. La precipitación anual varía entre 1100 y 2000 mm. Los suelos son marrones oscuros, arcillosos derivados de rocas calcáreas.

Es un tipo de proyecto de cambio de uso de la tierra y forestería (Land - Use Change and Forestry), apoyado por el gobierno de México. Las principales actividades a realizar son la agroforestería, reforestación, cosecha sostenible y la silvicultura. Este proyecto se inició en junio de 1997 y se espera que finalice en mayo de 2027, teniendo una vida útil de 30 años.

Este proyecto de secuestro de carbono propone preservar los bosques existentes y ayudar a desarrollar empresas basadas en el bosque y agroforestería en dos ecorregiones con población indígena, en particular nueve comunidades indígenas mayas. El objetivo del proyecto es promover el secuestro de carbono y prácticas agrícolas sostenibles, al suministrarle a los productores locales asistencia técnica e incentivos financieros para cambiar de agricultura a agroforestería, convertir pastos a plantaciones, restaurar bosques degradados y un mejor manejo del bosque natural.

Se espera que los beneficios de carbono generados por las empresas sean de un mínimo de 55.000 toneladas métricas de CO₂ hasta 1,21 millones de toneladas. Aproximadamente, el 75% de las entradas del proyecto serán dirigidas a cinco villas mayas de Tzeltal, localizadas cerca de 800 msnm, en la Municipalidad de Chilón y cuatro villas Tojolobal situadas a aproximadamente 1500 msnm y divididas entre las Municipalidades de Comitán y Las Margaritas.

El 25% de las entradas del proyecto serán dirigidas a otros grupos que no se han identificado todavía. El área total es de 13.289 ha, donde viven unas 3.000 personas, del cual 41% es bosque, 26% se usa para maíz, 14% es barbecho, 7%

es pasto, 4% se utiliza para café y 9% es usado para otros propósitos. De las 13.289 ha, aproximadamente 2000 ha serán involucradas en el proyecto Scolel Té, con 400 ha en la región Tzeltal y 1600 ha en Tojolobal.

La fase piloto del proyecto durará tres años, durante los cuales, los productores locales desarrollarán y registrarán sus propios planes de manejo de la tierra y comenzarán a recibir asistencia técnica y financiera. La tierra que sea registrada durante la fase piloto de tres años, adicionará beneficios de carbono para los 27 años. La venta de créditos de proto-carbono será usada para financiar la del proyecto, para que sea sostenible.

Las actividades de monitoreo son realizadas por los productores participantes, un equipo técnico conformado por profesionales entrenados y promotores locales y por un equipo de investigación compuesto por investigadores de ECOSUR y la Universidad de Edinburgo. No existe información acerca de los organismos que verificarán externamente los resultados del proyecto.

El tipo de información a ser recolectada incluye la densidad de la biomasa, la tasa de crecimiento de la biomasa, especies arbóreas y clase de edad, contenido de carbono del suelo, documentación sobre la propiedad de la tierra y aprobación de los planes forestales, participación de la mujer e impacto de los proyectos sobre la mujer, productividad económica comparativa, diversidad biológica, impacto sobre la calidad del agua y la integridad de las cuencas hidrográficas y finalmente, la disponibilidad de la capacidad técnica.

Los productores serán responsables de reportar la ejecución de sus proyectos individuales. El equipo técnico será responsable de evaluar los proyectos propuestos, entrenar a los productores para que implementen los proyectos y registren la ejecución de los mismos, estimar los flujos de carbono para cada proyecto y evaluar los impactos.

El equipo de investigación desarrollará los modelos de flujo de carbono para cada categoría del sistema del proyecto dentro de cada región ecológica y entrenará al equipo técnico para evaluar la viabilidad del proyecto, los flujos de carbono y los impactos.

El monitoreo se realizará en cuatro etapas. La primera etapa consiste en evaluar el progreso alcanzado mediante la promoción y actividades de capacitación del proyecto. La segunda etapa se refiere a la evaluación de los planes de trabajo documentados y entregados por los productores, para

desarrollar las estimaciones de los flujos de carbono que resulten de los proyectos. La tercera etapa consiste en la recolección de información por los productores y la verificación interna de la recolección de datos por medio del muestreo aleatorio de los participantes del proyecto y el equipo técnico. La cuarta etapa involucra las actividades de recolección de datos similares que continúan cuando los proyectos son mantenidos, expandidos o actualizados.

Adicionalmente a la información relacionada con la medición de los flujos de carbono, los indicadores de la sostenibilidad del proyecto serán monitoreados. Estos indicadores serán utilizados para evaluar los impactos del proyecto en las distintas áreas.

Los estudios de línea base serán conducidos cerca del tiempo de la plantación y el monitoreo continuará hasta los 18 años. La cantidad estimada de carbono que podría secuestrarse varía entre 47 y 237 tC/ha, con un valor promedio de 126 tC/ha. El modelo de simulación CO₂FIX fue utilizado para calcular las emisiones de carbono neto y secuestro para proyectos de distinta modalidad. El secuestro de carbono total se calculó para un período de 150 años, equivalente a cinco rotaciones (30 años/rotación) de Tojolobal y seis rotaciones (25 años/rotación) de Tzeltal.

El proyecto Scolel Té busca promover las actividades forestales y agroforestales que sean diseñadas e implementados por las comunidades indígenas para satisfacer sus necesidades de desarrollo económico e incrementar la sostenibilidad de las prácticas de manejo del uso de la tierra. Se espera también que haya una contribución sustancial a la preservación de la biodiversidad, tanto dentro del área del proyecto como fuera.

Dentro del área del proyecto, la diversidad genética de las especies arbóreas valiosas será preservada a través de la reforestación y actividades agroforestales, incluyendo la recolección planificada de semillas. La reforestación en tierras degradadas y en pastizales reducirá la fragmentación forestal, ofrecerá la expansión del hábitat forestal para la fauna, reducirá la erosión del suelo y mejorará la integridad de las cuencas. Se espera que el proyecto reduzca la explotación de madera del bosque nublado de Tzeltal, el cual contiene especies endémicas.

Las oportunidades de desarrollo económico podrían disminuir la migración de los residentes locales a la frontera agricultura-bosque del bosque lluvioso Lacandon, conservando así su biodiversidad y otros recursos. Desde el punto

de vista social, la participación de la mujer será importante en la producción de árboles frutales y ornamentales, el cuidado y manejo de viveros forestales.

El financiamiento inicial de los proyectos será suministrado a través de la venta de créditos proto-carbono. Se espera que los proyectos se tornen autosostenibles después de aproximadamente 18 años y la venta de madera suministrará suficiente ingreso a los productores. El proyecto estimulará la formación de empresas basadas en el bosque, incluyendo tiendas de carpintería y la venta de productos forestales no madereros (PFNM).

Bibliografía

1. Añazco, M. 2001. Agroforestería. Maestría en Manejo Comunitario de Recursos Naturales. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ibarra. Ecuador.
2. Avila, G.; Jiménez, F.; Beer, J.; Gómez, M.; Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. Agroforestería de las Américas. Vol. 8. No. 30. CATIE. Turrialba.
3. Dixon, R. 1995. Sistemas agroforestales y gases invernadero. Revista Agroforestería en las Américas. Año 2 No. 7. Julio-Septiembre. CATIE, ICRAF.
4. Fundación Solar. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono. Guatemala.
5. IPCC, 2000. Land use, Land-use change and Forestry. Cambridge University Press: United Kingdom.
6. Scolel Té: Carbon sequestration and sustainable forest management in Chiapas en <http://www.unfccc.int/program/aij/aijact/mexusa02.html>.
7. Soto-Pinto, et al. 2001. Experiencia agroforestal para la captura de carbono en comunidades indígenas de México. IUFRO-RIFALC: Taller Internacional sobre Secuestro de Carbono. Mérida, Venezuela.
8. UNDP, 1998. Innovative forest financing options and issues: Forest Conservation and Management for Climate Change Mitigation. Trexter and Associates, Inc: Portland.
9. Winrock, 1998. Carbon sequestration and sustainable coffee in Guatemala. Winrock International. Arlington, Virginia (USA).

