

Agroforestería y cambio climático: oportunidades rurales para Colombia

Agroforestry and climate change: rural opportunities for Colombia

Camilo Torres-Sanabria*

Recibido: 13-11-2009 / Aceptado: 27-05-2010

Resumen

Los desafíos del cambio climático cada vez son más complejos, y más aún, para los países que se encuentran en el proceso de desarrollo económico. Colombia puede incursionar dentro del mercado maderero que genere oferta de servicios ambientales como una alternativa de negocio en búsqueda de mitigar la crisis actual del sector rural. Es aquí que surge la opción de la agroforestería, la cual se enriende como una actividad económica que se fundamenta en la producción de un sistema comercial maderable alternando actividades agrarias; además, permite la obtención de activos ambientales. Esto genera beneficios económicos de tres componentes: (1) la venta permanente de Certificados de Reducción de Carbono (CER), (2) los beneficios de la actividad asociada, ya sea pecuaria o agrícola, y (3) la venta comercial de madera. El modelo teórico propuesto se basa en la maximización de beneficios de una plantación a pequeña escala de *Tectona grandis*. Se puede concluir que al producir una unidad adicional forestal que genere reducciones de Gases Efecto Invernadero (GHG), validadas y certificadas, se maximizan los beneficios totales del sistema forestal. Así mismo, para que la validación y certificación de la actividad ambiental sea rentable, el beneficio marginal del pago ambiental debe ser mayor o igual que el beneficio marginal de la madera comercializable al final del ciclo productivo.

Palabras Clave: agroforestal; certificados de reducción de emisiones; gases efecto invernadero, mecanismo de desarrollo limpio.

Abstract

Climate change challenges are becoming more complex, and more exigent for developing countries on its economic growth. Colombia

* Docente e investigador asociado a la Facultad de Ciencias Económico – Administrativas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia. Cra. 4 # 22-61, Of. 329. (57) 1 2427030 Ext. 1412. camilo.torres@utadeo.edu.co

can venture into the timber market to generate supply of environmental services as alternative to the business search of opportunities to mitigate the current rural sector crisis. It is here that the agroforestry option takes importance. This is an economic activity based on the production of commercial timber with farming alternation; also, this activity allows the production of environmental assets. This generates economic benefits in three components: (1) permanent sale of Certificates of Emission Reduction (CER); (2) associated benefits of activities in either livestock or agriculture; and (3) commercial trade of timber. The proposed theoretical model is based on maximizing benefits of small-scale plantation (*Tectona grandis*). This paper concludes that in making an additional forestry unit that generates reductions of Greenhouse Gases (GHG), validated and certified, maximizes the benefits of the forest system. Also, for the validation and certification of the environmental activity to be profitable, the marginal benefit of environmental payment must be greater than or equal to the marginal benefit of commercial timber at the end of the production cycle.

Key Word: agroforestry; certificate of emission reduction; greenhouse gases, clean development mechanisms.

Introducción

La producción agroforestal constituye un sistema productivo donde se combinan plantaciones arbóreas con sistemas agrícolas o pecuarios integrados en la misma unidad de producción, donde el objetivo principal es mantener los principios de rendimiento y sostenibilidad de los factores de producción. Este es un modelo productivo que puede ser aplicado en los países de economías en desarrollo, donde los sistemas productivos agrícolas no son competitivos con respecto a otras regiones geográficas, tratando de minimizar los problemas de seguridad alimentaria, aumentando el flujo de los ingresos campesinos, y solucionando otras situaciones adversas de la ruralidad latinoamericana (Deininger, 2004).

Considerando el planteamiento de incorporar sistemas alternos a los planes de reforestación, se abre la posibilidad de generar ingresos productivos a las comunidades campesinas, prestando de manera paralela una amplia gama de servicios ambientales que van desde

la regulación de los caudales hídricos, el incremento de la cobertura vegetal, el restablecimiento del material genético en términos de biodiversidad (Torres y Buitrago, 2008), la restauración de los paisajes, la recuperación de los suelos, entre otros muchos más bienes y servicios ambientales (Ávila, 2007; Constanza, 2000). Estos servicios ecológicos son obviamente importantes para la sostenibilidad y la calidad de vida de las poblaciones humanas (Daily, 1997).

Uno de los servicios complementarios al desarrollo de un sistema agroforestal y que surge a partir de la formulación, ejecución y evaluación de un proyecto productivo de este tipo, es la captura o fijación de Dióxido de Carbono (CO_2) el cual es un gas producido por la quema de combustibles fósiles y que también es generado por la ineficiencia de algunos los modelos productivos (UNFCCC, 2007). La emisión de este tipo de gases (conocidos como Gases Efecto Invernadero), genera problemas globales que alteran la dinámica climática, afectando de manera directa el bienestar de las poblaciones humanas de menores ingresos y más vulnerables (Macchi, 2008), deteriorando las condiciones de salud (Patz, 2004), disminuyendo los índices de la biodiversidad y generando incertidumbre alimentaria (Gilman, Randall y Schwartz, 2007).

Por lo anterior, el presente documento propone la incorporación de los sistemas agroforestales en Colombia dentro del mercado de reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (*GHG*: Siglas en Ingles), generando ingresos adicionales a los productores campesinos, maximizando los beneficios por las actividades pecuarias y agrícolas asociadas al sistema forestal maderero. Los productores maximizan su función de beneficios, incorporando al modelo teórico los ingresos provenientes de la comercialización de activos de Carbono o Certificados de Reducción de Emisiones (*CER*) de *GHG*. De igual forma se realiza un ejercicio práctico mediante la generación de beneficios de una plantación de ***Tectona grandis*** en una hectárea durante la planeación de un proyecto forestal a 20 años. Los beneficios económicos calculados incorporan la generación y transacción de *CER* y la comercialización de madera al final del proyecto, en condiciones de oferta en bloque o aserrada.

El mecanismo de desarrollo limpio (MDL) en Colombia y la agroforestería

El sector forestal proyectado hacia el ámbito ambiental se ha convertido en una necesidad mundial, evidenciando el comportamiento del medio ambiente y sus grandes variaciones por acciones del efecto invernadero. Observamos que este incremento de gases está en aumento y agudiza la situación de degradación del medio ambiente afectando el entorno y la calidad de vida. En efecto, la alteración en el ciclo del Carbono interviene de manera decisiva para nuestro futuro climático (Costa, 2007). Es en esta etapa donde se genera la necesidad por la recuperación del medio ambiente y los servicios ambientales resultantes del desarrollo de plantaciones de bosques los cuales actúan como sistemas captadores de CO_2 .

En miras del desarrollo del sector forestal, Colombia posee grandes extensiones de tierras asignadas y con derechos claros de propiedad, lo cual facilita el manejo sostenible y el establecimiento de plantaciones forestales con amplias posibilidades económicas y ambientales (Monroy y Aguirre, 2003). El sector forestal nace con prioridades sociales y como herramienta para erradicar la pobreza de las comunidades humanas más vulnerables (FAO, 2006). Es por eso que en países como Colombia se cuenta con un gran potencial para el desarrollo económico y social de esta actividad, donde las ventajas comparativas radican en las condiciones climáticas, edafológicas e hídricas, sin mencionar la diversidad genética registrada en el país (Torres y Buitrago, 2008). El área potencial estimada en la generación de proyectos forestales en Colombia supera las 16 millones de hectáreas, donde solo se han desarrollado 235 mil hectáreas hasta finales del año 2009 (USAID, 2009). Por otro lado se debe considerar que alrededor de 11.5 millones de hectáreas de este gran potencial presentan restricciones menores con respecto a la deficiencia de factores en los suelos, ya que estos han sido modificados por usos ineficientes y diferentes a la vocación o potencial de uso de los suelos. Según la USAID (2008) estos suelos de alta vocación se pueden manejar con tecnologías apropiadas de bajo costo, donde actividades focalizadas en la agricultura y de mínimo

impacto ambiental, pueden ser opciones o alternativas que minimicen los costos de implementar un sistema productivo forestal. Considerando lo anterior, se está aprovechando menos del tres por ciento de las áreas productivas aptas para la reforestación y desarrollo de proyectos forestales, limitando el potencial comercial del mercado de la madera y la generación de activos de Carbono por la captura de CO₂ en las estructuras vegetativas de los bosques plantados.

Las actividades del sector primario en Colombia se han focalizado hacia el desarrollo de sistemas productivos agrícolas y ganaderos los cuales superan las 41.7 millones de hectáreas, de las cuales nueve millones de hectáreas son destinadas a la ganadería extensiva (DNP, 2008). Esta cantidad de tierra sub-utilizada, puede ser un foco de generación de proyectos agro-forestales sostenibles en el tiempo, generadores de empleo, maximizadores de beneficios económicos, de relevancia ambiental global, incluyentes socialmente y competitivos en los mercados internacionales. Existen diversos proyectos que se podrían desarrollar bajo los estándares, lineamientos y metodologías de la Comisión Internacional del Cambio Climático para Naciones Unidas (*UNFCCC* por sus siglas en inglés), el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (*IPCC* por sus siglas en inglés) y los Mercados Voluntarios de financiamiento de Carbono.

Los potenciales proyectos pueden ser de diferentes tipos:

1. Reforestación de áreas degradadas.
2. Restauración de tierras degradadas a partir de la forestación¹ y reforestación².
3. Forestación y reforestación de tierras degradadas a través de la plantación de árboles, regeneración natural asistida y control de pastoreo de ganado.
4. Reforestación o forestación de tierra actualmente en uso agrícola.

5. Implementación de actividades de forestación y reforestación para uso comercial e industrial.
6. Forestación y reforestación con arbustos en tierras degradadas.

El mercado del carbono

Los propósitos, acuerdos y misiones de la *UNFCCC*, fueron incorporados dentro de los principios gubernamentales de los países participantes en la convención de Río de Janeiro en el año 1992. Esta iniciativa entró en acción a principios del año de 1994 para los países participantes, donde el propósito primal fue la mitigación en las emisiones y minimización de las concentraciones de *GHG* en la atmosfera, las cuales son generadas por las actividades humanas. El propósito es generar incentivos económicos que minimicen el impacto de las actividades que incrementa las emisiones de *GHG* y se maximicen las actividades que oferten servicios ambientales de mitigación y regulación ambiental. De esta iniciativa mundial surgió el Mecanismo de Desarrollo Limpio (*MDL*) dentro del marco del Protocolo de Kioto en el año de 1997. Donde, los países en desarrollo se comprometieron a colaborar a los países desarrollados (mayores generadores de *GHG*) a cumplir con las metas de reducción de emisiones de *GHG*, mediante la implementación de proyectos que mitigaran el efecto de estos gases, reflejando un desarrollo sostenible y garantizando la adicionalidad³ de la ejecución (Monroy y Aguirre, 2003).

Colombia avaló y ratificó su participación dentro de esta iniciativa mundial mediante la Ley 629 del 2000 por la cual se adopta el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático; pero solo hasta el año 2004 el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial mediante la resolución 453 adopta los principios y el marco técnico de los procedimientos para la adopción de proyectos *MDL*, años después de ser implementados y ejecutados por países como Brasil, Chile, India, entre muchos otros, los cuales le llevan ventaja competitiva y experiencia en el desarrollo de este tipo de proyectos a Colombia.

Por otro lado, en Colombia se desarrollan estrategias para la implementación de este tipo de actividades mediante el Certificado de Incentivo Forestal (*CIF*), creado por medio de la Ley 139 de 1994 en donde el gobierno, por medio de FINAGRO, reconoce directamente en dinero los gastos del establecimiento y mantenimiento de las plantaciones forestales establecidas en un terreno de vocación forestal para fines comerciales o de protección. Estos beneficios del *CIF* están orientados tanto para personas naturales como jurídicas, contemplando de forma paralela algunas exoneraciones tributarias al productor, además estos beneficios consideran los riesgos imputables al sistema productivo. A pesar que el país cuenta con una gran biodiversidad de especies forestales con un alto valor económico y forestal, el desarrollo de este tipo de proyectos es mínimo, no obstante, siempre se ha considerado las altas cotizaciones en los precios de venta por unidad volumétrica de madera. Los precios del mercado de la madera varían de acuerdo a las ciudades y disponibilidad de manejo de las cantidades volumétricas de la madera. En tres ciudades de Colombia el metro cúbico de madera registra los siguientes precios de venta promedio:

Tabla 1. Precios de algunas maderas nativas de alta categoría comercial para múltiples propósitos. Dólares americanos, año base 2005.

Nombre Común	Nombre Científico	Medellín		Barranquilla		Bogotá	
		USD/m3 Bloque	USD/m3 Aserrada	USD/m3 Bloque	USD/m3 Aserrada	USD/m3 Bloque	USD/m3 Aserrada
Abarco	<i>Cariniana pyriformis</i>	282,0	475,5	268,5	441,6	366,6	748,9
Cedro	<i>Guarea trichiloides</i>	288,6	487,4	223,0	341,3	287,2	515,5
Roble	<i>Quercus sp.</i>	258,9	435,6	183,4	312,5	197,8	378,3
Teca	<i>Tectona grandis</i>	549,0	809,0	386,9	487,6	329,2	520,8
Nogal	<i>Cordial alliodora</i>	164,2	318,3	0,0	0,0	208,9	340,5
Algarrobo	<i>Hymenaea courbaril</i>	318,0	492,4	0,0	0,0	0,0	632,6
Bálsamo	<i>Myroxylon balsamun</i>	315,9	462,0	296,8	900,0	0,0	618,9
Pino nativo	<i>Pinus radiata</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	250,0

Fuente: Modificado de USAID, 2008. Complementado de FEDEMADERAS a precios base de 2005.

La anterior información está calculada a partir del promedio de precios de ventas, pero existen precios mayores para maderas de primera calidad, donde el metro cúbico puede alcanzar precios de transacción doméstica hasta de cuatro millones de pesos⁴ para especies de Abarco, Teca y Bálsamo.

Un proyecto agroforestal está encaminado a planificar actividades que fortalezcan los procesos empresariales de los productos agropecuarios, con un objetivo económico forestal definido, bajo un conjunto de actividades enmarcadas en unos límites temporales y presupuestales. Este tipo de proyectos productivos debe incorporar especies nativas que no interfieran ecológicamente con el entorno ambiental, generando barreras de protección, procesos de sombrero, fauna asociada que ejerza control biológico, fertilización y estabilidad del suelo, entre otras muchas más funciones asociadas.

La participación del sector forestal en la economía colombiana se refleja en dos sectores, el silvícola y el manufacturero. El sector silvícola incluye la producción derivada del aprovechamiento de los bosques, la reforestación y los productos como látex, goma, resina corteza, madera en bruto y leña. El sector manufacturero abarca la transformación de la madera, los procesos productivos, la generación de bienes comerciables como muebles y el conjunto industrial conformado por la producción de pulpa, papeles y cartones (Murillo, et al, 2004).

Por otro lado, el mercado de los bonos de carbono resultantes por la formulación, ejecución, validación y certificación de un proyecto forestal de este tipo, genera unos ingresos económicos significativos por la transacción de estos certificados en las bolsas de valores especializadas del mundo. Se debe considerar que el proceso de certificación y generación de estos activos de carbono es metódico y estricto, donde se deben asumir una serie de costos asociados al proceso. Para que un proyecto agroforestal en Colombia sea generador de *CER* transables en las bolsas de valores de los mercados internacionales, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Idea del proyecto: se debe generar un documento con unos estándares específicos los cuales se expresan en un documento llamado el *PIN* (Notas de las ideas del proyecto, en sus siglas en inglés), el cual es radicado y avalado en la oficina de cambio climático para Colombia, jurisdicción del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Este ente se conoce como la Autoridad Nacional Designada, (*DNA* por sus siglas en inglés).

2. **Formulación:** el proyecto debe presentarse en un documento de diseño de proyecto (*PDD* por sus siglas en inglés), bajo un modelo de estándar internacional⁵. Este documento debe incluir detalles del proyecto con respecto a la pertinencia, aplicación, adicionalidad, la metodología implementada, el cálculo inicial de línea base (escenario donde el proyecto no se implemente), impactos socioeconómicos, partes interesadas, fugas de emisiones, justificación de la plantación, periodo de acreditación, estrategia de monitoreo y complementos de archivos sustentables.
3. **Validación:** el proyecto es remitido a una entidad internacional que revise la formulación del proyecto, la cual es conocida como el *DOE* (Entidad Operacional Designada por sus siglas en inglés) considerada como el ente internacional más idónea y competente en el tema de validación de proyectos agroforestales del mundo, la cual es acompañada por un seguimiento estricto de los organismos de control de Naciones Unidas.
4. **Registro:** la junta internacional de Naciones Unidas registra el proyecto en la base de datos internacionales por la petición y aval del *DOE* encargado del proyecto. Este es un requisito fundamental para que los futuros compradores de estos bonos o *CER* identifiquen internacionalmente el proyecto.
5. **Verificación:** la entidad internacional encargada del proyecto o *DOE*, verifica las capturas de CO_2 generadas en el proyecto agroforestal verificando lo planteado en el *PDD*.
6. **Certificación:** a partir de la petición de ente internacional *DOE*, se certifica que la captura de carbono es real y que puede expedir los *CER* correspondientes.
7. **Comercialización:** es el proceso de transacción de bonos de carbono expresados en los *CER* emitidos por la entidad *DOE* de acuerdo a las

cantidades de toneladas de CO_2 capturadas o reducidas por el sistema agroforestal en el ciclo del proyecto acordado en el *PDD*. Los *CER* se venden en las bolsas de valores del mundo, los cuales son comprados por los sectores empresariales de los países industrializados que se comprometieron a generar e incentivar reducciones de *GHG* en los acuerdos internacionales bajo el marco del *MDL*. Si estos sectores empresariales de los países contratantes no cumplen con las metas acordadas, se enfrentarían en sanciones, multas o cierres de los sistemas productivos.

Los precios de transacción en el mercado de los *CER* establecen los beneficios generados por el sistema productivo agroforestal por el concepto de captura de carbono durante el ciclo del proyecto. Estos beneficios son expresados como el producto resultante de las correspondientes cantidades de CO_2 capturado en el tiempo y el precio de los *CER* que sean transados en el mercado del financiamiento de carbono. La tendencia de estos precios muestra una disminución progresiva los últimos dos años, pero algunas proyecciones realizadas hacia el año 2012 pronostican un aumento significativo del precio de transacción de las cantidades de CO_2 capturadas o reducidas por medio de proyectos *MDL*. La siguiente información (Tabla 2) muestra la tendencia del precio transado en dos diferentes fuentes de información financiera, donde se evidencia el precio de transacción por una tonelada de CO_2 reducida o capturada por un proyecto *MDL* certificado.

Considerando lo anterior, se puede decir que un sistema agroforestal registra beneficios económicos de manera conjunta y continua de tres grandes componentes, considerando (1) la venta permanente de *CER* por la captura de Carbono, (2) los beneficios de la actividad asociada de la madera ya sea pecuaria o agrícola, y (3) la venta de la madera al final del ciclo productivo del proyecto.

Tabla 2. Precios pagados en los diferentes mercados del carbono. Comparación de dos fuentes de datos. Año base de valores constantes a 2010.

Mercado	US\$/tCO ₂ e ¹	US\$/tCO ₂ e ²
MDL (Mercado primario)	4	11,6 - 16
MDL (Mercado secundario)	-	22-24
NSWGGAS (Australia)	11,3	-
Chicago Climate Exchange(CCX)	3,3	22 - 35
Mercado Voluntario (reforestación)	0,5 - 45	-
Mercado Voluntario (deforestación evitada)	18	-

Fuente: 1: Sarria P 2007. El mercado de Carbono. EcoscuritiesGroupPLC.2007.

2:Carbon Positive 2008. CERmarketreport (Abril, 2008)

Metodología

El modelo económico del beneficio en la actividad agroforestal expresa el beneficio como una medida económica en la cual se genera una diferencia entre los ingresos provenientes de las actividades productivas en función de las cantidades y de los precios del mercado, sustrayendo los costos generados en los procesos de producción que dependen de las cantidades producidas y de los precios de los factores de producción (*Mankiw, 2002*). El siguiente modelo muestra la estructura teórica que enmarca al productor que incursiona en el mercado de *CER*. Generando, validando y comercializando los bonos de carbono, donde las variables del modelo propuesto son:

y_k = Productos agrícolas, pecuarios o forestales madereros de la empresa k.

w_k = Precio del producto en un mercado competitivo.

r_k = Vector de insumos o factores de producción.

p_k = Vector de precios de los insumos o factores de producción.

s_k = Cantidad de bonos de carbono o CER generados en el sistema de producción agroforestal.

t = Precio internacional o de transacción de cada CER o paquete de CER.

La función de producción de la empresa agroforestal k (f^k) está en función del precio de los insumo o factores de producción (r_k) y de la cantidad de bonos de carbono o CER que pueda validar y transar en un mercado de valores internacionales (S_k). Se representa de la siguiente forma:

$$f^k = (r_k, S_k) \leq y_k$$

Donde la función de producción debe ser menor o igual a la cantidad de productos agrícolas generados en el sistema, como son bienes agrícolas, productos pecuarios o bienes forestales madereros que pueden ser comercializados bajo un ciclo de rotación sostenible.

Cuando la empresa forestal k se enfrenta al mercado de intercambio de bonos de carbono o *CER*, por unidades reducidas de *GHG*, la maximización de la función de beneficios está dada por la siguiente estructura teórica:

$$\pi_k^t = \frac{MAX}{y_k, r_k, S_k} w_k y_k - p_k S_k + t S_k$$

La maximización está sujeta a la función de producción:

$$f^k = (r_k, S_k) \leq y_k$$

El proceso de maximización plantea la siguiente función de optimización bajo el modelo de los multiplicadores de Lagrange o Lagrangiano:

$$L = w_k y_k - p_k S_k + t S_k - \lambda_k [f^k = (r_k, S_k) - y_k]$$

Al resolver el Lagrangiano y optimizando bajo la cantidad de *CER* obtenidos en el proyecto, conseguimos las condiciones de primer orden con respecto a la cantidad de bonos de carbono (*CER* generados) en el sistema de producción agroforestal:

$$\frac{\delta L}{\delta S_k} = t - \lambda_k \frac{\delta f^k}{\delta S_k}$$

Si igualamos a cero tenemos:

$$t - \lambda_k \frac{\delta f^k}{\delta S_k} = 0$$

Dónde:

$$t^* = \lambda_k \frac{\delta f^k}{\delta S_k}$$

Para maximizar los beneficios empresariales del sistema agroforestal k , dentro del mercado del financiamiento de carbono en la transacción de los *CER*, el precio de los bonos de carbono o *CER* óptimo (t^*) debe ser igual al beneficio marginal de producir una unidad productiva adicional forestal que genere reducciones validadas y certificadas de unas cantidades establecidas de *GHG*.

Resultados

La siguiente es la aplicación práctica a un sistema agroforestal como un caso estudiado, considerando solo los beneficios generados por la venta de madera y las certificaciones dentro del mercado de carbono. Se contempla la viabilidad técnica, ambiental y económica de la actividad. A continuación se realiza un recuento económico de costos de producción de un sistema agroforestal de la especie nativa *Tectona grandis* en las diferentes etapas de desarrollo del proyecto bajo el marco del *MDL*. Esta es una especie que puede crecer desde los cero hasta los 1.100 metros sobre el nivel del mar en un clima cálido a húmedo, donde los mejores rendimiento se obtienen a una temperatura media de 22 a 27 grados centígrados en suelos profundos, francos y bien desarrollados

(Refocosta, 2008). Así mismo, se plantea un potencial flujo de ingresos provenientes de los procesos de transacción de bonos de carbono o CER con una proyección de 20 años en el ciclo del proyecto. El ejercicio plantea la incorporación del sistema productivo de una hectárea.

El cultivo se dispone en una hectárea donde se disponen 400 plántulas de *T. grandis* certificadas en el origen productivo (en Colombia los distribuidores certificados y autorizados venden cada plántula a dos dólares). La densidad es de una plántula por 25 metros cuadrados, con una separación de cinco metros de cada individuo. Lo que garantiza el óptimo desarrollo de cada árbol y permite incorporar actividades agrícolas de sombrero o actividades de pastoreo transitorio y controlado (Figura 1).

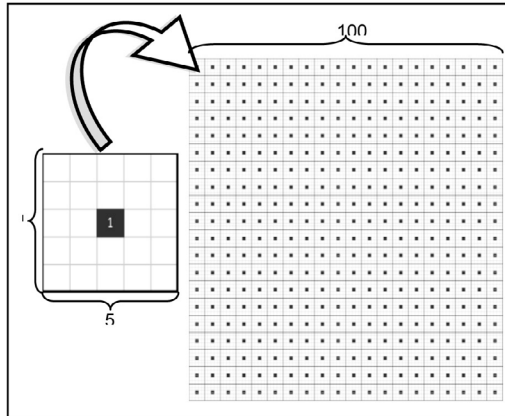


Figura 1. Establecimiento del cultivo de *Tectona grandis* en una hectárea. Cada árbol es plantado en un área de 25 metros cuadrados. Fuente: Autor.

La plantación de 400 individuos en una hectárea generaría unos costos de 800 dólares en la compra de las plántulas certificadas, donde la plantación, el manejo y mantenimiento en una hectárea tienen un promedio de 1.200 dólares por año. Durante los 20 años se generarían gastos de 24.000 dólares de manejo. El propósito de uso de la madera de la especie *T. grandis* es destinado a la venta en bloques o laminas aserradas dependiendo del propósito manufacturero. El corte de los 400 árboles de una hectárea es de 2.000 dólares y si esta es aserrada se tendría que adicionar 6.000 dólares en los costos (Tabla 3).

Tabla 3. Costos de implementación, siembra, certificación y corte de una hectárea de plantación de *T. grandis* de 20 años para la venta de madera aserrada o en bloque de pie.

	Costos USD / Hectárea	
	Aserrado	Bloque
400 plántulas certificadas	\$ 800	\$ 800
Manejo de 20 años por Hectárea	\$ 24.000	\$ 24.000
Corte de los 400 arboles	\$ 2.000	\$ 2.000
Aserrado	\$ 6.000	\$ -
Certificación forestal dentro del MDL	\$ 10.000	\$ 10.000
Total	\$ 42.800	\$ 36.800

Fuente: Modificado y calculado a partir de Refocosta (2008) y USAID, (2009).

Los ingresos generados por la venta de la madera están determinados por el precio de comercialización y el formato de venta en el manejo de la madera. La plantación de 400 árboles después de su maduración y finalización del ciclo del proyecto (20 años) genera 250 metros cúbicos de madera, considerando un crecimiento promedio anual de 12.5 metros cúbicos de madera por hectárea. De acuerdo a la Tabla 1, se establecieron los precios estimados en el mercado de la comercialización de madera, obtenida para cada turno de corte en 20 años (período estimado en la formulación del proyecto). La estimación económica muestra que la venta de madera aserrada genera 200.000 dólares de ingreso bruto y la comercializada en bloque registra de ingresos brutos de 137.500 dólares, para este caso práctico planteado.

Por otro lado, al certificar el bosque plantado dentro de un proyecto del MDL, se consideran los CER generados desde el primer año de la plantación. Actualmente se consideran precios conservadores de seis dólares por tonelada de CO₂ capturado en un sistema forestal certificado. Según el Banco Mundial y algunas transacciones registradas en su base de datos, se transa una tonelada de CO₂ capturado hasta por 13 euros para la Comunidad Europea, considerando un escenario más optimista para el productor (PointCarbon, 2010).

La Tabla 4 muestra el ingreso generado por la comercialización de los CER proveniente del sistema productivo de *T. grandis* en el ciclo del proyecto productivo planeado a 20 años. Estos ingresos por la generación de Activos o Bonos de Carbono superan los 14.400 dólares

por hectárea durante los 20 años, bajo un escenario conservador. Si las proyecciones a futuro realizadas por la agencia del Banco Mundial (*CarbonPoint*, 2010), superan los 45 dólares por tonelada capturada y certificada mediante un *CER*, los ingresos de este sistema productivo sería de 108.000 dólares en 20 años de certificación, solo por la comercialización de Activos o Bonos de Carbono.

Tabla 4. Cálculos de las cantidades de fijación de CO_2 en una plantación de *T. grandis* en una hectárea. Ingresos generados por la comercialización de los *CER*.

Descripción	Unidades	Cantidad
Densidad de la plantación	Arboles/Hectárea	400
Fijación de CO_2	ton CO_2 /Año/Árbol	0,3 ⁺
Fijación de CO_2	ton CO_2 /Año/Hectárea	120
Fijación de CO_2	ton CO_2 /20Años/Árbol	6
Fijación de CO_2	ton CO_2 /20Años/Hectárea	2.400 ⁺⁺
Precio actual* de 1 <i>CER</i> (1ton** CO_2)	USD/1 <i>CER</i>	6
Ingresos por el comercio de <i>CER</i>	USD/Año/Hectárea	720
Ingresos por el comercio de <i>CER</i>	USD/Año/Árbol	1,8
Ingresos por el comercio de <i>CER</i>	USD/20Años/Hectárea	14.400
Ingresos por el comercio de <i>CER</i>	USD/20Años/Árbol	36

+ *Tectona grandis* fija en promedio 135,27 kg/año, presentando máximos de 300 kg/año Fuente. Refocosta, 2008; Bipal, et al, 2009.

++Cálculo del autor a partir de la metodología: *Approved consolidated afforestation and reforestation baseline and monitoring methodology*. AR-ACM0001. UNFCCC, 2010.

* Precio conservador de comercialización, Marzo de 2010: Fuente. *PointCarbon*, 2010.

** ton. se refiere a toneladas de Dióxido de Carbono capturado.

La Tabla 5 muestra el flujo beneficios netos generados por las actividades de captura de Carbono y comercialización de la madera en una hectárea de plantación, ya sea en madera aserrada o madera en bloque. Los costos relacionados en el período inicial corresponden a 12.000 dólares, considerando la plantación de los árboles, la certificación del bosque reforestado dentro del marco del *MDL* y el manejo del primer período. En este primer período no se registran ingresos, ya que solo hasta el tercer período se pueden comercializar los *CER* generados dentro de un marco conservador en la comercialización. Cada período generaría 720 dólares por concepto de la comercialización de 120 toneladas capturadas de CO_2 certificadas. Cada tonelada de CO_2 certificada (*CER*) se comercializaría a seis dólares dentro de un marco

conservador. Los beneficios de la actividad agrícola o pecuaria no se contemplan en la estimación. Los costos del periodo final consideran el manejo del periodo, el corte de los 400 árboles plantados por hectárea y el manejo pos cosecha para el caso de la madera aserrada⁷. Los beneficios netos de comercializar los *CER* generados durante los 20 años y la venta de la madera aserrada serian de 171.240 dólares por hectárea; si la madera es comercializada en bloque los beneficios netos serian de 114.740 dólares, considerando la comercialización de los *CER* generados.

Tabla 5. Cálculos de la actividad forestal en una plantación de *T. grandis* de una hectárea considerando los ingresos generados por la comercialización de los *CER* y la comercialización de la madera.

Período	Costos	Ingresos	Beneficios Madera Aserrada	Beneficios Madera en Bloque
1	12.000		-12.000	-12.000
2	1.200		-1.200	-1.200
3	1.200	1.800	600	600
4	1.200	720	-480	-480
5	1.200	720	-480	-480
/	/	/	/	/
19	1.200	720	-480	-480
20	3.200	200.720	191.520	135.020
Total			171.240	114.740

Fuente: Cálculos del Autor.

Es necesario decir que toda plantación forestal tiene un porcentaje de mortalidad y sobrevivencia, los cuales afectan los cálculos iniciales, así mismo, se deben contemplar fugas en la fijación del carbono provenientes de las diferentes tasas de herbivoría y pérdida de material vegetal. Además, hay que hacer aclareos o cortes en el manejo cultural forestal, generalmente a los 7 y 14 años, en base al área basal, en este análisis no se tomaron en cuenta estas fugas relacionadas con las prácticas de manejo forestal.

Al generar esta proyección de los beneficios totales, tanto por la generación de *CER* como por la venta de la madera, se puede inferir una rentabilidad positiva en el sistema productivo forestal, considerando

los 20 años del ciclo productivo y una sola hectárea plantada. La comercialización de madera aserrada presenta un mayor flujo de beneficios netos, pero requiere una tasa de rendimiento mínimo mayor que la comercialización de madera en bloque (Tabla 6).

Tabla 6. Cálculos del Valor Presente Neto (*VPN*) de la actividad forestal por concepto de la comercialización de *CER* y madera. Dólares americanos. Tasa Interna de Retorno (*TIR*) de la inversión propuesta.

Madera Comercializada	VPN (5%)	VPN (10%)	VPN (12%)	TIR
Aserrada	\$ 55.689	\$ 14.197	\$ 6.228	14,4%
Bloque	\$ 34.395	\$ 5.798	\$ 371	12,2%

Fuente: Cálculos del Autor.

Discusión

Los sistemas forestales asociados a actividades agrícolas o pecuarias son considerados como procesos productivos sostenibles e integrales, ya que incorporan actividades sostenibles ambientalmente y económicamente viables. De forma paralela, Colombia tiene un gran potencial en el desarrollo de estas actividades que aseguran la oferta alimentaria (Costa, 2007), y que suministran una amplia variedad de servicios ambientales como es la captura o secuestro de Carbono (Torres y Buitrago, 2008). De igual forma, el país presenta un área potencial estimada en la generación de proyectos forestales que supera las 16 millones de hectáreas, donde solo se han desarrollado 235 mil hectáreas hasta finales del año 2009 (USAID, 2009).

En Colombia se pueden desarrollar diversas modalidades dentro de la conformación de proyectos agroforestales, considerando la generación de beneficios económicos conjuntos por la comercialización de madera, la certificación del bosque dentro del marco del *MDL* incursionando al mercado de los activos de carbono o *CER* con el propósito de mitigar los efectos del cambio climático (Patz, 2004; UNFCCC, 2007), por los incentivos fiscales o subvenciones bajo la política pública de Colombia como es el caso del *CIF* (DNP, 2008, Finagro, 2009), y por el constante flujo de caja de las actividades agrícolas o pecuarias transitorias y controladas.

El precio de comercialización de la madera de especies nativas, permite generar ingresos considerables al largo plazo, donde los precios de las maderas de primera calidad hace atractivo el mercado (Cubbage, 2006; USAID; 2008; USAID, 2009). Este tipo de maderas se garantiza por medio de incorporar plántulas certificadas mediante avances tecnológicos (Torres y Buitrago 2008), y considerar un manejo cultural eficiente (Refocosta, 2008).

El modelo de maximización de beneficios económicos propuesto, incorpora a las actividades forestales desarrolladas, los ingresos generados por la comercialización de los CER, el cual es un beneficio que cada vez será mayor a medida que incremente el precio de transacción de los mismos. Para maximizar estos beneficios empresariales del sistema agroforestal, dentro del mercado del financiamiento de activos de carbono, el precio de los bonos de carbono o CER óptimo debe ser igual al beneficio marginal de producir una unidad productiva adicional forestal que genere reducciones certificadas.

Finalmente, la aplicación del modelo teórico es válido a un caso práctico, mediante la generación de un proyecto agroforestal de pequeña escala de la especie ***Tectona grandis***. La plantación se realiza en una sola hectárea con una proyección forestal de 20 años. Por esta actividad conjunta (sin considerar las actividades agrícolas o pecuarias), se pueden percibir beneficios económicos netos totales de 171.240 dólares por hectárea para la madera aserrada y de 114.740 dólares para la madera en bloque, con una rentabilidad positiva a diferentes tasas de descuento en el cálculo del Valor Presente Neto y con una Tasa Interna de Retorno baja, lo que hace de la iniciativa a pequeña escala productiva muy rentable.

Agradecimientos

El reconocimiento a esta investigación es a los estudiantes del programa de Administración de Empresas Agropecuarias de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. A los estudiantes por sus valiosos aportes realizados en las cátedras de Gestión Ambiental Agraria

y Formulación de Proyectos Agrarios. Se reconoce el apoyo y la gestión de las directivas de la Facultad de Ciencias Económico-Administrativas.

Notas:

1. Forestación: se define como el establecimiento de bosques en tierras que carecieron de bosques en un período mínimo de 50 años.
2. Reforestación: se refiere a la conversión de áreas deforestadas, que anteriormente tenían bosques, en tierras forestales.
3. La adicionalidad se refiere al proyecto que representa capturas o reducciones de Carbono mayores a las que ocurrirían de no ejecutarse el proyecto. De igual forma se debe considerar que el proyecto no se ejecutaría si no fuese por los incentivos económicos, sociales y ambientales generados bajo el marco del MDL.
4. La conversión aproximada para inicio del año 2010 es de 1 USD por 2,000 pesos colombianos.
5. Se recomienda revisar los respectivos formatos metodológicos en la página web: <http://cdm.unfccc.int/index.html>
6. Es necesario ratificar que los ingresos por la madera aserrada son mucho mayores que los ingresos de la madera en bloque. Solo por la venta y comercialización de la madera aserrada se recibirían por ingresos brutos serían de 200.000 dólares, y por la madera en bloque el ingreso bruto sería de 137.500 dólares. Estos ingresos están dentro del supuesto que la madera no es de primera calidad dentro de un marco conservador a pesar de adquirir plántulas certificadas, lo que es muy poco probable. Lo esperado es comercializar madera de primera calidad cuadruplicando los ingresos en un escenario optimista.

Referencias Bibliográficas

AVILA, V.S. 2007. Los modelos de la economía ecológica: una herramienta metodológica para el estudio de los servicios ambientales. *Gaceta ecológica*, 84: 85-91.

- BIPAL, K.J.; SOUMYAJIT, B.; MRINMOY, M.; PANKAJ, R. and ASIS, M. 2009. Carbon sequestration rate and above ground biomass carbon potential of four young species. *Journal of Ecology and Natural Environment*, 1(2): 15-24.
- COSTA, C. 2007. La adaptación al cambio climático en Colombia. Universidad de Los Andes. *Revista de Ingeniería*, 26:74-80.
- COSTANZA, R. 2000. Social Goals and the Valuation of Ecosystem Services, *Ecosystems*, 3: 4-10.
- CUBBAGE, F. 2006. Global forest plantations assessment. Contributions to sustainable wood supply and resources conservation. IUFRO Forest plantation meeting, South Carolina, USA.
- DAILY, G. 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press. Washington, DC.
- DEININGER, K. 2004. Land policies for growth and poverty reduction: Key issues and challenges ahead. Inter-regional special forum on building of land information policies in the Americas. Aguascalientes, MX.
- DNP – Departamento de Planeación Nacional. 2008. Distribución de recursos para el certificado de incentivo forestal con fines comerciales. Concejo nacional de política económica y social, CONPES 3509. Bogotá.
- FAO – Food and Agriculture Organization of The United Nations. 2006. *Better forestry, less poverty*. Rome.
- FINAGRO. 2009. Manual de servicios de Finagro. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá.
- GILMAN, N., RANDALL, D. and SCHWARTZ, P. 2007. A system vulnerability approach to consider the potential impacts to 2050 of a mid-upper greenhouse gas emissions scenario. Global business network, San Francisco, Ca.
- MACCHI, M. 2008. Indigenous and Traditional Peoples and Climate Change. International Union for Conservation of Nature – IUCN, *Revista Forestal Latinoamericana*, 25 (2): 83-105. 2010

Geneva, Sw.

MANKIWI, G. 2002. Principles of Economics. Harcourt Brace and Company Publishers, New York.

MONROY, N. y AGUIRRE, A. 2003. El protocolo de Kyoto: Una oportunidad para la industria colombiana, Facultad de Ingeniería, Facultad de Los Andes, Bogotá.

MURILLO, O.; MESA, A. y CABRERA, J.M. 2004. Estimación del valor real y del valor de mercado en pie de la plantación forestal. Agronomía Costarricense, 28(1): 47-55.

PATZ, J A. 2004. Global warming. Health impacts may be abrupt as well as long term. BMJ., 328: 1269 –1270.

POINT CARBON. 2010. The data, information, news, analysis, calculations, models, forecasts and systems. Point Carbon, World Bank, Oslo (Head Office), Washington D.C., Extraído de www.pointcarbon.com

REFOCOSTA. 2008. Desarrollo tecnológico para la producción y certificación de materia forestal reproductivo de Teca (*Tectona grandis*) para la costa atlántica colombiana. Cartilla de propagación por semilla. Bogotá.

TORRES, F. y BUITRAGO, G.A. 2008. Prospectiva de la biotecnología aplicada en el sector forestal en Colombia. Gestión y Sociedad, 1(1): 89-107.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. 2007. Climate change: impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries, Bonn, De.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. 2008. Potential of carbon markets, Bonn, De.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. 2010. Methodologies for small scale CDM project activities. Extraído de: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/SSCmethodologies/index.html>

USAID – Agencia para el desarrollo internacional. 2008. Una perspectiva de la competitividad forestal de Colombia. Programa MIDAS de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Washington.

USAID – Agencia para el desarrollo internacional. 2009. Programa Colombia foresta: plan de monitoreo y evaluación. Programa MIDAS de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Washington.