

Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono

El monitoreo y valoración del servicio ambiental de secuestro de dióxido de carbono es factible para las plantaciones forestales, utilizando datos disponibles y técnicas relativamente sencillas.

Octavio A. Ramírez, Manuel Gómez

Resumen

Se propone una metodología para cuantificar y valorar el servicio ambiental de secuestro y almacenamiento de dióxido de carbono por las plantaciones forestales en Costa Rica. Se estima que una hectárea típica puede secuestrar anualmente un promedio de 28,2 toneladas métricas de dióxido de carbono de la atmósfera, equivalentes a 7,7 toneladas de carbono fijado en la madera. Basado en esto, se calcula que las 142 600 hectáreas de plantaciones forestales reportadas hasta 1997 han secuestrado aproximadamente 6,3 millones de toneladas métricas de carbono. La cantidad promedio de carbono que se ha almacenado en esta área durante los últimos 20 años se calcula en más de 1,5 millones de toneladas métricas con un valor potencial de entre US\$15 y US\$30 millones en la forma de "Bonos de Carbono" emitidos por el gobierno. Además, el valor potencial del almacenamiento promedio de 9,8 millones de toneladas que se proyecta para dentro de veinte años, se estima entre US\$98 y US\$196 millones, dado que el precio pagado por los bonos puede variar significativamente.

Summary

Economic Value of the Carbon Sink Services of Costa Rica's Forestry Plantations. It is estimated that the "average" hectare of plantation forestry in Costa Rica can sequester 7,7 metric tons of carbon, or 28,2 tons of CO₂ per year. Based on this estimate, it is calculated that the 142 600 hectares of forestry plantations reported until 1997 have sequestered approximately 6,3 million metric tons of carbon. The average amount of carbon that has remained stored in this area during the last 20 years is calculated at 1,5 million metric tons, with a potential value of 15 to 30 million U.S. dollars in government issued Carbon Bonds. In addition, the potential value of the average storage that is likely to occur during the next 20 years, of approximately 9,8 million tons, is estimated at between 98 and 196 million U.S. dollars, as the prices paid for the bonds may vary widely.

Palabras Clave: Almacenamiento, calentamiento global, fijación de carbono, plantaciones forestales, secuestro, servicios ambientales de los bosques, valoración económica.



a tasa anual de deforestación en Costa Rica varió de 1,8% en 1963 a

1,2% en 1989, mientras que la tasa promedio para todos los bosques tropicales se estimó en un 0,6% por año. Casi 850 000 ha fueron cortadas en Costa Rica entre 1966 y 1984, de las cuales solo un 35% fueron convertidas a usos posiblemente sostenibles y productivos, sean agrícolas o agropecuarios. Aproximadamente el 65% de esa área mostraba una vocación definida para la producción y/o conservación forestal (Solórzano 1991).

La búsqueda de alternativas para reducir la presión sobre los bosques naturales remanentes y prolongar la vida útil de los ecosistemas afectados resultó en un fuerte interés nacional por promover las plantaciones forestales, por medio de programas de incentivos económicos que empezaron en 1978. En 1979 se establecieron 413 ha de plantaciones y, subsecuentemente, un promedio de 2 500 ha por año hasta 1989.

En 1987, grupos organizados de pequeños y medianos agricultores se unieron a este movimiento de reforestación motivados por la creación de nuevos programas de incentivos dirigidos hacia ellos y plantaron 34 640 ha de árboles entre 1988 y 1994 (Torres *et al* 1995), es decir, casi 5 000 ha por año. Si se toman en cuenta los proyectos ejecutados por las grandes compañías forestales, se estima que las áreas de plantaciones en Costa Rica han crecido en un promedio de 14 400 ha anuales durante los últimos ocho años (1990-97). Entre 1990 y 1993 la espe-



cie más común en las plantaciones era melina (*Gmelina arborea*), cubriendo aproximadamente el 44% del área establecida durante ese período. Otras especies importantes incluyeron pilón (*Hieronyma alchorneoides*), eucalipto (*Eucalyptus* spp.), teca (*Tectona grandis*) y laurel (*Cordia alliodora*). Esas cinco especies se utilizaron para plantar una área de 48 221 ha, o sea el 80% del total establecido entre 1990 y 1993.

Monitoreo del servicio ambiental

Las emisiones de CO₂ causadas por los combustibles fósiles son consideradas un factor clave en el "efecto invernadero", que está causando un incremento en las temperaturas globales. La absorción del CO₂ atmosférico por las plantaciones forestales tropicales con especies que crecen rápidamente puede ayudar a aliviar el problema de calentamiento global (Barres 1993).

Los árboles absorben CO₂ de la atmósfera y producen madera. Según el Laboratorio de Productos Forestales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), citado por Barres (1993), la madera seca de los árboles contiene entre un 47 y un 53% de carbono. El carbono almacenado en los árboles queda como un elemento integral de la madera hasta que estos mueren y se descomponen. Sin embargo, si el árbol es aprovechado y transformado en productos maderables para la construcción, ebanistería u otra estructura duradera, el carbono queda almacenado hasta que la madera se descompone y el carbono se libera a la atmósfera.

Metodología

Para estimar la absorción de CO₂ y el correspondiente almacenamiento de carbono en las plantaciones de Costa Rica, se han seguido 9 pasos:

- 1. Estimar el Incremento Medio Anual (IMA) en el volumen del fuste,** para las especies más usadas en Costa Rica, mencionadas anteriormente. El IMA fue calculado para cada una de las especies con base en los resultados de 10 años de investigación de campo (CATIE/Guías Silviculturales del Proyecto Madeleña) en sitios representativos de las condiciones de las plantaciones forestales en este país. El IMA promedio para las cinco espe-

cies es de 18,9 m³ por ha/año. En el principal escenario, que se considera realista, se aplicó un factor de ajuste de 0,85 para corregir las deficiencias mencionadas en las evaluaciones sobre el estado actual de las plantaciones (Torres *et al* 1995), resultando un IMA promedio final a utilizarse de 16,4 m³ por ha/año. También se plantea un escenario pesimista mediante un factor de ajuste del 0,70, i.e. un IMA promedio de 13,3 m³ por ha/año.

- 2. Estimar el IMA promedio en el volumen de todo el árbol,** incluyendo el fuste, las ramas, las hojas y las raíces. Schroeder *et al* (1993) estima que por lo menos un 40% de la biomasa del árbol se encuentra en las ramas y las hojas. Una evaluación de diferentes tipos de bosques tropicales (Brown *et al* 1989) resultó en cocientes de biomasa total a biomasa del fuste de 1,8 a 3,5. Los valores de este multiplicador en otros estudios (Brown y Lugo 1984, Thoranisorn *et al* 1991, Faeth *et al* 1994) varían entre 1,3 y 3,6 con un promedio de 2,5 para los bosques naturales y entre 1,3 y 2,7 con un promedio de 1,9 en el caso de las plantaciones forestales. En este estudio se usa un multiplicador de 2,0 para convertir el volumen del fuste a volumen o biomasa de todo el árbol, lo cual resulta en un IMA promedio en volumen para todo el árbol de 32,8 m³/ha/año (27,0 m³/ha/año en el escenario pesimista).

- 3. Determinar el peso específico de las 5 especies principales.** Considerando los valores conocidos de 0,37 gr/cm³ para melina, 0,70 gr/cm³ para teca y 0,50 gr/cm³ para eucalipto (CATIE/Guías Silviculturales del Proyecto Madeleña), en este estudio se usa su promedio de 0,47 gr/cm³ o t/m³.

- 4. Determinar el contenido de carbono en la madera seca.** Como se mencionó el Laboratorio de Productos Forestales del USDA, las especies forestales contienen entre un 47 y un 53% de carbono (Barres 1993). Entonces, se asumió un contenido de carbono promedio de 50%.

- 5. Calcular la cantidad de carbono fijado por tonelada de biomasa de madera.** Para esto se utilizó el método descrito por Barres (1993), es decir que se multiplicó el peso específico promedio de la madera de las plantaciones forestales de Costa Rica (0,47 t de biomasa seca/m³) por el contenido

promedio de carbono en la madera seca (0,50 t de carbono/t de biomasa seca) lo cual da un factor de conversión de 0,235. Es decir que un metro cúbico de biomasa o madera húmeda contiene 0,235 t de carbono.

6. Calcular la cantidad de carbono almacenada, en promedio, por ha de plantación forestal por año. Para esto se multiplica el IMA en volumen del árbol entero (32,8 m³/ha-año) por el factor de conversión en 5, lo que resulta en un estimado de 7,7 t métricas de carbono almacenadas por ha-año (6,3 tm/ha-año en el escenario pesimista).

7. Estimar la cantidad neta de carbono secuestrada (i.e. almacenada adicional) por las plantaciones forestales de Costa Rica durante cada uno de los años de estudio. Para esto, el número acumulado de ha en los diferentes años (Cuadro 1) se multiplica por el factor de 7,7 calculado anteriormente

Cuadro 1. Plantaciones forestales establecidas en Costa Rica (ha) (1985-1995).

Año	Área Plantada ese Año	Área Plantada Acumulada
1985	2 501	8 723
1986	4 175	12 898
1987	5 303	18 201
1988	4 835	23 036
1989	5 000	28 036
1990	13 797	41 833
1991	15 560	57 393
1992	15 958	73 351
1993	14 630	87 981
1994	14 628	102 609
1995	25 981	128 590
1996	7 000	135 590
1997	7 000	142 590

Fuente: Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (1994). Para efectos de esta publicación el cuadro refleja solo 10 años.

y se le resta la cantidad de carbono que sale del sistema cada año a través del aprovechamiento de las plantaciones (Cuadro 2, columnas 1 y 2). Los volúmenes cosechados reportados por el Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (1995) se refieren solamente a fustes, por los que hay que multiplicarlos primero por dos y luego por el factor de conversión dado en 5.

8. Estimar la cantidad neta de carbono almacenada por las plantaciones forestales en Costa Rica durante cada uno de los años del estudio, acumulando a través del tiempo la cantidad neta de carbono secuestrada anualmente.

9. Estimar la cantidad neta promedio

de carbono que ha sido almacenada en las plantaciones forestales de Costa Rica durante los últimos 20 años. Para esto se suman las cantidades netas de carbono almacenadas durante cada uno de los últimos 20 años del estudio y se divide entre 20. Se puede calcular además la cantidad equivalente de CO₂. Se sabe que el carbono representa un 27,3% del peso molecular del CO₂, así es que cada t de carbono corresponde a 3,66 t de CO₂.

almacenada durante un año específico (3) se calcula acumulando la diferencia entre las columnas 1 y 2 a través del tiempo. Debido a las grandes áreas plantadas en años recientes y al hecho de que el carbono que fue secuestrado durante los períodos previos se ha venido acumulando, la cantidad neta de carbono almacenado ha crecido significativamente durante los últimos años, alcanzando casi 6,3 millones de t métricas en 1997 (5,2 millo-



*El Gobierno de Costa Rica empezó a generar "Bonos de Carbono", con el apoyo del Banco Mundial y el Consejo de la Tierra de las Naciones Unidas.
(Foto: R. Jiménez)*

Resultados

En la columna 1 del Cuadro 2 se calcula el carbono adicional almacenado, o sea el carbono secuestrado durante ese año por el área existente de plantaciones forestales. El carbono secuestrado neto, no presentado en el cuadro, se obtiene sustrayéndole las cantidades de carbono que salen del sistema cada año (2). La cantidad total de carbono que ha permanecido

nes en el escenario pesimista). Sin embargo, la cantidad promedio anual de carbono almacenado en las plantaciones forestales de Costa Rica durante los últimos 20 años ha sido solamente 1,5 millones de t (1,25 millones en el escenario pesimista).

Obviamente, si las 142 590 ha ya establecidas se continúan manejando como plantaciones forestales durante los próximos 20 años, el promedio

anual de carbono almacenado en ellas será mucho más alto. Este se puede estimar usando el procedimiento antes resumido. Sin embargo, tienen que proyectarse los volúmenes a aprovechar a lo largo del tiempo. Para estimar estos volúmenes con más precisión, sería necesario conocer el "turno de cosecha" de las áreas plantadas cada año desde 1971.

Cuadro 2. Cantidad de carbono secuestrado por las plantaciones forestales en Costa Rica.

Año	Ha's	(1)	(2)	(3)
1985	8 723	67 167	0	233 410
1986	12 898	99 315	0	332 725
1987	18 201	140 148	0	472 872
1988	23 036	177 377	0	650 250
1989	28 036	215 877	0	866 127
1990	41 833	322 114	9 044	1 179 197
1991	57 393	441 926	33 620	1 587 503
1992	73 351	564 803	23 087	2 129 219
1993	87 981	677 454	75 124	2 731 548
1994	102 609	790 089	21 642	3 499 996
1995	128 590	990 143	84 822	4 405 317
1996	135 590	1 044 043	113 109*	5 336 251
1997	142 590	1 097 943	188 065*	6 246 129
Almacenamiento Promedio (20 años)		1 507 305		

(1) cantidad de carbono que sale del sistema cada año, (2) la cantidad neta de carbono almacenada durante cada uno de los años del estudio, (3) bajo el escenario realista.

* Proyecciones preliminares.

Nota: La cantidad neta de carbono secuestrado ((1)-(2)) no se presenta en el cuadro.

El Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (1994) reporta que, en 1990, un 41% de las áreas nuevas fueron sembradas con especies que tienen "turnos de cosecha" cortos (10-14 años, con un promedio de 12) 19% con especies que tienen "turnos de cosecha" medianos (16-20 años, con un promedio de 18) y 40% con especies que tienen "turnos de cosecha" largos (22-26 años, con un promedio de 24). Durante 1991, 1992 y 1993 dichos porcentajes cambiaron a (50, 11 y 39%), (47, 9 y 44%) y (75, 3 y 22%), lo cual resulta en un promedio de 53,25, 10,5 y 36,25% durante esos cuatro años, respectivamente. Por otra parte, para todas las áreas establecidas desde 1971 hasta 1995, los porcentajes son 40, 7 y 53% respectivamente.

Dicho Ministerio no ha publicado datos anuales detallados sobre el número de ha de cada especie establecidas antes de 1990 y después de 1993. Además, la proyección de los volúme-

nes a cosechar a través del tiempo se simplifica mucho si se asume que se ha plantado la misma mezcla relativa de especies (por lo menos con respecto a su "turno de cosecha") cada año. Por lo tanto, se asume una mezcla relativa constante de 45, 10 y 45% para los estimados de base de este estudio.

Entonces, se puede asumir que un 45% del área sembrada en 1971 será cosechada en 1983 y después en 1995, 2007, etc.; mientras que un 10% será cosechada en 1989, 2007, 2015, etc. y que el restante 45% será cosechada en 1995, 2019, 2043, etc. Repitiendo el proceso anterior para cada año hasta 1997 se puede obtener un programa hipotético de cosecha y, con base en este, estimar los volúmenes futuros a cosechar a lo largo del tiempo.

Según los resultados de los cálculos presentados en la Figura 1, si las 142 590 ha de plantaciones forestales existentes se mantienen por medio del replante en los mismos o diferentes sitios después de cosechar, se almacenaría un promedio anual de 9,8 millones de t métricas de carbono durante el periodo de veinte años desde 1998 hasta 2017 (8,1 en el escenario pesimista). Este promedio se estima en aproximadamente 9,7 (8,0) millones de t para los años 2018-2037, 9,4 (7,7) millones de t para los años 2038-2057 y 9,9 (8,2) millones de t para 2058-2077 (no mostrado en la Figura 1). Entonces, un promedio bastante estable de 9,7 millones de t de carbono quedarían almacenadas durante los próximos 80 años (8,0 en el escenario pesimista).

Para tener una idea del error potencial en que se puede inducir al asumir la mezcla relativa de especies (45, 10 y 45%) y su correspondiente "turno de cosecha", bajo el escenario realista se estima que una mezcla de partes iguales (33, 33, 33) almacenaría un promedio de 10,0 millones de t, relativamente similar al calculado anteriormente. Si, por otra parte, todas las especies plantadas tuvieran un "turno de cosecha" corto, mediano o largo, los correspondientes promedios serían 6,4; 9,8 y 13,0 millones de t. Como es de esperarse, los turnos largos a través del tiempo resultan en cantidades promedio de carbono almacenado que son considerablemente más altas. Estas cantidades son casi linealmente

proporcionales a la longitud del turno (12:18:24 = 6,4:9,8:13,0).

En realidad hay una alternativa teórica sencilla al método de estimación anterior, basada en el hecho de que las plantaciones forestales de Costa Rica secuestran un promedio de 7,7 t métricas de carbono por ha por año. Una ha de una especie con un "turno de cosecha" corto (12 años), alcanzaría un almacenamiento máximo de 92,4 t al final del año 12. En promedio entre los años 0 y 12 habrá almacenado 46,2 t de carbono. Por ende, 142 600 ha de esta especie en rotaciones permanentes deberían mantener un promedio de 6,6 millones de t de carbono almacenado.

Igualmente, una especie de "turno de cosecha" mediano (18 años) alcanzaría un almacenamiento máximo de 138,6 t, para un promedio de 69,3 t; mientras las especies con "turno de cosecha" largo (24 años) alcanzarían un almacenamiento máximo de 184,8 t para un promedio de 92,4 t. Entonces, 142 600 ha en rotaciones permanentes deberían mantener un promedio de 9,9 y 13,2 millones de t de carbono almacenado, respectivamente. Se demuestra la relación lineal entre la longitud del turno y la cantidad promedio anual de carbono almacenado, ya que $12:18:24 = 46,2:69,3:92,4 = 6,6:9,9:13,2$.

Si las 142 600 ha de plantaciones fueran establecidas durante el mismo año, con una mezcla relativa de especies con "turnos de cosecha" cortos, medianos y largos de 45, 10 y 45% respectivamente y mantenidas en producción forestal a largo plazo, la cantidad promedio de carbono almacenado permanentemente será:

$$142\ 600 \cdot 0,45 \cdot 46,2 + 142\ 600 \cdot 0,10 \cdot 69,3 + 142\ 600 \cdot 0,45 \cdot 92,4 = 9\ 882\ 180$$

o sea 9,9 millones de t (8,15 millones bajo el escenario pesimista).

La diferencia entre dicha cifra y el estimado anterior (de 9,7 millones de t) basado en cálculos más detallados, se debe a que las plantaciones forestales de Costa Rica no fueron establecidas todas en el mismo año, así como al plazo finito (80 años) asumido para obtenerlo. En casos como el de Costa Rica y cuando se desean estimados de corto plazo, como por ejemplo para períodos de 20 años, es mejor hacer

los cálculos más precisos de la forma inicialmente descrita. Además, estos son necesarios si las áreas de plantaciones están cambiando a través del tiempo, que es lo más común.

El valor potencial

Una vez estimada la cantidad promedio de carbono que se puede mantener almacenada permanentemente, el proceso de valoración es fácil, en concepto. El supuesto principal se refiere a las áreas que se mantendrán en producción forestal a largo plazo. En la práctica, sin embargo, la valoración se complica por el hecho de que todavía no existe un mercado abierto, líquido y estable para el secuestro y almacenamiento de carbono. Hasta ahora, solo un número limitado de compradores y vendedores han hecho transacciones, con un rango amplio de precios por t de carbono.

En Costa Rica, en los tres proyectos aprobados por la Iniciativa de los Estados Unidos sobre la Implementación Conjunta (USJI), se han establecido precios de entre US\$10 y US\$16 por t métrica de CO₂, equivalentes a US\$36,6 y US\$58,6 por t métrica de carbono secuestrado y almacenado permanentemente. Respecto a la demanda, Carranza (1996) cita estimaciones del costo del daño causado por cada t métrica adicional de CO₂ emitida a la atmósfera de entre US\$10 y US\$20 (o US\$36,7 y US\$73,2 por t métrica de carbono). Fankhauser y Tol (1995), estiman dicho costo en US\$20 por t de CO₂ (US\$73,2 por t de carbono) y predice que este incrementará a US\$28 (US\$102,5) para el año 2000.

Respecto a la oferta, Winjum *et al* (1993) señala que el costo de almacenar una t métrica de carbono por medio de las plantaciones forestales varía entre US\$31 en Argentina, US\$5 en Australia, US\$10 en Brasil, US\$11 en Canadá, US\$4 en México y US\$5 en los Estados Unidos. Cline (1992) estima que el costo es de US\$5 por t en las áreas tropicales y US\$20 en las áreas templadas de los países desarrollados. Los costos de control de emisiones de CO₂ en los países desarrollados se reportan entre US\$10 y US\$20 por t de carbono. Las cifras anteriores muestran el rango de precios que podrían esperarse por t de carbono se-

cuestrado y almacenado en forma permanente. Por ejemplo, si se utiliza el promedio de los precios ya negociados por el Gobierno de Costa Rica con el USJI (US\$47,6/ton), las 9,7 (8,0) millones de t de carbono que se han secuestrado y se pueden mantener permanentemente almacenadas en las 142 600 ha de plantaciones forestales ya establecidas tendrían un valor de US\$462 millones (US\$380 millones bajo el escenario pesimista). Este valor es un poco menor que el estimado cuando se usa el promedio del rango de los costos defensivos estimados por Carranza (1996).

cieros Ltda. ha sido autorizado para vender hasta 4 millones de t en la forma de CTO's, en la bolsa de valores de Chicago durante los próximos 20 años. Estos podrían generar hasta US\$80 millones si se venden al precio estimado de US\$20/ton (Oficina de Implementación Conjunta de Costa Rica, 1997, comunicación personal).

Un aspecto clave de estos CTO's es que solo comprometen al Gobierno de Costa Rica a mantener una cantidad específica de carbono almacenado por un período de 20 años. Bajo tales circunstancias, el valor del promedio de las 9,8 millones de t de carbono que

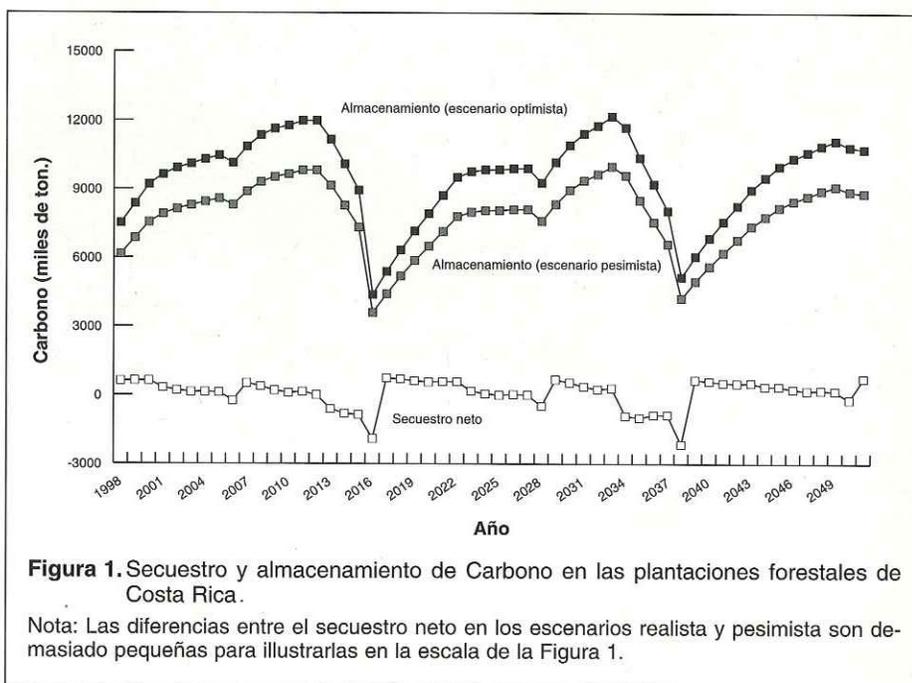


Figura 1. Secuestro y almacenamiento de Carbono en las plantaciones forestales de Costa Rica.

Nota: Las diferencias entre el secuestro neto en los escenarios realista y pesimista son demasiado pequeñas para ilustrarlas en la escala de la Figura 1.

En cuanto a la oferta, el costo promedio de almacenar una t métrica de carbono por medio de plantaciones forestales es de US\$11,5 (Winjum *et al* 1993, Cline 1992) que implicaría un valor mucho más bajo de US\$112 millones (US\$92 millones bajo el escenario pesimista). Si el precio se basa en el costo del control de emisiones, este valor solo se incrementa levemente.

Bonos de Carbono (CTO's)

El concepto de CTO (Certified Tradable Offsets) tiene el apoyo del Banco Mundial y el Consejo de la Tierra de las Naciones Unidas. El gobierno de Noruega ya ha comprado 200 000 t métricas en CTO's de carbono a Costa Rica, a un precio de US\$10 por t. El Centro de Productos Finan-

podrían mantenerse almacenadas en las 142 600 ha de plantaciones forestales existentes (de acuerdo con el escenario realista) sería de entre US\$98 y US\$196 millones por cada periodo de 20 años, o de entre US\$4,9 y US\$9,8 millones por año, equivalentes a US\$34,5 y US\$69 por ha/año.

Conclusiones y recomendaciones

Este estudio demuestra que el monitoreo y la valoración de por lo menos un servicio ambiental clave, el almacenamiento de carbono, es factible en el caso de las plantaciones forestales, utilizando los datos disponibles actualmente y métodos relativamente sencillos. Durante los últimos 20 años, las áreas de plantaciones forestales en Costa Rica, que han crecido rápida-

Se estima que una hectárea típica puede secuestrar anualmente un promedio de 28,2 toneladas métricas de CO₂ de la atmósfera.
(Foto: R. Jiménez).



mente, han mantenido un promedio anual de 1,5 millones de t métricas de carbono almacenado. Se estima que las 142 600 ha establecidas hasta 1997 podrían, en promedio, mantener 9,8 millones de t métricas de carbono almacenadas en forma permanente. Dados los términos de la iniciativa actual de los CTO's o "Bonos de Carbono" del Gobierno de Costa Rica, estos podrían tener un valor de entre US\$98 y US\$196 millones por cada período de 20 años, o de entre US\$4,9 y US\$9,8

millones por año, equivalentes a US\$3,5 y US\$69 por ha/año.

Si las áreas de plantaciones forestales de Costa Rica siguen creciendo como en el período analizado, las cifras anteriores serán mucho mayores. Estas podrían ser re-estimadas utilizando la metodología propuesta en el presente estudio. Por otra parte, los cálculos previos asumen implícitamente que una vez cosechadas las plantaciones, el carbono almacenado se libera de inmediato a la atmósfera

Literatura Citada

- BARRES, H. 1993. Carbon-fixing and timber production in tropical Klinki pine forest plantations, The Klinki Pine Project.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.; LUGO, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4): 881 - 902.
- BROWN, S.; LUGO, A.E. 1984. Biomass of tropical forests; A new estimate based on forest volumes, *Science* no.223: 1290-1293.
- CARRANZA, C.F. 1996. Valoración de los servicios ambientales de los bosques de Costa Rica, San José, C.R., Centro Científico Tropical/ODA-MINAE. 77 p.
- CLINE, W.R. 1992. The economics of global warming, Washington D.C. Institute for International Economics.
- FAETH, P.; CORT, CH. LIVERNASH, R. 1994. Evaluating the carbon sequestration benefits of forestry projects in developing countries. Washington D.C. World Resources Institute/U.S. Environmental Protection Agency. 96 p.
- FANKHAUSER, S.; TOL, R. 1995. Recent advancements in the economic assessment of climate change costs. Amsterdam. Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE) and Vrije Universiteit (CSERGE-Working Papers No.31).
- MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES, ENERGIA Y MINAS, C.R. 1994. Boletín Estadístico Forestal No. 5. San José, Costa Rica, DGF.
- MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES, ENERGIA Y MINAS, C.R. 1995. Estadísticas relevantes del sector forestal. San José, Costa Rica, DGF.
- SOLÓRZANO, R. 1991. La depreciación de los recursos naturales en Costa Rica y su relación con el sistema de cuentas nacionales. San José, Costa Rica, Centro Científico Tropical/World Resource Institute. 139 p.
- SCHROEDER, P.E.; DIXON, R.K. ; WINJUM, J.R. 1993. Ordenación forestal y agrosilvicultura para reducir el dióxido de carbono atmosférico. *Unasylva*. 44(173):52-60.
- THORANISORN, S.; SAHUNALU, P.; YODA, K. 1991. Litterfall and productivity of Eucalyptus camaldulensis in Thailand. *Journal of Tropical Ecology* 7(2):275 - 279.
- TORRES, G.; LUJÁN, R.; PINEDA, M. 1995. Diagnóstico técnico del proceso de producción forestal en plantaciones de pequeña escala en Costa Rica. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 105 p.
- WINJUM, J. K.; DIXON, R. K. ; SCHROEDER, P. E. 1993. Forest management and carbon storage; An analysis of 12 key forest nations. *Water, Air and Soil Pollution* no. 70: 239 - 257.

en la forma de CO₂. Es importante estimar "curvas de liberación" de CO₂ que predigan el porcentaje de este gas o su equivalente de carbono que será descargado anualmente a la atmósfera después de la cosecha, dados los procesos de aprovechamiento y procesamiento de la madera, la especie y sus usos más comunes en Costa Rica. Estas curvas harían posible una revisión ascendente de los estimados anteriores, que podría ser sustancial.

Finalmente, aunque la evaluación de los programas de incentivos al establecimiento de plantaciones forestales en Costa Rica no es uno de los objetivos del estudio, los resultados sugieren un punto interesante respecto a estos. Se demuestra que la cantidad promedio de carbono que se puede almacenar en forma permanente en una ha de plantación forestal es linealmente proporcional a la longitud del "turno de cosecha" de la especie plantada. Por consiguiente, si uno de los objetivos del programa es fomentar el almacenamiento de carbono, el valor de los incentivos otorgados debería de ser más alto para especies con "turnos de cosecha" más largos. Este no es el caso en los programas de incentivos vigentes en Costa Rica.

Octavio A. Ramírez
Department of Agricultural and
Applied Economics
Texas Tech University, Box 42132, Lub-
bock TX 79409-2132
Email: oramirez@ttu.edu

Manuel Gómez
Area de Socio-Economía Ambiental
CATIE 7170, Turrialba, Costa Rica
Tel (506) 556 6431
Email: mgomez@catie.ac.cr