

Implicaciones Económicas

del secuestro del CO₂ en bosques naturales

La actividad de manejo sostenible de los bosques naturales se torna más rentable que la alternativa de vender o transformar la tierra para uso ganadero o agrícola, tanto a corto como a largo plazo, bajo ciertas condiciones.

Octavio A. Ramírez, Lissette Rodríguez, Bryan Finegan, Manuel Gómez

Resumen

El aprovechamiento tradicional y el tratamiento de dosel superior se comportan de una manera muy parecida. El tratamiento de liberación presenta niveles de almacenamiento de carbono mucho más bajos incluso 60 años después del tratamiento, con un costo económico de aproximadamente US\$250/ha en relación con el aprovechamiento tradicional o dosel superior. El tratamiento de liberación presenta ventajas financieras por su mayor producción de maderas de alto valor durante el primer aprovechamiento. Sin embargo, ninguno de los tratamientos silviculturales pueden justificarse desde el punto de vista económico-ambiental, cuando se toma en cuenta el valor del servicio de almacenamiento de carbono; en el caso de liberación, por su fuerte efecto negativo sobre los niveles de almacenamiento de carbono a largo plazo; en el caso del dosel superior por su poco impacto sobre el valor comercial de los aprovechamientos. Por otro lado, el pago a los productores para el manejo sostenible de los bosques naturales que hace el gobierno de Costa Rica de US\$360/ha es muy bajo, incluso al solo compararlo con el valor económico del servicio ambiental de almacenamiento de carbono. Además, no parece ser suficiente para motivar el manejo sostenible del bosque a largo plazo.

Summary

The check and the upper canopy treatment behaved similarly. The liberation treatment presents much lower carbon storage levels, even after 60 years, which imply an economic cost of approximately US\$250/ha in comparison with the check or the canopy treatment. The liberation treatment shows a financial advantage due to a higher production of wood of high-value species during the first harvest. However, neither of the silvicultural treatments is justified from the environmental economics standpoint, when the value of the carbon storage service is considered. The liberation treatment is hindered by its strong negative impact on long-term carbon storage levels and the upper canopy treatment by its little effect on the commercial value of the harvested wood. The payment to farmers for the sustainable management of natural forests currently mandated by the Costa Rican Government, of US\$360/ha is too low, even when it is only compared to the economic value of the environmental service of carbon storage provided. It does not appear to be sufficient to motivate the sustainable management of natural forests in the long run.

Palabras clave: Análisis económico, aprovechamiento forestal, bosque natural, captura del carbono atmosférico, dióxido de carbono, servicios ambientales.



Los bosques son importantes para el ciclo global del carbono porque almacenan grandes cantidades de CO₂ en la vegetación y el suelo, a la vez que lo intercambian con la atmósfera mediante los procesos de fotosíntesis y respiración.

El mantenimiento de reservas de CO₂ en los bosques se ha convertido en un servicio ambiental reconocido a escala global, que puede tener un valor económico considerable para países en vías de desarrollo. Actualmente existen interrogantes sobre la magnitud de este servicio y su valor económico en el caso específico de los bosques tropicales. En el presente estudio se estima el secuestro de CO₂ en un bosque tropical muy húmedo bajo diferentes estrategias de intervención y manejo. Se discuten también sus implicaciones económicas.

Metodología

El estudio se realizó en el bosque primario aprovechado de la finca La Tirimbina, ubicada en la Virgen de Sarapiquí, en la vertiente Atlántica de Costa Rica. La región se clasifica ecológicamente como bosque muy húmedo tropical y bosque húmedo premontano transición a basal (Manta 1988, citado por Siteo 1992). La ubicación geográfica de la región es 84° 07' de longitud y 10° 25' de latitud Norte, con una altitud entre los 160 y 220 msnm (Delgado 1995). El clima es tropical muy húmedo con una temperatura promedio anual de 24,5 °C.

De las 80 ha de bosque primario de La Tirimbina, 29,16 ha se encuentran bajo experimentación silvícola, en un diseño de parcelas al azar con tres tratamientos y tres réplicas por

tratamiento. El área experimental consiste de 9 parcelas completas de 3,24 ha cada una, con fajas de amortiguamiento de 40 m de ancho, resultando en áreas de medición de una ha por parcela (Quirós y Finegan 1994). Los tratamientos consisten en tres modelos silviculturales: a) bosque con aprovechamiento; b) bosque con aprovechamiento y un tratamiento de dosel protector y c) bosque con aprovechamiento y mezcla de liberación y refinamiento parcial.

En el período 1989/1990 se realizó un aprovechamiento comercial en el área de manejo experimental, obteniendo la máxima cantidad de productos del bosque con el menor daño posible al suelo y a la masa remanente. En 1991 y 1992 se aplicaron los tratamientos silvícolas, buscando obtener las condiciones ideales en la masa remanente para lograr un mayor establecimiento e incremento futuro en la producción de especies de alto valor comercial (Quirós y Finegan 1994). Las mediciones anuales se iniciaron en 1990.

Estimación de carbono por ha de bosque: se calculó la biomasa total sobre la superficie. Para los primeros 6 años del análisis se utilizaron los datos de las mediciones en las diferentes unidades experimentales. Para los años 7-20, 21-40 y 40-60 se llevaron a cabo simulaciones de crecimiento del bosque dados los tratamientos silviculturales aplicados y asumiendo aprovechamientos en el año 20, 40 y 60, mediante el programa de Simulación de Rendimiento del Bosque Natural (SIRENA 2).

Con base en los datos recolectados (años 0 a 6) y simulados (años 7 a 60) de cada uno de los árboles individuales con un diámetro mayor o igual a 10 cm, se calcularon niveles de biomasa por ha para cada una de las unidades experimentales, mediante dos diferentes ecuaciones de regresión estimadas por otros autores (Brown *et al* 1989 y Brown 1997 com. pers.) para el caso específico de los bosques húmedos tropicales:

$$\text{Ecuación (1) } Y = 13.2579 - 4.8945(D) + 0.6713(D^2)$$

$$\text{Ecuación (2) } Y = 21.297022 - 6.952649(D) + 0.740300(D^2)$$

donde Y es la predicción de la biomasa seca total sobre el suelo en kilogra-

mos, para un árbol individual con un diámetro a la altura del pecho D.

Según el laboratorio de productos forestales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), el contenido de CO₂ para la mayoría de las especies forestales en Costa Rica es de entre 47 y 53% (Barrés 1993). Dada la biomasa total por ha, el contenido de CO₂ se calculó multiplicándola por 0,50.



Foto: R. Jiménez.

Estimación de costos y beneficios de la producción forestal: para determinar la rentabilidad financiera de los tratamientos silviculturales, que ignora el valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂, se utilizó la metodología de análisis de beneficio costo (ABC). Se calcularon dos de los indicadores más comunes que toman en consideración el efecto del tiempo sobre el valor del dinero, el Valor Actual Neto (VAN) y la relación Beneficio/Costo Actualizada (B/C-A). Los costos e ingresos se actualizaron utilizando tasas reales de descuento 5, 8 y 10%. Los rendimientos forestales desde el año 7 hasta el 60 también fueron simulados con SI-

RENA2, asumiendo turnos de aprovechamiento de 20 años.

La evaluación económico - ecológica toma en cuenta, además, el valor del servicio ambiental de almacenamiento de C, mediante un análisis financiero "expandido". Dicha evaluación también se basa en el ABC y los indicadores antes mencionados. Este es un análisis económico-ecológico parcial, ya que no se considera el va-

lor de otros posibles bienes y servicios ambientales del bosque, tales como conservación de la biodiversidad, protección de suelos, regulación hídrica, belleza escénica, recreación, entre otros.

Para los productos e insumos tradicionales del manejo forestal, se utilizaron los precios y costos unitarios financieros o de mercado (Oct. 1997) transformados a dólares estadounidenses según la tasa de cambio oficial del Banco Central de Costa Rica. El valor del CO₂ se fijó en US\$10 por tonelada que, en promedio, se mantiene almacenada durante un período de 20 años. Este es el precio acordado en las negociaciones de implementación

conjunta del Gobierno de Costa Rica (Ramírez y Gómez 1997).

Tanto para el análisis financiero como para el análisis económico-ecológico parcial se estimó el VAN y la relación B/C-A bajo dos diferentes circunstancias. Primero asumiendo que se hacen los tratamientos silviculturales (en los casos pertinentes), con un aprovechamiento 20 años después. Esta es una evaluación monopériódica o de corto plazo de la actividad de manejo forestal. En la segunda se asumió que se hace un primer aprovechamiento en el año 1, los tratamientos silviculturales en el año 2, en los casos pertinentes y luego aprovechamientos periódicos cada 20 años, al infinito. Esto es una evaluación multipériódica o a largo plazo de la actividad de manejo forestal. Para el análisis multipériódico se calcularon los VAN para los primeros tres ciclos (VAN1=2-20 años, VAN2=21-40 años y VAN3=41-60 años). Se asumió que los VAN de los ciclos posteriores serán iguales al VAN3, utilizando la bien conocida fórmula de Fausstmann:

Ecuación (3)

$$VANL = VAI + VAN1 + VAN2 / (1+i)T + VAN3 / \{(1+i)2T (1-e^{-iT})\}$$

Donde:

VANL = Valor actual neto del manejo forestal a largo plazo.

VAI = Valor del aprovechamiento inicial.

VAN1 = VAN del período de 2-20 años, que incluye el costo de los tratamientos silviculturales en el año 2.

VAN2 = VAN del período de 21-40 años.

VAN3 = VAN del período de 41-60 años.

i = Tasa de Descuento

T = Longitud de la rotación (20 años).

En la ecuación (3) el VAN2 se descuenta 20 años dividiendo por $(1+i)T$. El valor actual neto de un flujo periódico e infinito de ingresos cada 20 años en la magnitud del VAN3 se calcula dividiendo este por $(1-e^{-iT})$ y se descuenta del año 40 al 0 dividiendo por $(1+i)2T$. La ecuación (3) se utilizó por aparte para calcular primero el Valor Actual Neto a largo plazo del servicio ambiental de almacenamiento de C (VANLC) y luego el Valor Actual Neto financiero a largo plazo

(VANLF). La suma de ambos es el Valor Actual Neto económico-ecológico a largo plazo (VANLE).

Resultados y discusión

En el cuadro 1 se muestra la biomasa de las parcelas de aprovechamiento tradicional, tratamiento de liberación (1) y tratamiento de dosel superior (2) estimada con dos diferentes ecuaciones (1) y (2) a partir de datos reales (año 0-6) y simulados (año 7-60). Puede observarse que con ambas ecuaciones se obtienen resultados muy similares. Debido a esto, para fines del cálculo de la cantidad de CO₂ almacenado se trabajó con la ecuación (1).

Las parcelas con el tratamiento de liberación tenían una biomasa inicial promedio más alta de 174,79 t/ha vs. 158,35 en el aprovechamiento tradicional y 152,08 en el tratamiento de

dosel superior. El primer aprovechamiento (año 1) disminuye la biomasa promedio en cantidades más o menos similares. El aprovechamiento tradicional inicia la recuperación de biomasa de inmediato en el año 2, mientras que los tratamientos causan disminuciones adicionales de biomasa hasta el año 4 en el caso de liberación y hasta el año 3 en dosel superior.

Veinte años después del primer aprovechamiento, el aprovechamiento tradicional y el tratamiento de dosel llegan a niveles de biomasa muy superiores a los iniciales, con una diferencia casi idéntica a la original (6,27 vs. 7,91 t/ha). El tratamiento de liberación, en contraste, queda muy rezagado (168,88 ton/ha) y por debajo del nivel inicial. La ventaja de este último, sin embargo, parece ser financiera ya que permite un segundo aprovechamiento comercial mucho

Cuadro 1. Biomasa de las parcelas estimada con dos diferentes ecuaciones ((1) y (2)) a partir de datos reales (año 0-6) y simulados (año 7-60).

Año	Biomasa (t/ha) (ecuación 1)			Biomasa (t/ha) (ecuación 2)		
	Aprovechamiento tradicional	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Aprovechamiento tradicional	Tratamiento 1	Tratamiento 2
0*	158,35	174,79	152,08	155,55	170,20	149,19
1	142,56	160,98	140,04	140,49	156,90	137,64
2	146,24	130,95	--	143,90	127,86	--
3	147,47	127,76	138,22	145,11	124,81	135,36
4	151,73	121,44	137,85	149,26	118,84	134,50
5	156,57	--	143,77	154,08	--	140,45
6	173,15	128,12	155,58	168,54	125,36	151,99
7	164,15	128,65	153,39	167,04	130,27	154,65
8	166,68	136,60	155,88	169,60	138,51	157,38
9	166,92	139,23	157,14	169,94	141,83	158,91
10	169,53	143,40	160,20	172,58	145,69	162,13
11	173,20	145,69	163,21	176,17	148,27	165,36
12	174,88	148,98	165,63	177,93	151,87	167,99
13	177,89	153,33	167,03	180,93	156,35	169,63
14	178,24	154,78	169,54	181,39	158,03	172,27
15	179,68	158,20	171,49	182,92	161,62	174,42
16	177,95	162,30	174,91	181,31	164,91	177,82
17	183,15	164,42	177,22	186,43	168,16	180,36
18	185,10	167,05	180,85	188,34	170,77	183,98
19	189,67	168,88	181,76	192,71	172,67	184,92
20**	166,88	142,55	163,68	169,58	146,35	166,70
21	167,78	146,20	168,28	170,82	150,05	171,37
25	176,12	155,10	173,45	179,03	159,23	176,86
30	183,29	165,82	182,81	186,49	170,47	186,49
35	195,40	177,26	187,05	198,24	182,03	190,80
40**	176,06	169,30	178,81	179,06	173,73	182,29
45	184,40	173,35	182,31	187,07	177,65	185,73
50	189,23	185,30	192,44	191,99	189,30	195,70
55	187,81	187,81	196,68	191,61	191,61	199,78
60**	182,20	180,26	187,53	184,76	183,60	190,29
Prom	166,85	145,11	156,74	168,48	147,00	158,22

(1) tratamiento de liberación
(2) tratamiento de dosel superior

* Antes del aprovechamiento
** Aprovechamiento

mayor. Es interesante la tendencia a largo plazo, ya que las diferencias en los niveles de biomasa del aprovechamiento tradicional y los tratamientos van desapareciendo.

En el Cuadro 2 se presentan los promedios de almacenamiento de C (i.e. biomasa x 0,50) para el aprovechamiento tradicional y los dos tratamientos durante los tres ciclos de 20 años incluidos en el análisis, ajustados y no ajustados de acuerdo con las cantidades originales. Es claro que el tratamiento de liberación es bastante inferior al aprovechamiento tradicional, mientras que el de dosel es ligeramente superior, sobretodo a largo plazo. El valor económico del servicio de almacenamiento de carbono también se presenta en el Cuadro 2. Los VANLC se calculan usando la ecuación (3) y tomando en cuenta el actual esquema de pago por servicios ambientales de los bosques naturales estipulado por el Gobierno de Costa Rica (decreto 26976), es decir por adelantado un 50% el primer año, un 20% el segundo y un 10% en cada uno de los tres subsiguientes.

Es evidente que el monto actual de 94 000 colones/ha (US\$360), establecido en dicho decreto como pago por los servicios ambientales de bosques naturales bajo manejo sostenible, corresponde a menos de la mitad del valor económico de solo el servicio de secuestro de CO₂ durante el primer ciclo de 20 años y se reconoce que hay otros servicios ambientales pendientes de valorar. Por otra parte, en el Cuadro 2 se observa que el tratamiento de liberación conlleva un costo económico a largo plazo, reflejado por las diferencias en los correspondientes VANLC, de entre US\$220 y US\$280/ha (dependiendo de la tasa de descuento utilizada) por concepto de su menor almacenamiento promedio de C a lo largo del tiempo; costo que es prácticamente inexistente en el caso del tratamiento de dosel superior.

En el cuadro 3 se muestran los volúmenes extraídos por grupo de especies para el aprovechamiento tradicional y los otros dos tratamientos, los precios por m³ utilizados y los correspondientes ingresos brutos. Las especies del grupo 1 corresponden a los semi-duros clasificados y los semi-duros comunes, con un valor promedio de

Cuadro 2. Promedios de C almacenado y su valor económico para el aprovechamiento tradicional y los tratamientos de liberación y dosel superior.

Ciclo	Sin Ajustar						Ajustados a 80 t/ha en año 0					
	Aprovechamiento tradicional		Liberación		Dosel		Aprovechamiento tradicional		Liberación		Dosel	
	t/ha	US\$	t/ha	US\$	t/ha	US\$	t/ha	US\$	t/ha	US\$	t/ha	US\$
0-20 años	84,05	840,1	73,96	739,6	80,24	802,4	85,37	853,7	66,56	665,6	84,20	842,0
21-40 años	89,87	898,7	81,37	813,7	89,04	890,4	91,19	911,9	73,98	739,8	93,00	930,0
41-60 años	91,97	919,7	89,60	896,0	93,78	937,8	93,30	933,0	82,21	822,1	97,74	977,4
0-60 años	88,63	886,3	81,64	816,4	87,68	876,8	89,95	899,5	74,25	742,5	91,64	916,4
VANLC 5%	1 385,48		1 247,62		1 348,72		1 407,04		1 129,16		1 412,14	
VANLC 8%	1 085,96		965,86		1 047,52		1 103,16		871,74		1 097,90	
VANLC 10%	997,19		883,45		958,72		1 013,09		796,57		1 005,21	

Cuadro 3. Volúmenes extraídos por grupos de especies para el aprovechamiento tradicional y los dos tratamientos durante tres ciclos de producción, y su precio unitario y valor.

Año	Tratamiento	Grupo	Volumen extraído m ³ /ha	Precio por m ³ (US\$)	Ingreso Total (US\$)
20	Aprovechamiento tradicional	1	1,6	70,65	113,04
		2	-	-	-
		3	13,8	70,65	975,00
		4	2,4	39,57	94,95
20	Liberación	1	4,0	70,65	282,60
		2	7,4	93,43	691,41
		3	9,3	70,65	657,06
		4	0,9	39,57	35,60
20	Dosel	1	3,3	70,65	233,15
		2	-	-	-
		3	9,0	70,65	635,86
		4	1,0	39,57	39,56
40	Aprovechamiento tradicional	1	3,3	70,65	233,15
		2	1,7	93,43	158,83
		3	12,2	70,65	861,95
		4	2,2	39,57	87,04
40	Liberación	1	3,3	70,65	233,15
		2	1,8	93,43	168,18
		3	7,4	70,65	522,82
		4	1,9	39,57	75,17
40	Dosel	1	4,2	70,65	296,73
		2	2,5	93,43	250,97
		3	9,0	70,65	635,86
		4	1,0	39,57	39,56
60	Aprovechamiento tradicional	1	2,4	70,65	169,56
		2	0,6	93,43	56,06
		3	12,0	70,65	84,78
		4	2,2	39,57	87,04
60	Liberación	1	2,6	70,65	1 836,95
		2	0,3	93,43	28,03
		3	8,5	70,65	600,54
		4	1,2	39,57	47,47
60	Dosel	1	3,6	70,65	254,34
		2	1,0	93,43	93,43
		3	7,0	70,65	494,56
		4	2,1	39,57	83,08

US\$70,56 m³ de madera en troza en patio de la industria. El grupo 2 incluye especies de más alto valor comercial (promedio de US\$93,34 m³), sin embargo es escaso en la Tirimbina debido a las explotaciones selectivas realizadas en el pasado y la cantidad que se estima puede ser aprovechada en el futuro, es poca. El grupo 4 esta comprendido

por especies utilizadas para formaleta, que tienen un bajo valor comercial, en promedio de US\$39,57 m³ de madera en troza en patio de industria.

La Figura 1 muestra que al finalizar el primer ciclo (año 20) los rendimientos fueron mayores en el caso de liberación, sobretodo los de las especies más valiosas (grupo 2). Sin em-

bargo, el aprovechamiento tradicional produjo los mejores rendimientos comerciales totales en el año 40 y 60, seguido por el tratamiento de dosel. En conjunto para los tres ciclos el aprovechamiento tradicional fue también superior produciendo 54,4 m³/ha, vs. 48,6 y 43,7 en el caso de liberación y dosel. Excluyendo el grupo 3 de especies de muy bajo valor, los rendimientos fueron de 47,6; 44,6 y 39,6 m³/ha respectivamente, siempre superiores en el aprovechamiento tradicional.

En el Cuadro 4 se presenta el valor actual neto monopериодico (VAN1) y el financiero y económico-ecológico multiperiódico o a largo plazo (VANLF y VANLE) para el aprovechamiento tradicional y los tratamientos de liberación y dosel, bajo tres diferentes tasas reales de descuento; así como los VAN correspondientes al segundo y tercer ciclo de producción (VAN2 y VAN3) que son necesarios para el cálculo de estos últimos. Debido a que el aprovechamiento inicial

en 1989/1990 se hizo en conjunto para toda el área experimental (i.e. no se tomaron datos por parcela), el valor del aprovechamiento inicial (VAI) es similar para el aprovechamiento tradicional y los dos tratamientos y representa el promedio por ha obtenido de toda el área. Además, al ocurrir en el año 0 no se ve afectado por la tasa de descuento.

En el VAN1 el tratamiento de liberación es muy superior al aprovechamiento tradicional a cualquier tasa de descuento, mientras que el de dosel es notablemente inferior. Sin embargo, incluso a una baja tasa real de descuento de 5%, su VAN1 de US-\$430,64/ha se considera muy reducido en comparación con el posible valor de una ha de tierra de vocación forestal en Costa Rica. Por ejemplo, según el Boletín de Precios y otras Estadísticas del Sector Agroforestal (1993), la tierra bajo uso agrícola se renta, en promedio, en US\$74,14/ha-año. Asumiendo una tasa similar de retorno

real para la actividad de renta de tierras (i.e. 5%), lo anterior implicaría un valor de US\$74,14 / 0,05 = US\$1 482,80. La tierra de vocación forestal convertida al uso ganadero o agrícola debería, por supuesto, tener un valor inferior al promedio, quizás entre un 50 y un 75% de este, o sea US\$741,40 - 1 a 112,1/ha. El rango anterior coincide con reportes puntuales de precios de venta de tierras bajo uso forestal en diferentes regiones del país (Gómez 1998 com. pers.).

En la práctica, dependiendo del estado actual del bosque, puede obtenerse un aprovechamiento al inicio del período de manejo, que en este experimento alcanzó un valor de US-\$736,36/ha (VAI en el Cuadro 4). Tanto el aprovechamiento tradicional como los dos tratamientos presentan un valor actual neto (VAI+ VAN1) dentro o por encima del rango de valores de la tierra antes mencionado, hasta para la más alta tasa real de descuento de 10%. Esto los hace atractivos desde el punto de vista financiero, incluso con una perspectiva de producción forestal de corto plazo (i.e. 20 años), comparados con la alternativa de la venta de la tierra.

El problema con lo anterior es que el aprovechamiento inicial y el manejo sostenible para obtener una producción 20 años después son dos actividades completamente separables. Es decir, que si se le permite, el propietario puede decidir hacer un aprovechamiento de incluso mucho mayor valor y luego vender o convertir la tierra para uso ganadero o agrícola. Dados los altos costos de la tierra en Costa Rica, el manejo sostenible del bosque natural sin tomar en cuenta el valor de un posible aprovechamiento inicial, no es atractivo en el corto plazo ya que el valor de la tierra es mayor que el VAN1. Esta situación, sin embargo, puede cambiar en otros países Centroamericanos.

En el largo plazo los resultados de la evaluación no cambian demasiado. Además, es de esperarse que el propietario del bosque demande tasas de retorno a su inversión (i.e. tasas reales de descuento) más elevadas. Lo anterior debido a los riesgos y la incertidumbre adicionales en que se incurren al tener que esperar 40 o más años para recuperar parte de la inver-

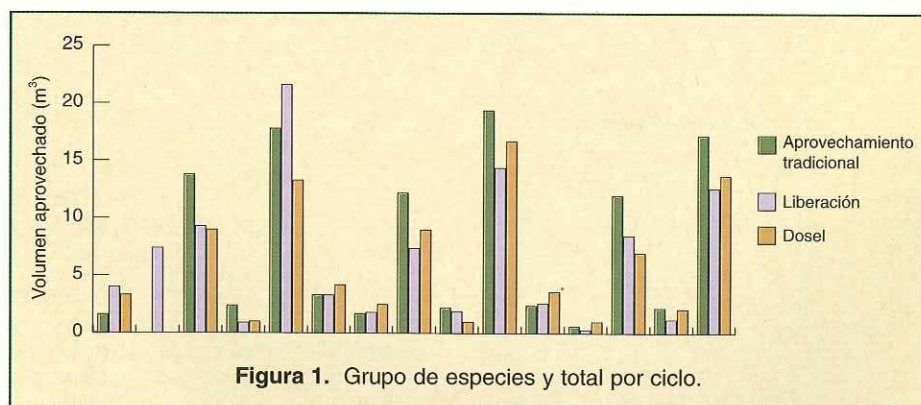


Figura 1. Grupo de especies y total por ciclo.

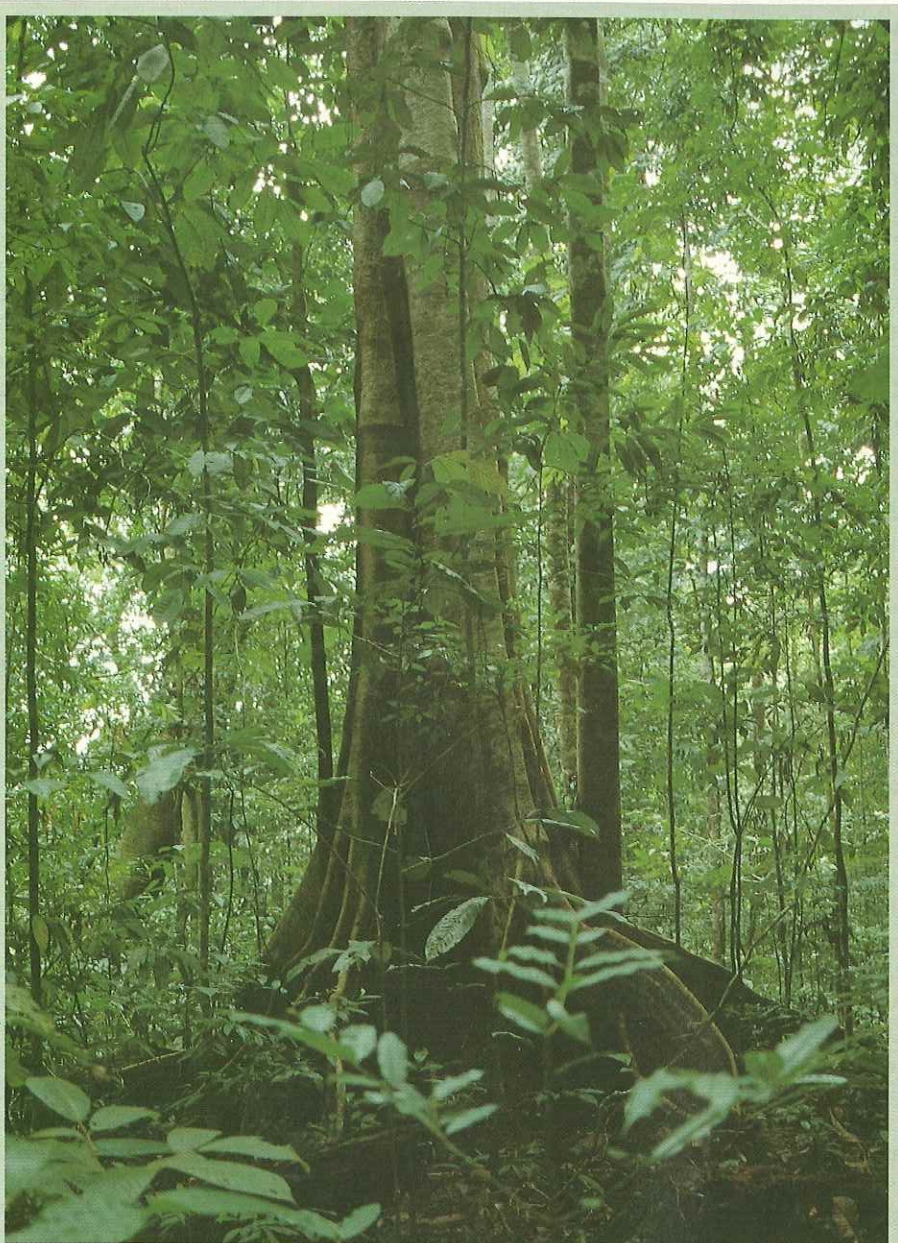
Cuadro 4. Valores VAN1, VANLF y VANLE para el aprovechamiento tradicional y los tratamientos de liberación y dosel, bajo tres diferentes tasas reales de descuento.

Tratamiento	Años	Tasa de Descuento		
		5%	8%	10%
Aprovechamiento tradicional	VAI	736,38	736,38	736,38
	VAN1 (2-20)	284,83	155,30	106,04
	VAN2 (21-40)	317,39	177,70	119,91
	VAN3 (41-60)	250,64	138,61	92,35
	VANLF	1 197,15	937,80	862,60
	VANLE	2 604,19	2 040,96	1 875,69
Liberación	VAI	736,38	736,38	736,38
	VAN1 (2-20)	430,64	238,43	156,91
	VAN2 (21-40)	178,96	104,26	68,09
	VAN3 (41-60)	140,49	74,09	46,83
	VANLF	1 266,03	1 001,46	904,61
	VANLE	2 395,19	1 873,20	1 701,18
Dosel	VAI	736,38	736,38	736,38
	VAN1 (2-20)	158,80	84,35	53,04
	VAN2 (21-40)	232,23	127,83	84,74
	VAN3 (41-60)	164,44	88,13	56,70
	VANLF	1 019,66	853,24	803,47
	VANLE	2 431,80	1 951,14	1 808,68

sión (i.e. el valor o costo de oportunidad inicial de la tierra y costos operativos del manejo sostenible del bosque). Entonces, es más apropiado trabajar con una tasa real de descuento de al menos 8 % en este caso.

El tratamiento de liberación también ofrece los mejores resultados financieros en el largo plazo, alcanzando un VANLF de US\$1 001,46. ($i=8\%$) vs. US\$937,80 para el aprovechamiento tradicional y US\$853,24 para dosel superior. Es claro que la mayor cantidad de madera de alto valor comercial producida por liberación en el año 20 compensa sus menores rendimientos en los dos aprovechamientos posteriores, aunque las diferencias en los VAN financieros a largo plazo son menores. Estos VANLF se ubican dentro del rango de costos de la tierra antes mencionado, pero sabemos que incluyen el VAI, que de hecho representa cuando menos el 75% de ellos. De nuevo, si no se toma en cuenta el VAI, la actividad de manejo sostenible del bosque natural tampoco parece ser atractiva en el largo plazo, en comparación con el valor o costo de oportunidad de la tierra en Costa Rica. En países donde dicho costo esté por debajo de US\$300/ha, sin embargo, si pudiese serlo.

Por otra parte, un resultado notable es que en el largo plazo, el valor económico del servicio ambiental de almacenamiento de carbono (dado por VANLE-VANLF) es, dependiendo del tratamiento, casi tan o más importante que el valor financiero de la madera cosechada en los aprovechamientos (VANLF). El pago efectivo por dichos servicios resultaría en valores actuales netos económico-ecológicos a largo plazo (VANLE) de US\$2 040,96, US\$1 873,20 y US\$1 951,14/ha ($i=8\%$) para el aprovechamiento tradicional y los tratamientos de dosel y liberación respectivamente. Incluso si como antes se excluye el VAI de US\$736,39/ha, se concluye que los pagos por secuestro de CO₂ según los mecanismos y montos antes especificados, lograrían hacer suficientemente atractiva la actividad de manejo sostenible de bosques naturales desde el punto de vista de los propietarios, con respecto a la alternativa de vender o transformar la tierra para otros usos.



El servicio de almacenamiento de CO₂ en los bosques tropicales plantea varias interrogantes sobre sus implicaciones económicas. (Foto: R. Jiménez).

Otro resultado interesante es que cuando se toma en cuenta el valor del CO₂ almacenado, el aprovechamiento tradicional se convierte en el tratamiento económicamente más recomendable, mientras que el de liberación debido a la gran pérdida de biomasa inicial que lo caracteriza (y que solo se recupera muy gradualmente) pasa de ser el mejor tratamiento a tener el VANLE más bajo, 15% inferior al del aprovechamiento tradicional cuando se excluye el VAI. También con respecto al VANLE, la ligera ventaja del aprovechamiento tradicional con respecto al tratamien-

to de dosel superior es más que todo financiera, ya que el valor económico del CO₂ almacenado por ambos a lo largo del tiempo es bastante similar.

Conclusiones y recomendaciones

En las parcelas de aprovechamiento tradicional y las de dosel superior la biomasa y por lo tanto el nivel de secuestro de CO₂ aumenta significativamente durante el primer ciclo, cerca de un 20%. Lo contrario ocurre en las parcelas del tratamiento de liberación, donde disminuye en un 3,4%. Después de tres aprovechamientos el aprovechamiento tradicional mantie-

ne un aumento de 15% respecto a su nivel de biomasa inicial, dosel superior un 23% y liberación tan solo un 3%. Se concluye que en términos de almacenamiento de C el aprovechamiento tradicional y el tratamiento de dosel superior se comportan de una manera muy parecida durante los primeros dos ciclos (40 años), pero dosel empieza a superar al aprovechamiento tradicional durante el tercero. Sin embargo, debido al efecto detrimental de la tasa de descuento sobre el valor del dinero en el futuro lejano, esto último no resulta en una diferencia importante en el valor económico de dicho servicio ambiental en un escenario de producción a largo plazo.

En contraste, los mucho más bajos niveles de almacenamiento de C a lo largo del tiempo asociados con liberación, que aún se manifiestan 60 años después del tratamiento, tienen un costo económico de alrededor de US-\$250/ha en relación con el aprovechamiento tradicional o dosel superior.

Por otra parte, el tratamiento de liberación presenta ventajas financieras tanto a corto como a largo plazo, sobretodo debidas a su mayor producción de maderas de alto valor durante el primer aprovechamiento. Por lo tanto, si el servicio de secuestro de CO₂ no se paga al productor, o si se paga a una tasa fija por ha que es independiente del esquema de manejo adoptado y los niveles de almacenamiento resultantes a lo largo del tiempo (como ocurre actualmente en Costa Rica), el propietario del bosque debería de preferir este tratamiento.

Sin embargo, la diferencia entre el VANLE para el aprovechamiento tradicional y el VANLE para liberación indica que lo anterior resultaría en una pérdida económica neta para la sociedad de entre US\$175 y US-\$300/ha dependiendo de la tasa real de descuento aplicable, que representa cientos de millones de dólares cuando se considera la totalidad de la masa forestal existente, incluso en un país tan pequeño como Costa Rica. Desde el punto de vista económico-ambiental o social, el aprovechamiento tradicional es la alternativa preferida para el manejo sostenible de los bosques naturales y debería ser la favorecida por el productor si se logra pagar correctamente por el servicio ambiental

de almacenamiento de carbono. Ninguno de los tratamientos silviculturales investigados se justifica desde este punto de vista; en el caso de liberación por su efecto negativo sobre la biomasa y el caso de dosel superior por su poco impacto sobre el valor comercial de los aprovechamientos.

El actual monto de pago a los productores para el manejo sostenible de sus bosques - US\$360/ha - es muy bajo, incluso si se compara con el valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂. Además, no parece ser suficiente para motivar la actividad a largo plazo, pues US\$360/ha+VAN1 es menos que el valor estimado de la tierra tanto en el caso del aprovechamiento tradicional como en el de los dos tratamientos. El mecanismo de pago por adelantado durante los primeros cinco años del contrato, que tiene una duración de 20 años, es preocupante. A menos que se de seguimiento y se tomen las acciones legales necesarias para asegurar el cumplimiento de los contratos, la alternativa más rentable es acogerse al incentivo, hacer un aprovechamiento inicial técnicamente apropiado y, cinco años después, cambiar el uso de la tierra.

Finalmente, dados los precios por t utilizados en este estudio, solamente si el valor del servicio ambiental de secuestro de CO₂ se transfiere en su mayoría al productor, la actividad de manejo sostenible de los bosques naturales se torna más rentable que la alternativa de vender o transformar la

tierra para uso ganadero o agrícola, tanto en el corto como en el largo plazo. Sin embargo, es necesario tener mucho cuidado con el mecanismo de compensación, ya que si puede establecerse credibilidad entre los propietarios de bosques respecto al cumplimiento de los acuerdos de pago, sería preferible distribuir estos uniformemente a lo largo de los 20 años del ciclo de producción forestal, por supuesto ajustándolos todos los años para evitar el impacto detrimental de la inflación.

Octavio A. Ramírez
Profesor Asociado,
Área de Economía Agrícola y Aplicada
Texas Tech University,
Box 42132,
Lubbock TX 79409-2132
Email: oramirez@ttu.edu

Lissette Rodríguez
Asistente
Estudiante de Maestría en Economía y
Sociología Ambiental de la Producción y
Conservación CATIE,
Promoción 1996-97

Bryan Finegan
Profesor, Departamento de Manejo y
Conservación de Bosques y Biodiversidad
CATIE 7170
Turrialba, Costa Rica
Email: bfinegan@catie.ac.cr

Manuel Gómez, Investigador
Área de Economía y Sociología
CATIE 7170
Turrialba, Costa Rica
Email: mgomez@catie.ac.cr

Literatura Citada

- BROWN, S.; GILLESPIE, J. R.; LUGO, A. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4): 881-902.
- BROWN, S.; LUGO, A. E. 1992. Aboveground biomass estimates for humid tropical forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17(1): 8-26.
- BROWN, S. 1996. Papel actual y potencial de los bosques en el debate mundial sobre el cambio climático. *Unasylva* 47 (185):2 - 10
- BARRES, H. 1993. Carbon-fixing and timber production in tropical klinki pine forest plantations. Costa Rica. S.P.The Klinki Pine Project.
- DELGADO, D. 1995. Efectos en la riqueza, composición y diversidad florística producidos por el manejo silvícola de un bosque húmedo tropical de tierras bajas en Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 97 p.
- DIXON, R.K.; *et al* 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263:185 - 190
- FINEGAN, B.; GUILLEN, L.; QUIROS, D. 1993. Guía de las acciones en el área demostrativa de la finca Tirimbina, cantón de Sarapiquí, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido, Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales. 22 p.
- QUIROS, D.; FINEGAN, B. 1994. Manejo sustentable de un bosque natural tropical en Costa Rica: definición de un plan operacional y resultados de su aplicación. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 225. 25 p.
- RAMIREZ, O. A.; GOMEZ, M. 1997. Valuing the contribution of plantation forestry to the national accounts of Costa Rica from the ecological economics perspective. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 24p.
- RODRIGUEZ, L. 1993. Implicaciones económicas del almacenamiento de CO₂ en un bosque tropical húmedo de Costa Rica, bajo diferentes estrategias de intervención. Tesis de Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 98p.
- SITOE, A. 1992. Crecimiento diamétrico de especies maderables en un bosque húmedo tropical bajo diferentes intensidades de intervención. Tesis de Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 119 p.