



Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci). EISSN: 2215-3896.

Junio, 2000. Vol 18(1): 37-59.

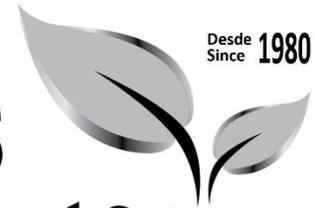
DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/rca.18-1.5>

URL: [www.revistas.una.ac.cr/ambientales](http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales)

EMAIL: [revista.ambientales@una.cr](mailto:revista.ambientales@una.cr)

Marco Otárola Marielos Alfaro

# Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences



## Sistemas de compensación de servicios ambientales para los robldales de la Cordillera de Talamanca

Compensation systems for environmental services for the Cordillera de Talamanca  
robldales

*Marco Otárola, Isabel Venegas, Marielos Alfaro*



Los artículos publicados se distribuyen bajo una Creative Commons Reconocimiento al autor-No comercial-Compartir igual 4.0 Internacional (CC BY NC SA 4.0 Internacional) basada en una obra en <http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales>, lo que implica la posibilidad de que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar y distribuir la versión final aprobada y publicada (*post print*) del artículo, siempre y cuando se realice sin fines comerciales y se mencione la fuente y autoría de la obra.

# SISTEMA DE COMPENSACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES PARA LOS ROBLEDALES DE LA CORDILLERA DE TALAMANCA

Por Marco Otárola, Isabel Venegas y Marielos Alfaro

Se caracterizan los servicios ambientales (SA), se jerarquizan según su importancia relativa en el ecosistema y se propone un sistema de compensación por los SA que brindan los robledales de la Cordillera de Talamanca, en la Reserva Forestal Río Macho. Se determina que allí la protección del recurso hídrico es el SA más importante, que las condiciones evolutivas (bosques primarios y secundarios) y de uso (preservación o manejo) no afectan significativamente los beneficios del SA y que debido a las relaciones y traslapes existentes en el origen y funcionamiento de los SA no es posible la valoración de ellos por separado. Usando el método de costo de oportunidad como estimador del monto de compensación por SA se propone un rango de montos en robledales, y se estima el monto de internalización de beneficios para bosques privados, tanto en los de preservación como en los manejados (montos superiores a los pagados ahora por el estado por esos mismos conceptos). El sistema de compensación para robledales que se propone es basado en la internalización de los beneficios recibidos por los usuarios; se establecen pagos diferenciados en concordancia con las distintas magnitudes relativas de los SA según la diversidad de ecosistemas.

*The environmental services (ES) were characterized, and their hierarchization regarding their relative importance in the ecosystem, and it is proposed a compensation system for the oak forests of the Talamancan Mountain Range in the Rio Macho Forest Reserve. As a result of this process, it was found that the most important ES was the protection of hydric, also that the conditions (primary and secondary forests) of evolution and management (preservation vs. production) do not significantly affect the ES benefits. Furthermore due to the existing relationships and overlaps in the origin and functioning of the ES, separate evaluation is impossible. The methodology of opportunity costs was chosen to estimate the amounts of compensation by ES resulting in a range of amounts. The benefits' internalization of private forests was estimated for preservation forests and for managed forest. These quantities are higher than the payments for the ES granted to the owners of forests by the government for preservation and for management. The compensation system proposed for oakforests is based in the internalization of the benefits received by the users. The establishment of differentiated payment was recommended, due to the ecosystems' diversification, following the differences in the relative amounts of ES involved.*

Los autores son ingenieros forestales. Marielos Alfaro además es profesora de la Universidad Nacional y presidenta de la Cámara Costarricense Forestal.

**L**a conservación y manejo de los bosques naturales, y el establecimiento de plantaciones forestales, son actividades generadoras de beneficios ambientales a la sociedad costarricense y a la comunidad internacional que es necesario cuantificar y valorar con el objetivo de que los beneficiarios compensen justamente a los dueños de esos recursos. Este proceso de internalización es importante porque contribuye a darle mayor valor al bosque y a cambiar el concepto que se tiene de éste como simple productor de madera.

Para algunos de los servicios ambientales (SA) que prestan los ecosistemas forestales Costa Rica ha desarrollado un sistema de compensación que se encuentra claramente establecido en la Ley Forestal N° 7.575 (de 1996), su reglamento y decretos conexos; y existe la estructura administrativa para su ejecución. Este esquema de compensación contempla cuatro SA: protección del recurso hídrico, fijación y almacenamiento de carbono, protección de la biodiversidad y protección de belleza escénica, los cuales están reconocidos en el artículo 3, inciso k, de la mencionada ley. Sin embargo, a pesar de la existencia de un marco legal, no se cuenta aún con una metodología de fácil aplicación que permita estimar montos de pago por estos servicios, acordes con los beneficios que generan. El mecanismo de establecimiento de montos y el monto a pagar no reflejan ni la importancia relativa de esos servicios en cada ecosistema en particular ni tampoco el valor de los SA en la gran gama de ecosistemas que tiene el país.

El presente estudio se realizó con el fin de apoyar al ente administrador del sistema de SA poniendo a su disposición una propuesta de compensación de SA -centrada en un caso: los robledales de la Reserva Forestal Río Macho (RFRM)- en la que se define aspectos primordiales para la toma de decisiones para una aplicación a escala nacional. El frágil ecosistema objeto de estudio fue seleccionado debido a que se destaca por una serie de características asociadas a la prestación de valiosos SA: gran productor y protector de fuentes de agua, alta capacidad como sumidero de carbono, paraje importante para el turismo por su exuberante belleza escénica y santuario de especies valiosas de flora y fauna.

### Metodología

Este estudio empezó describiendo el ecosistema de robledales y determinando conceptualmente el funcionamiento de los SA valiéndose, para ello, de una revisión bibliográfica exhaus-

tiva y de la realización de entrevistas a 22 expertos de diferentes ramas que realizan trabajos en el área de cada SA. Con ayuda de ellos se jerarquizó los SA con el fin de determinar la importancia relativa de cada uno de éstos en el ecosistema de robledales. Posteriormente se estimaron los montos de compensación de SA, se determinaron las fuentes de recursos para el mismo y se desarrollaron otros aspectos para la elaboración de la propuesta del sistema de compensación de SA para robledales. Finalmente se establecieron los principales lineamientos a seguir para establecer una propuesta nacional de SA.

El área de estudio comprendió la zona boscosa con dominancia de robledales (*Quercus*) de la Reserva Forestal Río Macho (RFRM), en la Cordillera de Talamanca (localizada entre los 2.400 y 3.200 msnm). Su área es estimada en 28.097 Ha. (40,4% del área total de la RFRM), de las cuales aproximadamente un 1% corresponde a bosques secundarios. La información específica sobre estos ecosistemas ha sido generada en las estaciones experimentales de Villa Mills-Siberia, perteneciente al Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales (Catie-Cosude), y al Proyecto Ecología y Manejo de la Vegetación de Montañas Altas en Costa Rica (Ecoma) de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional.

## Caracterización de los SA

### Servicio de protección del recurso hídrico

El estudio de cualquier variable o componente del balance hidrológico de un área debería tomar como unidad de estudio la *cuenca* (subcuenca o microcuenca), ya que otras unidades de referencia que no estén basadas en límites físicos no brindan resultados satisfactorios al ser extrapolados a áreas mayores. En esta vía, nuestro análisis del servicio de protección del recurso hídrico se está evaluando a nivel de cuenca y no a nivel de ecosistema boscoso.

### El papel del bosque en el balance hídrico de una cuenca

La presencia del bosque cumple una función primordial en el balance hídrico de una cuenca, pues modifica la magnitud en el tiempo y el espacio de algunos de los procesos que se dan dentro de ella (véase cuadro 1). Los componentes del ciclo hidrológico se alteran sólo en términos de regularidad al modificarse alguno de los componentes del mismo, como la cobertura.

Cuadro 1

**Intervención de los ecosistemas boscosos en diferentes procesos dentro del balance hídrico de una cuenca**

Proceso	Efecto	Servicio ambiental
Intercepción y escurrimiento de la precipitación por la vegetación	Disminuye la velocidad de llegada de agua al suelo, favoreciendo la infiltración	Disminuye la tasa de escorrentía superficial, el riesgo de erosión y la frecuencia de crecidas por lluvias de baja intensidad y corta duración
Profundidad del sistema radical y capa de materia orgánica del suelo	Favorece la infiltración y percolación <sup>1</sup>	Idem.
Mayor evapotranspiración que en terrenos con otras coberturas	Reduce la cantidad neta de agua que llega al suelo mineral; puede evitar además la saturación del suelo	Afecta el rendimiento hídrico; disminuye la tasa de escorrentía superficial y el riesgo de erosión y producción de sedimentos
Condensan la humedad contenida en la neblina (intercepción horizontal)	Contribuyen al aumento de la precipitación neta	En época seca puede influir en el mayor rendimiento hídrico de una cuenca
Desarrollan diversos microclimas, interna y externamente	Dependerá de la condición topográfica, el relieve y la disposición de los árboles	Dependerá del efecto producido en los procesos hidrológicos de la cuenca

Fuente: elaboración propia

**Rendimiento hídrico de la cuenca (producción de agua en la cuenca)**

Estudios realizados en cuencas (mayormente de zonas templadas) indican una relación muy consistente entre remoción de cobertura boscosa y aumento en el flujo de agua, al igual que entre reforestación y disminución del flujo de agua (Bosch y Hewlett, 1982, citado por Bruijnzeel, 1990). La producción de agua en una cuenca con bosque es menor que bajo otras coberturas debido a una mayor tasa de evapotranspiración<sup>2</sup> (Et) de los bosques y a las pérdidas ocurridas por intercepción vertical<sup>3</sup> (Iv) de copas. La combinación de factores como mayor humedad en el suelo, mayor índice de área foliar y un sistema radical profundo, provoca que bajo iguales condiciones ambientales, el bosque utilice mayor cantidad de agua (Calder, 1992, citado por Mourraille *et al.*, 1995).

En bosques de altura la menor radiación solar disminuye la tasa de Et anual aumentando la disponibilidad de agua para la recarga del acuífero. Asimismo, el manejo del bosque con técnicas mejoradas podría aumentar la producción de agua de una cuenca (siempre que no se alteren significativamente las características del bosque que determinan su capacidad de infiltración), ya que reduce las pérdidas por Iv y Et.

**El efecto de la intercepción horizontal en bosques nubosos**

La vegetación que crece en áreas sujetas a nubes o neblinas frecuentes es capaz de capturar humedad atmosférica a través del proceso de *intercepción horizontal*<sup>4</sup> (Ih) (Bruijnzeel, 1990), proceso que puede sobrepasar las pérdidas por transpiración en comparación con formaciones vegetales más bajas (Hamilton y Pearce, 1986; Calder, 1992, citado por Mourraille *et al.*, 1995). En opinión de cinco de los siete hidrólogos consultados, el proceso de Ih en los bosques nubosos podría aportar la suficiente agua como para incrementar sustancialmente la recarga del acuífero, lo cual, sin embargo, no siempre ocurre debido a que mucha agua se mueve en drenajes superficiales y sub-superficiales y sigue diferentes rutas en el suelo (emerge en los cauces o se pierde por evapotranspiración). Además, la tasa de recarga depende también del tipo de acuífero, de la topografía y de la geología del lugar.

La Ih sucede principalmente durante la estación menos lluviosa, por lo que se ha mencionado que aumenta o mantiene la producción de agua de la cuenca en la época seca, lo cual no es necesariamente cierto, ya que el aporte adicional de agua (o gran parte de él) en dicha época es transpirada por la vegetación, sin posibilidad de percolar.

### Régimen hídrico

Los resultados de varias investigaciones en cuencas experimentales alrededor del mundo, incluyendo el trópico húmedo, muestran evidencia de que las cuencas cubiertas por bosques mantienen la variabilidad natural del régimen hídrico debido a: (1) una alta tasa de infiltración y bajas tasas de escorrentía superficial -producto de la presencia del mantillo forestal, la acumulación de materia orgánica en el suelo y la presencia de un sistema radicular profundo que crea canales por donde el agua percola-, y (2) a que el suelo forestal puede actuar como una esponja o medio de retención temporal de agua que se va liberando en forma gradual y equitativa, a diferencia del suelo bajo otras coberturas que la libera en un momento (por esta razón los hidrogramas de cuencas de igual tamaño con bosque presentan picos de menor magnitud y son más regulares).

### Flujos máximos

Diversos autores reportan que, con frecuencia, la tala del bosque conduce a volúmenes más grandes, flujos máximos más altos y más tempranos (Hamilton y King, 1983, citados por Bruijnzeel, 1990). Por esto, sugieren que el mantenimiento de la cobertura boscosa puede ser una garantía importante contra crecidas repentinas (en eventos de poca magnitud o períodos de retorno cortos), aunque esto no prueba que las crecidas, en general, estén relacionadas con los cambios de la cobertura boscosa. Ésta influye durante los primeros momentos de una tormenta, por el proceso de Iv (permite una infiltración por más tiempo, favoreciendo la capacidad de percolación), pero dependerá también del grado de cobertura boscosa y de la ubicación del bosque dentro de la cuenca<sup>5</sup>. Sin embargo, para eventos de gran magnitud el bosque no tiene un papel determinante en la prevención de crecidas, pues éstas sobrepasan el límite de almacenamiento y retención de la cuenca (Calvo, 1998. *Com. Pers.*).

### Erosión y sedimentación: relación con la calidad del agua

Muchos estudios realizados en bosques tropicales y subtropicales muestran claramente que la erosión es mínima en ecosistemas donde la superficie del suelo está protegida por un mantillo bien desarrollado o un estrato herbáceo. Las tasas de erosión pueden aumentar drásticamente cuando el mantillo es removido. Los bosques tropicales naturales son ecosistemas que por definición mantienen una baja tasa de erosión y sedimentación debido a su alta capacidad de infiltración (manteniendo una baja ta-

sa de escorrentía superficial) y a la presencia de sotobosque y un mantillo bien desarrollado. Asimismo, el bosque previene la erosión en masa debido a su influencia en la estabilidad de laderas por el mecanismo de amarre del suelo con las raíces y al mantener éste en condiciones de humedad menores que otras coberturas (Ziemer, 1981, citado por Bruijnzeel, 1990).

La presencia o ausencia de una cobertura vegetal que proteja el suelo determina en gran medida los montos de sedimentos generados por erosión superficial. Sin embargo, un factor importante a considerar en la producción de sedimentos es la intensidad y duración de las tormentas, pues tan sólo un evento extremo puede cambiar completamente el balance de sedimentos de un área (Bruijnzeel, 1990).

La calidad del agua está en función de su uso. Cada uso requiere diferentes estándares, y el bosque cumple con el papel de mantener la calidad (física, química y bacteriológica) *natural* del agua. Así, si un río nace en las faldas de un volcán y arrastra cantidades elevadas de azufre u otras partículas que hacen a sus aguas inaceptables para un uso específico, la presencia de un bosque no implicaría un cambio en la composición del agua que la hiciera apta para tal uso.

### Síntesis de la caracterización del servicio de protección del recurso hídrico

La cobertura boscosa interviene en muchos de los procesos hidrológicos que se dan dentro de una cuenca, pero cumple dos papeles primordiales: mantiene la variabilidad natural del régimen hídrico durante el año (cantidad de agua), asegurando la mejor distribución del agua y mitigando la frecuencia de crecidas por lluvias de baja intensidad y corta duración, y disminuye la tasa de escorrentía superficial, manteniendo una baja tasa de erosión y sedimentación (calidad del agua), debido a su alta capacidad de infiltración y a la presencia de sotobosque y un mantillo bien desarrollado.

Los efectos del bosque sobre el mantenimiento de la variabilidad natural del régimen hídrico, la prevención de crecidas frecuentes y las bajas tasas de erosión y sedimentación en una cuenca, pueden ser realizados por otras coberturas en similar medida. Plantaciones forestales, coberturas bajas o pastos perennes en combinación con árboles de sombra, desarrollados bajo un manejo adecuado, de bajo impacto y en terrenos aptos para ellos, podrían cumplir el mismo efecto, siempre y cuando mantuvieran las condiciones adecuadas de infiltración y de cobertura del suelo, permitiendo el retardo del flujo superficial.

El manejo del bosque bajo criterios de ma-



nejo sostenible no debiera considerarse como una actividad que vaya en detrimento de la capacidad del bosque de mantener los procesos hidrológicos. Los impactos producidos sobre estos procesos por las labores silviculturales controladas son de carácter temporal y de magnitud mínima (Stadmüller, 1994).

De acuerdo con los conceptos analizados anteriormente y al análisis de las entrevistas a los hidrólogos, se llega al consenso de que la cobertura boscosa es la más indicada para hacer un balance entre la calidad y cantidad de agua producida por una cuenca. Sin embargo, en zonas desprovistas de la cobertura boscosa original podrían promoverse usos del suelo que mantengan una cobertura permanente del suelo, siempre que se manejen adecuadamente.

### **Servicio de fijación y almacenamiento de carbono**

#### **Origen y fuentes del efecto invernadero**

El efecto invernadero es un fenómeno natural producido por ciertos gases que están presentes en la atmósfera (gases de efecto invernadero o Gei) y que son los responsables de mantener el planeta a una temperatura apta para el mantenimiento de la vida. Los Gei son: vapor de agua ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), ozono estratosférico ( $O_3$ ), mo-

nóxido de carbono ( $CO$ ), clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarburos ( $HFC_s$ ), hexafluoruros de azufre ( $SF_6$ ) y perfluorocarburos ( $PFC_s$ ) (Andrasko, 1990; Fernández, 1991). La emisión natural de Gei es relativamente constante desde hace miles de años (Andrasko, 1990).

Las actividades del hombre están causando el aumento considerable de la emanación de Gei. Entre los procesos antropogénicos de emanación se encuentran: (1) uso de combustibles fósiles para generación de energía ( $CO_2$ ,  $CO$ ), (2) deforestación (casi siempre mediante quemaduras) para cambiar el uso del suelo ( $CO_2$ ), (3) combustión de madera y carbón vegetal como fuentes de energía ( $CO_2$ ) y (4) emisiones industriales (por quema de combustible), que intervienen indirectamente en el clima, alterando el albedo de las nubes (Jones y Wigley, 1990).

Existe una preocupación mundial en torno a que la acumulación excesiva de Gei ocasionará un calentamiento de la atmósfera al elevarse la temperatura media terrestre (Jones y Wigley, 1990). La posición mayoritaria de la comunidad científica apunta a que el calentamiento será inminente y, aun cuando sea leve, producirá efectos globales de gran magnitud, afectando la economía y el ambiente en forma severa. Los datos climáticos recogidos a lo largo del último siglo revelan un aumento neto de la temperatura media atmosférica entre 0,3 a 0,8° C.

El  $CO_2$  es el Gei que se emite en mayor can-

tividad. Se calcula que en 1988 las emanaciones antropogénicas de  $\text{CO}_2$  ascendieron a cerca de 6 mil millones de tm, de las cuales alrededor del 75% procedían de países industrializados y el 25% restante de países en desarrollo (Andrasko, 1990). Estimaciones realizadas a nivel mundial por medio de ordenadores pronostican que hacia la mitad del próximo siglo se duplicaría la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, pudiendo ocasionar aumentos de temperatura media anual de entre 2,8 y 5,2° C, y aumentos de precipitación de entre 7,1 y 15,8%.

#### El papel de los bosques en el ciclo global de carbono

Los bosques desempeñan un papel primordial en el ciclo global del carbono debido a que almacenan grandes cantidades de ese gas en la vegetación y el suelo y lo intercambian con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración (Brown, 1997). En términos generales, los ecosistemas forestales conservan de 20 a 100 veces más carbono por unidad de área que los ecosistemas agrícolas. Los bosques tropicales contienen alrededor del 52% de las reservas de carbono de los bosques del mundo (Brown, 1997).

Los bosques que tienen un crecimiento neto (producción neta del ecosistema  $> 0$ ) son capaces de una absorción neta de  $\text{CO}_2$  (Brown, 1997), mientras que los bosques maduros re-

tienen el carbono fijado pero son incapaces de absorber  $\text{CO}_2$  en forma neta. Los bosques que experimentan una pérdida neta de biomasa son emisores de  $\text{CO}_2$ .

La contribución de los bosques tropicales en la emanación anual de Gei representa entre el 25 y el 30% del total de la emisión actual de  $\text{CO}_2$ , el 35% de  $\text{CH}_4$  y quizás de 25 a 30% de  $\text{N}_2\text{O}$  (Andrasko, 1990). Se estima que entre 1986 y 1990 se talaron 5,9 millones Ha./año de bosques tropicales (Brown, 1996).

#### Los bosques como alternativa para reducir la concentración de $\text{CO}_2$ en la atmósfera

La conservación y el manejo de los ecosistemas forestales se han identificado como medidas de mitigación para disminuir o mantener los niveles actuales de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera (Alfaro, 1997). Dado que la velocidad de absorción del  $\text{CO}_2$  es directamente proporcional al crecimiento, "preservar" los bosques naturales es una manera poco eficaz de fijar  $\text{CO}_2$ . En cambio, una ordenación forestal basada en cosechar en el mejor momento, convertir la madera con un mínimo de desperdicio en productos duraderos y regenerar el bosque, permite fijar el máximo posible de  $\text{CO}_2$  (Kyrklund, 1990).

De los muchos conceptos que se utilizan para referirse a la mitigación de las emisiones



de Gei por los bosques, aquí utilizaremos dos destacados por la Oficina Costarricense de Implementación Conjunta (Oci, 1996): (1) **carbono almacenado**, que se refiere al carbono acumulado en un ecosistema vegetal y se estima mediante la determinación química de la cantidad de este elemento presente en la biomasa total del bosque, diferenciando según especies y clases diamétricas (Sención, 1996); así, Brown y Lugo (1984) utilizaron para diferentes bosques tropicales un factor de expansión de biomasa de 1,6 para calcular la proporción de ramas y hojas de la biomasa aérea del bosque a partir de valores del fuste, así como un factor de conversión de biomasa seca a carbono de 50% (el concepto *carbono no emitido* es aplicado internacionalmente en referencia al carbono almacenado en un área boscosa que no se emite a la atmósfera por procesos de cambio de uso gracias a la conservación de ecosistemas; este concepto se ha desarrollado como mecanismo para reclamar el carbono almacenado en áreas boscosas maduras; y (2) **carbono fijado**, que es la cantidad de carbono que puede fijar un área cubierta por vegetación en un período determinado y puede medirse a partir del crecimiento de su biomasa, dependiendo el número de toneladas métricas de carbono (tmC) fijado por un bosque de las condiciones ambientales que influyen en la dinámica de crecimiento del bosque, tales como -entre otros-: tipo de suelo, cantidad de agua y temperatura (Carranza *et al*, 1996).

#### Oportunidad del bosque maduro como opción de mitigación en la acumulación de carbono

La importancia de los bosques maduros en la mitigación del efecto de acumulación de CO<sub>2</sub> radica en que su conservación asegura que el carbono contenido en ellos no se liberará por cambio de uso. Por esto son considerados a nivel internacional como opción de mitigación, a pesar de no ser fijadores efectivos de carbono. En Costa Rica, este concepto tiene importancia puesto que el cambio de uso de bosque a otras actividades fue identificado como una de las principales fuentes de emisión en el país en la década de los ochenta (según el inventario de emisiones del país, 1995), y aunque la tasa de deforestación ha disminuido en la última década, la tala ilegal continúa siendo un problema ambiental y los mecanismos de control no han logrado ser totalmente efectivos (Estado de la Nación, 1998).

En opinión de diferentes expertos, es importante asignarle una compensación a los bosques de preservación por su papel de "no emisores", ya que la Comunidad Internacional (CI) ha mostrado interés en pagar internacionalmente este servicio. Su pérdida significaría

Cuadro 2

#### Precios de la tonelada de Carbono para diferentes transacciones a nivel mundial.

País Huésped (US\$/tmC)	Proyecto	Comprador	Precio
Costa Rica	CNFL	Gobierno de Noruega	10,0
Bolivia	Parque Nacional Noel Kempff	American Electric Power, USA.	0,5
Ecuador	Protección forestal y forestación	GEF	3,0 - 4,0
Guatemala	Reforestación	AES Thames, USA	1,0
Paraguay	Preservación y agroforestería	AES Barbers Point, USA	1,5
Malasia	Forestería sostenible	NEES	menos de 2,0
Rusia	Forestación	Tenaska, USA	1,0 - 2,0
USA	Forestería sostenible	Pacific Cooperation, USA	5,0

Fuente: Alfaro, 1998. *Com. Pers.*

la desaparición de un *stock* muy grande para Costa Rica, que afectaría su balance per cápita de emisiones.

#### Mercado de carbono para Costa Rica: precio y demanda

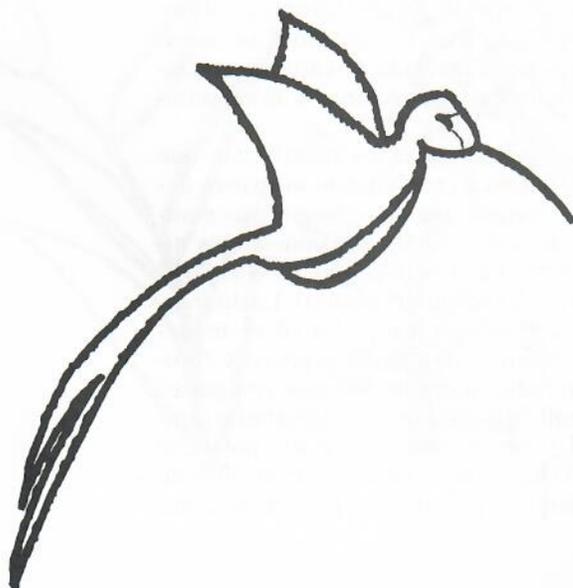
Actualmente no existe una demanda real del servicio de fijación de carbono, debido a que el mercado aún no está establecido. Existen iniciativas de países interesados en negociar reducciones de emisión de CO<sub>2</sub> con países en desarrollo. Por ejemplo, Costa Rica identifica países interesados y propone las negociaciones, determinando un precio de negociación de la tmC. De esta forma se concretó la venta de 200 mil tmC a Noruega, a un precio de \$10/tmC. Otras experiencias en el mercado internacional muestran precios inferiores al obtenido por Costa Rica (en cuadro 2 se muestran precios de la tonelada de carbono utilizados en diferentes transacciones a nivel mundial).

Los expertos consultados manifiestan que la demanda se va a crear cuando los países desarrollados tengan que cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones a los niveles de 1990, en el período del 2008 al 2012 (primer período de cumplimiento). La diferencia entre la reducción real y el nivel de reducción en compromiso se podrá negociar y completar con reducciones de bosques con países en desarrollo (mecanismo de desarrollo limpio, MDL), siendo éste el mercado potencial de los CTO. Se ha estimado que el 30% de esos faltantes a nivel mundial pueden ser com-

pletados a través del servicio que brindan los ecosistemas forestales. El otro 70% del faltante se ha estimado que lo cubrirán los países que hayan cumplido con un superávit su cuota de reducción de emisiones (países como Rusia, Polonia y otros de Europa del Este), ya que los montos del superávit serán también negociables (Tattembach, 1999. *Com. Pers.*).

Según el Protocolo de Kioto (1997) los países en desarrollo pueden empezar a comercializar carbono que se contabilice como créditos en la reducción de emisiones desde el año 2000 (los países desarrollados pueden empezar a partir del 2008). A partir de este momento se puede formar y consolidar el mercado, y posiblemente la demanda global y el precio tenderán al aumento. La mayor participación de los otros países en el mercado podría resultar en una reducción de la demanda neta para Costa Rica, tomando en cuenta que la mayoría de los países latinoamericanos poseen mayor cantidad de recurso forestal.

El precio, según diferentes expertos, se podría duplicar o triplicar porque el costo de oportunidad de la limpieza por esta vía es menor que la limpieza mecánica. Watson (CCT, 1998. *Com. Pers.*) menciona que preliminarmente se estima el costo actual de la reducción de emisiones en países industrializados en \$100/tmC, y que en un plazo de diez años podría reducirse a \$ 50/tmC. Por su parte, Tattembach (1998. *Com. Pers.*) opina que el precio va a estar en el rango de \$10-20/tmC, valores que han sido confirmados por modelos econométricos elaborados bajo diferentes escenarios de demanda a nivel mundial. Por otro lado, Alfaro (1998. *Com. Pers.*) menciona que no hay seguridad de que al aumentar la demanda el precio suba, pues debe considerarse que también la oferta aumentará y el precio podría bajar al existir mayor cantidad de oferentes.



### Ventajas de Costa Rica en el comercio de reducción de emisiones de Gei

Las ventajas de Costa Rica en el mercado de fijación de carbono son las siguientes, según consulta con expertos:

- Se cuenta con un marco legal y constitucional bien consolidado, estabilidad política y una imagen conservacionista para efectuar transacciones.
- Se cuenta con abundante información biofísica sobre los bosques, importante para los proyectos de MDL.
- Se ofrece carbono garantizado a través de la certificación y un sistema de monitoreo de las áreas incentivadas para cumplir el compromiso del proyecto; asimismo, las políticas, principios y metodologías aplicadas son reconocidas a nivel internacional.
- Se tiene preparación para entrar de primero a negociar cuando se establezca el mercado; todo el sector forestal del país está bien organizado para responder en proyectos de MDL a nivel nacional.

Un ejemplo de la capacidad de gestión del país es que el 50% del total de las reducciones de emisiones proyectadas en el mundo de proyectos de implementación conjunta (IC) presentados en Naciones Unidas (PNUD) (97 proyectos) pertenecen a Costa Rica. El sector hidroeléctrico ha participado abiertamente logrando que cerca del 80% de los proyectos de generación hidroeléctrica del sector privado estén insertos dentro de IC<sup>6</sup>.

### Valor del carbono en los bosques de Costa Rica

Los expertos consultados concuerdan en que el valor de la tonelada de carbono debe estar en un rango de \$10 a \$20/tmC, pues señalan que debe ser un monto tal que sirva como ingreso complementario a las actividades de reforestación, manejo de bosque o preservación. Si se analiza a través del costo de oportunidad, la limpieza del carbono es tres o cuatro veces más caro que el precio negociado en Costa Rica. Aguirre (1998. *Com. Pers.*) menciona que el costo de limpiar una tm de emisión en Alemania está entre los \$60 y \$100/tmC.

Asimismo, los expertos concuerdan que no se debe hacer diferenciación en el valor de la tmC para distintos ecosistemas. Aguirre (1998. *Com. Pers.*) dice que éste es un producto no diferenciado, por lo que no debería haber diferencias en el precio. Las diferencias en el pago las darán las diferencias en el crecimiento, en la tasa de deforestación y la acumulación de los diferentes ecosistemas.

Cuadro 3

### Estudios de caso sobre valoración de la biodiversidad con fines de utilidad farmacológica, por componente valorado y método utilizado para su valoración

Autor	Componente valorado	Método de valoración	Precio (US\$)
Harvard Business School (1992) Acuerdo Merck-INBio.	La contribución de la biodiversidad a la prospección farmacéutica.	Por pago de regalías (5%) a descubrimientos con una probabilidad de 1:10.000	\$253 por especie no evaluada
Aylward (1993)	Valor farmacéutico por prospección (protección, investigación y desarrollo farmacéutico) y protección	Regalías (prospección). Para protección se usa el costo de manejo de las áreas protegidas	Prospección entre US\$ 20-2000/muest. Protección estimado en \$50/esp./año
Farnsworth y Soejarto (1985, en: Carranza <i>et al</i> , 1996)	El valor total de las prescripciones para el uso de drogas medicinales.	Estimó probab. de éxito de hallar plantas con propiedades farmacológicas (1/125)	Hasta \$ 8,1 billones
Principe (1989, en: Carranza <i>et al</i> , 1996).	Estima el valor de la bioprospección en la lucha contra el cáncer en E. U.	Combina datos de % de muertes evitadas con drogas y % drogas extraídas de plantas	\$18,8 mill./año por especie no investigada
Echeverría <i>et al</i> (1997)	Uso para bioprospección bioquímica	Sondeo a expertos involucrados en la protección y conservación de los recursos naturales	\$12/Ha.

Fuente: elaboración propia, 1999.

#### La mitigación por transformación tecnológica eclipsa el papel de los bosques

Se han identificado dos hechos que afectarían las perspectivas de negociación de reducciones a través de bosques: el desplazamiento del bosque como opción de mitigación y las transformaciones tecnológicas que hagan a los combustibles fósiles obsoletos por costo. Sin embargo, los bosques son muy costo-efectivos como mitigadores, además de productores de muchos bienes y servicios, ventajas que justifican aun más la inversión en ellos por parte de la CI.

La transformación tecnológica para reducir emisiones de Gei es la alternativa que realmente mitigaría el problema de emisiones; sin embargo, no se espera que ésta se produzca violentamente ni que alcance niveles óptimos en el corto plazo. Por tanto, el bosque siempre se va a considerar como una opción a la solución del problema, principalmente las áreas con nueva cobertura (en crecimiento).

#### Servicio de protección de la biodiversidad

##### Protección de la biodiversidad de los ecosistemas boscosos

La biodiversidad es la variabilidad de organismos vivos en una región y los complejos eco-

lógicos de los que forman parte, y comprende tres niveles: genes, especies y ecosistemas (WRI, UICN, PNUMA, 1992; citado por Sencción, 1996; Convención sobre la Diversidad Biológica, 1992). La mayor parte de la biodiversidad mundial se encuentra en los ecosistemas boscosos tropicales (húmedo y lluvioso) y en los arrecifes de coral, y muchos valores de uso directo e indirecto están ligados a ella (para alimentación, medicina, agricultura). La protección de la biodiversidad de los bosques es importante no sólo por el interés económico de los bienes que se puede extraer, sino por su papel en la salud y estabilidad de los ecosistemas. También es valiosa la biodiversidad en ecosistemas alterados y, particularmente, en agroecosistemas, donde hay un valor cultural asociado (Solís, 1998. *Com. Pers.*).

##### Valoración de la biodiversidad como medio para su conservación

La asignación de valores a los recursos de la biodiversidad ha sido identificada como una de las estrategias para su conservación, según la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo (1992). Por ello, en los últimos años se han elaborado estudios en diferentes partes del mundo para estimar valores económicos y no económicos de la biodiversidad.

Los valores económicos están relacionados con los bienes y servicios de uso actual o potencial, que son propensos a comercialización (fuente de drogas, materia prima industrial, investigación). Así, se le confiere a la biodiversidad un status de productor de bienes y servicios utilizados de manera directa por los beneficiarios. La mayoría de estudios de valoración económica de la biodiversidad consideran sólo su potencial por *bioprospección* (véase cuadro 3). Según Zamora (1998. *Com. Pers.*), el beneficio real para el país de la prospección es una cadena de resultados de investigación, generación de fuente de mano de obra y de experiencia para investigadores locales, más que la obtención de una sustancia importante.

Entre las limitaciones de los estudios anteriores se menciona que no consideran la posibilidad de producir drogas mediante síntesis artificial, el valor de otros insumos como capital y mano de obra, la transferencia de tecnología (capacitación y adiestramiento, infraestructura) y la generación de conocimiento (Carranza *et al.*, 1996; Tamayo, 1998. *Com. Pers.*). Estas variables, entre otras, hacen que las estimaciones generadas por diversos autores tengan rangos de variación elevados. Los expertos consultados manifestaron consensuadamente que la prospección es sólo un parámetro más que se debe tomar en cuenta en la valoración de la biodiversidad de los bosques; no debe ser el único ni el más importante. Existen muchos otros valores de la biodiversidad que generan beneficios inmediatos a los usuarios.

Los valores no económicos están relacionados con beneficios y servicios que no son "mercadeados" (o por lo menos no directamente), y se asocian principalmente con significados culturales y sociales de la población local y con el conocimiento asociado que pueden tener las poblaciones sobre sus recursos de biodiversidad (Solís, 1998. *Com. Pers.*). Asimismo, es posible que haya una relación entre niveles de biodiversidad y la magnitud y la calidad de servicios ecológicos como regulación del régimen de agua y la contribución al balance de CO<sub>2</sub> y otros Gei en la atmósfera (Finegan, 1998. *Com. Pers.*). Existe un componente estético (belleza escénica) que está fuertemente relacionado con la presencia de biodiversidad.

#### Parámetros para estimar el valor de la protección de biodiversidad

Aun cuando la biodiversidad comprende tres niveles (ecosistemas, especies y genes), es generalmente relacionada sólo con el número de especies presentes en un área. Por esto, los ecosistemas homogéneos en algunos niveles de su biota han sido considerados poco relevantes en términos de conservación de la biodiversidad; sin embargo, los expertos consultados destacan la importancia de protegerlos (bosques de altura, bosques secos, manglares), ya que representan una diversidad particular y única de esos sitios, y concuerdan en que la variable *número de especies/Ha.* es poco representativa en términos de importancia.

Cuadro 4

#### Principales variables e indicadores a evaluar para establecer prioridades en la conservación de áreas por concepto de biodiversidad.

Variable	Indicador
Endemismo	Número de especies endémicas, a diferentes niveles (país, región)
Especies amenazadas o en peligro de extinción	Número de especies en esta condición
Especies de valor escénico	Número de especies identificadas de esta condición
Unicidad (ecosistemas únicos)	Identificación de la representatividad de estos ecosistemas en otros lugares o zonas
Riqueza	Número de especies en diferentes grupos taxonómicos de flora y fauna
Asociaciones vegetacionales	Cantidad de asociaciones que representan la diversidad en el ecosistema
Fragmentación	Nivel de fragmentación/alteración de los ecosistemas
Fragilidad o recuperabilidad	Por medio de la tasa de crecimiento de los árboles, analizando el tiempo de reposición del ecosistema ante alteraciones
Adaptabilidad	Nivel de especialización del ecosistema para adaptarse a condiciones poco favorables o cambiantes
Variables relacionadas con el uso de los recursos	Por ejemplo: usos etnobotánicos, uso de recursos con fines comerciales, usos potenciales (entre ellos bioprospección)

Fuente: elaboración propia (1999) con base en consultas a expertos.

Según el consenso de los diferentes expertos consultados, la valoración de áreas boscosas por su importancia en la protección de la biodiversidad debe hacerse a través de la evaluación de ciertas variables (véase cuadro 4), tanto físico-biológicas como socio-económicas, aplicables a ecosistemas boscosos en diferentes estados de regeneración (bosques primarios y secundarios) y diferentes niveles de intervención (bosques de preservación y para manejo).

### Servicio de protección de belleza escénica

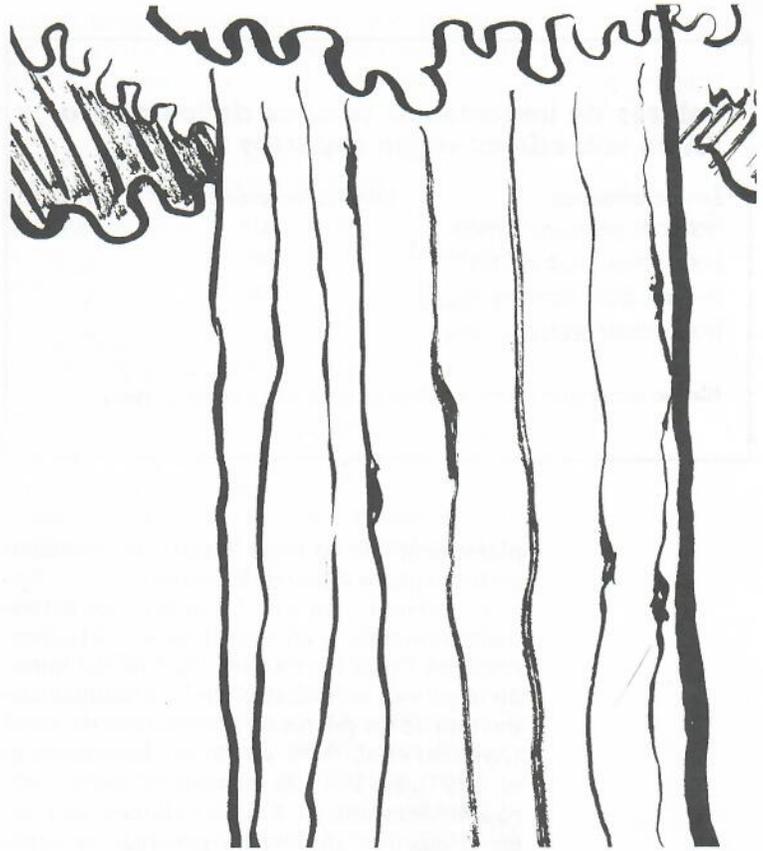
El SA de protección de belleza escénica brindado por los bosques es el que mayor controversia ha ocasionado en su conceptualización. Una de las razones principales es el carácter tan subjetivo del concepto belleza, y otra es la estrecha relación entre ese servicio y el de protección de biodiversidad (la confusión entre ambos SA se debe a que entre los posibles usos dados a la biodiversidad está la recreación). Por esto, para abordar la conceptualización del servicio ambiental de belleza escénica empezaremos por definir algunos conceptos relacionados con ella.

#### Belleza escénica, estética y paisaje

A pesar de que se han desarrollado numerosas definiciones de estética, no existe un acuerdo generalizado entre los distintos profesionales ni en la opinión pública sobre su significado. Estética se puede definir como lo relacionado tanto con las características de los objetos observados como con las de los seres humanos que los perciben, y cuya combinación hace que el objeto sea agradable o desagradable a los sentidos (US Army Construction Engineering Research Laboratory, 1989; citado por Carter, 1998).

Boullón (1990, citado por Franco, 1993) define el paisaje como una cualidad estética que adquieren los diferentes elementos de un espacio físico sólo cuando el hombre aparece como observador, animado a captar sus propiedades externas, su aspecto, su carácter y otras particularidades que permiten apreciar su belleza o fealdad. Al querer calificar o describir la calidad de un paisaje se procede a evaluar la belleza del mismo; sin embargo, no es posible definirlo con exactitud sin caer en apreciaciones subjetivas. Por esta razón, se seleccionan criterios para su evaluación: composición del paisaje (homogéneos y heterogéneos), estructura (meso-relieve y micro-relieve) y formas nítidas.

El medio ambiente es el entorno vital, lo que percibimos y cómo lo percibimos, por tanto, es diferente dependiendo de quien lo perciba (Seoáñez, 1997). El paisaje se puede definir como la percepción polisensorial y subjetiva



del medio ambiente (el terreno, su morfología y su cubierta) (Carter, 1998). El concepto de belleza escénica conlleva aspectos subjetivos pero ligados a la conservación y disfrute de un patrimonio heredado como paisaje atractivo: cataratas, ríos, lagos, flora y fauna espectaculares (Budowski, 1998).

#### Usos y beneficiarios del servicio de protección de belleza escénica

A partir de las definiciones encontradas en la literatura y de consultas a expertos, se concluye que la belleza escénica tiene un carácter fuertemente subjetivo y netamente humano, pues es necesaria la presencia humana para que exista este SA. Sin embargo, todos los paisajes y sus elementos (como el bosque) tienen el potencial intrínseco de generar este servicio. El uso principal identificado de este SA, según expertos, es el de *recreación*, el cual relacionaremos con el concepto de *turismo*.

Según Boullón (1990, citado por Franco, 1993), el turismo y la recreación son actividades de uso del tiempo libre, que se diferencian en la cantidad de tiempo disponible que se utiliza para llevarlas a cabo (si el tiempo de la actividad afuera del domicilio dura más de 24 horas se denomina turismo). La recreación es innata en el hombre pero el turismo no, pues implica un elemento dinámico que es el des-

Cuadro 5  
**Valores de importancia relativa de los cuatro SA en robledales según expertos (n= 22).**

Servicio ambiental	Valor relativo promedio (%)	CV (%)
Protección del recurso hídrico	41	22,3
Protección de biodiversidad	24	46,0
Fijación y almacenamiento de carbono	18	48,0
Protección de belleza escénica	17	41,7

Fuente: elaboración propia, con base en entrevistas a expertos (1999).

plazamiento de un lugar a otro y un elemento estático que es el lugar de destino.

El turismo es una de las principales actividades económicas en todo el mundo. El ecoturismo en Costa Rica a partir de 1987 ha tomado auge y es considerado en la actualidad como uno de los pilares de la economía nacional (Aylward *et al*, 1996; citado por Echeverría *et al*, 1997). En 1997, la industria turística generó aproximadamente \$719,3 millones, sin contar el efecto multiplicador generado en otros sectores; en promedio, cada turista extranjero que visitó el país durante 1997 generó aproximadamente \$887 en divisas (Estado de la Nación, 1998).

El bosque como objeto de recreación es uno de los tantos elementos utilizados por el ser humano para el mismo fin. La presencia de otro tipo de cobertura o infraestructura tiene el mismo potencial de generar *belleza escénica* según las preferencias de los usuarios, y podría ser fuente para el turismo. Es decir, existen diferentes tipos de turismo y el que está relacionado con la belleza escénica del bosque es el llamado *ecoturismo*. Éste centra su atención en los recursos naturales y su oferta la constituyen los atractivos naturales (montañas, llanuras, cuerpos de agua, formaciones geológicas y otros). Este tipo de turismo se puede clasificar según varios autores (Rivero, 1991; Budowski, 1990; Negrini, 1990, citados por Calvopiña, 1992) en: turismo científico, naturalista y de aventura.

Los atractivos naturales básicos necesitan de un complemento tecnológico que facilite el acceso y la estancia del turista en condiciones agradables para éste (Seoánez, 1997). En este contexto, el bosque no sólo necesita la percepción humana para potenciar su belleza escénica como actividad de recreación, sino que necesita un componente tecnológico (infraestructura de acceso y alojamiento) para generar la actividad turística como tal.

Para evaluar la belleza escénica de un eco-

sistema específico, es necesario separar los elementos antrópicos (acceso, infraestructura) de los elementos o atractivos que ofrece el bosque. De esta forma se puede eliminar el sesgo que provoca la presencia o ausencia de infraestructura en la percepción del "atractivo" de la visita de un área sobre otra, limitando la percepción únicamente a aspectos propios del ecosistema natural (bosque).

Otro aspecto a resaltar es que, dado que el ser humano ha creado una amplia gama de actividades para su recreación, el servicio ambiental de protección de belleza escénica en bosques no es de carácter vital, mas sí la recreación como tal.

### Jerarquización de los SA

El SA de mayor importancia relativa brindado por los robledales de la RFRM es el de protección del recurso hídrico, obteniendo un 41% de importancia según expertos consultados, casi el doble del valor de los demás servicios, los cuales estuvieron calificados en un ámbito de 17 a 24%. El menor valor de coeficiente de variación (CV=22,3%) refleja el mayor consenso obtenido por este SA en su designación como el más importante. El mayor valor fue justificado principalmente por la zona de ubicación del ecosistema (parte alta de la cuenca del río Reventazón) y por el uso actual y potencial del recurso agua proveniente de esta cuenca (producción de energía hidroeléctrica y agua para consumo humano), para los cuales el papel del bosque en la regulación del régimen hídrico y la calidad del agua es fundamental. El servicio de protección de biodiversidad obtuvo el segundo lugar en importancia (24%), justificado principalmente por la poca representación del ecosistema en el país y el mundo, y por el alto grado de endemismo presente en muchos grupos de flora y fauna (véase cuadro 5).

Los SA de fijación y almacenamiento de carbono y protección de belleza escénica fueron calificados como de similar importancia (18 y 17% respectivamente), argumentándose que los bosques cumplen un papel complementario en la mitigación de la problemática de acumulación de Gei y que la transformación tecnológica se ha identificado como la verdadera solución al problema. Además, los robledales cumplen un papel pasivo en la mitigación debido a que no fijan CO<sub>2</sub> en forma neta. El servicio de protección de belleza escénica fue considerado de carácter "no vital" y disfrutado por una menor cantidad de beneficiarios que los otros SA.

## Propuesta de un sistema de compensación de los SA brindados por los robledales de la RFRM

### Estimación del monto de pago de servicios ambientales

En todo ecosistema (sea natural o antropogénico) la presencia de elementos bióticos y abióticos, y la interacción de estos elementos, producen una serie de *funciones ecológicas* que son intrínsecas del ecosistema, dado que en el caso de ecosistemas forestales corresponden tanto a procesos fisiológicos elementales como a aspectos anatómicos o de estructura del medio biótico, características de comportamiento, relaciones ecológicas interespecíficas y condiciones evolutivas, que están estrechamente relacionadas en complejas interacciones entre los organismos vivos y los elementos del medio ambiente, con la energía solar como fuente de energía. En el momento que determinadas *funciones ecológicas* generan beneficios a alguna actividad humana, ya sea de forma directa o indirecta, éstas se convierten en un SA, el cual, sin embargo, no es análogo a una función ecológica particular, ya que éstas no ocurren individualmente y sus efectos pueden ser producto de la interacción de muchas de ellas, por lo que no se le pueden atribuir a un solo elemento del ecosistema, sino al ecosistema en general. Es decir, ecológicamente no existe una verdadera separación entre los SA, sino que se producen relaciones estrechas y traslapes.

### Método de estimación del monto de compensación de servicios ambientales

Ante lo inadecuado de separar los SA para estimar el valor monetario de ellos de manera individual, proponemos el establecimiento de un monto global de compensación de SA a través del concepto de costo de oportunidad, obteniendo un rango de valores para el monto que permita establecer distintos escenarios de pago. Además de estimar montos para los SA en forma conjunta, el método de costo de oportunidad asegura que los montos estimados sean acordes a la capacidad productiva de los terrenos a compensar, reduciendo la presión al cambio de uso por parte de los propietarios<sup>8</sup>. La definición del monto de pago dentro del rango determinado por el costo de oportunidad dependerá de la cantidad de recursos que se puedan internalizar de los beneficiarios de los servicios ambientales.

Para realizar la estimación del rango de montos de compensación se identificaron y describieron los sistemas productivos más comunes en la zona de estudio, determinando su rentabilidad financiera. Entre éstas tenemos producción de mora, ganadería de doble pro-

pósito, manejo integrado de bosque, que incluye extracción de madera, carbón y lana, y actividades ecoturísticas (véase cuadro 6).

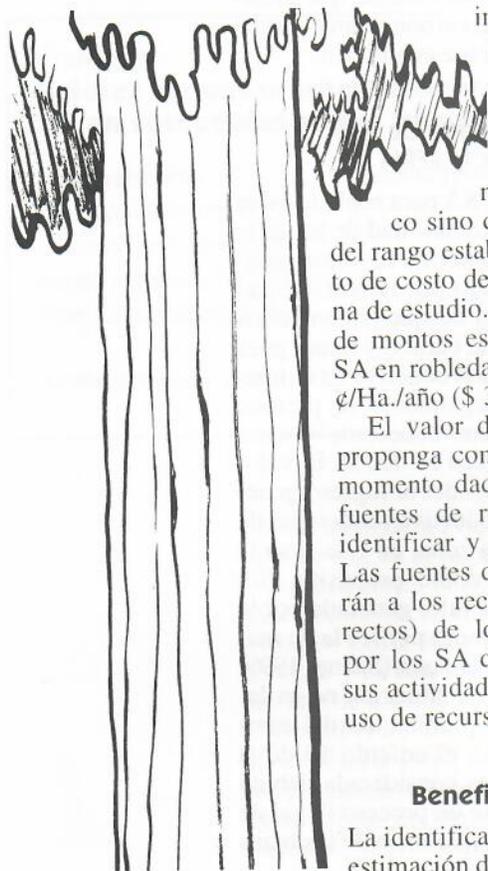
### Rango de montos de pago de SA para los robledales de la RFRM

El rango de montos de PSA para robledales va a estar definido por la rentabilidad de las diferentes actividades productivas. El valor mínimo del rango fue definido por la rentabilidad del manejo integrado del bosque (suma de los ingresos netos de madera, carbón y lana), pues ésta es la única actividad productiva de extracción de recursos que legalmente se permite realizar sobre terrenos con cobertura boscosa (artículo 20 de Ley Forestal N° 7575). El valor máximo debería corresponder al ingreso generado por la actividad productiva tradicional de mayor rentabilidad en la zona, en este caso la actividad ganadera de doble propósito. Sin embargo, utilizaremos el valor generado por la actividad del cultivo de mora por ser la de mayor representatividad en la zona (Sáenz, 1999. *Com. Pers.*). Aunque esta situación no es legalmente factible por la prohibición del cambio de uso establecida en el artículo 19 de la Ley Forestal N° 7.575, es considerada debido a que en la realidad existe un proceso ilegal de cambio de uso como consecuencia de los bajos

Cuadro 6  
**Rentabilidades anuales de las actividades productivas en la alta Cordillera de Talamanca. 1999.**

Actividad	Nivel	Rentabilidad ¢/Ha./año    \$/Ha./año		Fuente
Mora	Local	40.600	145,0	Cálculos propios basados en información colectada en la zona y Olson (1994)
Ganadería (alquiler)	Local	52.500	187,5	Cálculos propios basados en información colectada en la zona
Turismo	Local	14.033	50,1	Sáenz (1999)
Manejo integrado del bosque (Mib)				
Madera para aserrio	Nacional	1.372 - 2.296 (prom. 1.848)	4,9 - 8,2 (6,6)	Maginnis, Gamboa, Davies (1998); Quirós y Gómez (1998)
Carbón	Local	3.976	14,2	Cálculos propios basados en Pedroni (1991); Beek y Navas (1993)
Lana	Local	3.388	12,1	Cálculos propios basados en Quirós (1999, información preliminar)
<b>Total (Mib)</b>		<b>9.212</b>	<b>32,9</b>	

Valores actualizados a marzo 1999.  
\$1 = ₡280 (marzo 1999).



ingresos y los plazos en los que éstos se perciben, frente a otros usos alternativos del suelo. Este monto no debe interpretarse como el máximo económico sino como el monto más alto del rango establecido según el concepto de costo de oportunidad para la zona de estudio. De esta forma, el rango de montos estimado para el pago de SA en robledales es de 9.212 a 40.600 ¢/Ha./año (\$ 32,9-145,0 Ha./año).

El valor dentro del rango que se proponga como monto de PSA en un momento dado va a variar según las fuentes de recursos que se puedan identificar y los montos recaudados. Las fuentes de recursos corresponderán a los receptores (directos o indirectos) de los beneficios generados por los SA del bosque, ya sea sobre sus actividades productivas o sobre el uso de recursos.

#### Beneficiarios de los SA

La identificación de beneficiarios y la estimación de los beneficios fue realizada para los SA de protección del recurso hídrico y fijación y almacenamiento de carbono. Recursos provenientes del efecto de otros servicios, tales como belleza escénica y protección de biodiversidad, no fueron identificados, debido a que no se reconocieron usuarios que recibieran un beneficio evidente de otro servicio ambiental, o que se pudiera cuantificar.

Actualmente se identificaron como usuarios/beneficiarios al Instituto Costarricense de Electricidad (Ice) a través de sus plantas hidroeléctricas Cachí y Río Macho (generando el 27,4% de la capacidad hidroeléctrica total instalada en el país) y al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) a través de la planta de tratamiento de agua potable de Tres Ríos (suministrando agua potable al 40% de la Gran Área Metropolitana), recibiendo beneficios del servicio ambiental de protección del recurso hídrico. Por otro lado, los países identificados internacionalmente como principales emisores de CO<sub>2</sub> fueron determinados como beneficiarios del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono de los robledales, ya que a través de los mecanismos que establezcan la CMCC<sup>9</sup> y los países, se les permitirá compensar parte del daño ambiental que están ocasionando con el pago a ecosistemas boscosos por el servicio mencionado.

#### Estimación de los beneficios de la protección del recurso hídrico

##### *Producción hidroeléctrica*

La estimación de los beneficios económicos para la producción hidroeléctrica de Cachí y Río Macho por el SA de protección de agua se realiza a través de la estimación de los costos asumidos por la planta hidroeléctrica de Cachí debido a la eliminación de parte de la cobertura boscosa de su área de drenaje en el periodo 1970-1986, y los costos correspondientes a la planta hidroeléctrica de Río Macho en el caso de una posible pérdida de cobertura similar a la de Cachí.

En un estudio realizado en la parte alta de la cuenca del río Reventazón, que incluye la RFRM casi en su totalidad, Rodríguez (1989) demostró que el proceso de cambio de uso de la tierra desde 1970 tuvo como resultado la alteración del régimen de caudales y la disminución del volumen útil del embalse de Cachí por efecto de la sedimentación, lo cual tuvo como consecuencia una disminución de la producción de energía hidroeléctrica estimada en una tasa anual de 696.850 Kwh (período 1970-86). Este efecto se puede traducir a términos económicos por medio de la metodología utilizada por Rodríguez (1989), que incluye: la disminución de la energía por reducción del volumen activo, la paralización de la planta para labores de mantenimiento y limpieza del vaso por sedimentación, y el aumento de costos de mantenimiento de la maquinaria hidráulica por efecto de la sedimentación:

- Los costos atribuibles a la pérdida de energía por disminución del volumen se pueden calcular a través del costo de importación de la energía, estimado en \$0,1341/KWh en 1995 (Ice, 1996, citado por Barrantes y Castro, 1998). Actualizando los valores hasta 1999, a una tasa de 6% (tasa de ahorro en dólares a 1 año plazo, según Banco Nacional de Costa Rica, 1999), el costo por pérdida de energía asciende a \$117.976,7/año.
- Los costos de paralización se estimaron en 15 días (promedio anual), significando una pérdida de 19.691.259 KWh/año (Rodríguez, 1989). Utilizando un costo unitario de producción de energía para la planta de Cachí de \$ 0,002450/KWh (valores actualizados de Rodríguez, 1989), el costo anual por pérdida de ingresos es de \$ 48.243,5/año.
- Para calcular las pérdidas por aumento de costos de mantenimiento por sedimentación, se utilizó como monto de referencia un 70% de los costos relativos al mantenimiento de la planta, como lo sugieren Corrales (1968) y Starcevich (1989), citados por Rodríguez (1989). Utilizando como base los datos obtenidos por Rodríguez (1989), el costo por este concepto se calcula en \$ 141.885,7/año.

Los costos totales para la planta de Cachí por efecto del cambio de uso de la tierra en la parte alta de la cuenca del Río Reventazón ascienden a \$308.105,9/año (26,2% del costo total anual de producción de energía de la planta). Tomando en cuenta que el área de drenaje de la planta de Cachí es de 79.560 Ha., el costo equivale a \$ 3,9/Ha./año.

Un cambio en la cobertura sobre la cuenca que abastece la planta de Río Macho ocasionaría un efecto en los procesos hidrológicos semejante al ocurrido durante los últimos 30 años en parte de la cuenca que abastece la planta Cachí, ocasionando pérdidas en la producción de la planta similares a las estimadas para Cachí. Al no contar con datos para efectuar la estimación de los costos correspondientes a la planta de Río Macho, asumimos que éstos corresponden al mismo porcentaje del total de costos de producción de la planta de Cachí (26,2%). De esta forma, los costos para la planta de Río Macho por efecto de una modificación de la cobertura boscosa similar a la sufrida por el área de drenaje de la planta de Cachí hasta 1989, son de \$339.876,3/año, significando un costo por hectárea de \$10,5/Ha./año.

El monto que se debería asignar a los propietarios de terrenos boscosos por el beneficio actual que brindan a la producción hidroeléctrica corresponde a \$14,4/Ha./año, es decir, la suma de los beneficios recibidos por ambas plantas <sup>10</sup>.

#### Agua potable

El beneficio económico de la planta de tratamiento de agua potable de Tres Ríos se efectuó a través de la comparación de los costos anuales de reactivos (sulfato de aluminio y polímeros catiónicos) para el tratamiento de la calidad (sedimentos) del agua proveniente de la RFRM (cuenca con cobertura boscosa), respecto del agua del río Tiribí, cuya cuenca presenta una cobertura boscosa reducida por el cambio de uso <sup>11</sup>.

Analizando los costos anuales de tratamiento de agua potable de la planta de Tres Ríos, para el año de 1990 (escenario 1), se obtiene que el costo anual de reactivos representa casi el 65% de los costos anuales de tratamiento de la planta, y el sulfato de aluminio y los polímeros catiónicos representan el 52%. El costo anual por unidad de volumen de estos reactivos, aplicados al agua de Tiribí es de \$11,2/litro, y para el agua de Orosí es de \$5,1/litro, es decir, 54% menor que el de Tiribí (datos de 1990, actualizados a marzo de 1999) (AyA, 1991). Dado que la diferencia en cantidad de reactivos aplicados al agua se puede atribuir a la diferencia de cobertura boscosa de las cuencas donde proviene el agua, podemos asumir que la eliminación de la cobertura boscosa de la RFRM podría afectar la calidad del agua del acueducto de Orosí, au-

Cuadro 7

### Montos de pago de los beneficios generados por SA de la RFRM para bosques de preservación y manejo en terrenos privados y estatales (valores en \$/Ha./año). 1999.

Beneficio generado	Propiedad privada		Propiedad estatal	
	Bosques de preservación	Bosques para manejo	Bosques de preservación	Bosques para manejo
Protección de agua para uso hidroeléctrico	14,4	14,4	14,4	14,4
Protección de agua para uso potable	10,4	10,4	10,4	10,4
Fijación de carbono	-	11,4	-	11,4
No emisión de carbono	34,4	31,1	-	-
Total	59,2	67,3	24,8	36,2

Fuente: elaboración propia.  
\$1 = ₡280 (marzo 1999).

mentando su necesidad de reactivos a los niveles del agua de Tiribí (escenario 2). Siendo este el caso, el aumento en el costo anual de tratamiento de agua potable en Tres Ríos sería de \$336.695,2/año (40,2% más que en el escenario 1). Este costo, distribuido entre el área de drenaje del acueducto de Orosí, corresponde a \$10,4/Ha. anuales.

#### Estimación del beneficio del SA de fijación y almacenamiento de carbono

La estimación de los beneficios financieros se efectuó para dos escenarios: fijación de carbono y almacenamiento de carbono, analizado éste como carbono no emitido. Por falta de información no se consideraron bosques secundarios; sin embargo, se puede considerar la aplicación de los resultados en fijación y almacenamiento de carbono a bosques secundarios, aunque es evidente que por su mayor tasa de crecimiento la fijación efectiva de carbono en ecosistemas de sucesión secundaria es mayor.

**i.) Escenario 1. Fijación de carbono.** Utilizando una tasa de fijación de carbono de 1,14 tmC/Ha./año en bosques manejados, y un valor de la tonelada fijada de carbono de \$10/tmC (valor de transacción usado por Ocic en sus negociaciones de IC, y que se espera mantener en el comercio futuro de carbono <sup>12</sup>), el monto de pago por este concepto es de \$11,4 /Ha./año.

**ii.) Escenario 2. Almacenamiento (no emisión) de carbono.** Consiste en un pago anual de las tmC no emitidas por hectárea en terrenos privados. El supuesto utilizado es que el PSA reduce el riesgo de cambio de uso a un 0% y se compensa con el car-



bono dejado de emitir al reducir el riesgo. El valor propuesto para la tonelada de carbono es el mismo utilizado para fijación de carbono (\$10/tmC). La emisión calculada para las 5.338,46 Ha. de terrenos privados dentro de la RFRM es de 18.344,5 tmC anuales, es decir, 3,44 tmC/Ha./año para bosques sin manejo y de 3,11 tmC/Ha./año para bosques manejados. De esta forma, el pago anual a efectuar en robledales sin manejo asciende a \$34,4/Ha./año y a \$31,1/Ha./año para bosques manejados.

#### Montos de internalización actuales por SA

Se estimó el monto correspondiente a bosques de preservación y para manejo por las diferencias entre los beneficios generados por ambos tipos de bosque (véase cuadro 7) y se consideraron bosques en terrenos estatales (escenario 2) debido a que tienen la misma capacidad de brindar SA, y, por tanto, derecho a ser compensados. Sin embargo, nuestro análisis se concentrará en el escenario de pago en terrenos en propiedad privada, puesto que el objetivo del sistema de PSA está orientado a la conservación (preservación y manejo) de esos terrenos, dado el riesgo de cambio de uso existente, que amenaza la prestación de bienes y servicios del bosque.

De acuerdo a las fuentes de recursos identificadas, el monto de pago actual para bosques en preservación debe ser de \$ 59,2 Ha./año, y para bosque bajo manejo de \$67,3 Ha./año. Los montos estimados son superiores al pago otorgado actualmente a los dueños de bosque por concepto de PSA para protección (\$42,9/Ha./año) y para manejo de bosque

(\$39,3/Ha./año<sup>13</sup>), es decir, la internalización de los beneficios generados por los SA de los robledales de la RFRM supera los montos de PSA actuales. Estos montos se encuentran ubicados por debajo del valor mínimo del rango definido para el PSA en robledales en este estudio (\$36,1 - 187,5/Ha./año). El monto de pago a ser internalizado ascenderá dentro del rango conforme aumente el número de beneficiarios identificados de los SA, pudiendo llegar a alcanzar el límite superior (monto meta). Este desplazamiento del monto de PSA hacia el límite superior significa una reducción del riesgo de cambio de uso de los terrenos compensados, dado que el monto es equivalente a lo que generaría el terreno bajo el mejor uso alternativo.

#### El mecanismo de internalización de costos y definición de áreas prioritarias

En el caso del servicio de protección del recurso hídrico, el beneficio estimado debe ser inserto dentro de la estructura de costos de las empresas de producción hidroeléctrica y agua potable, internalizando el beneficio recibido por los bosques. Un traslado del costo asumido por las empresas hacia los consumidores finales podría ser el paso siguiente a la internalización del beneficio, sin embargo esta situación debe analizarse con más detalle.

Para compensar el beneficio del servicio de fijación y almacenamiento de carbono, Costa Rica cuenta actualmente con la Ocic, que se encarga de negociar los derechos de este servicio a través de la elaboración de contratos de beneficio mutuo con países emisores, avalado por los acuerdos desarrollados internacionalmente.

La determinación de áreas prioritarias se puede proponer en dos escenarios: dentro y fuera de la RFRM. Dentro de la Reserva, los terrenos con robledales que presentan prioridad para la compensación son los pertenecientes a dueños privados ya que, como se mencionó anteriormente, son los que tienen riesgo de sufrir alteraciones severas producto de aprovechamientos ilegales o cambio de uso. La compensación de SA en terrenos estatales podría implementarse como segunda etapa, con el fin de generar suficientes recursos presupuestarios para el desarrollo de un sistema de manejo de la RFRM autosostenible y descentralizado en el área de conservación respectiva.

En caso de extender la compensación de SA a robledales fuera de la RFRM, la prioridad será el mantenimiento y recuperación de áreas boscosas en las zonas aledañas a las áreas silvestres protegidas (zonas de amortiguamiento).

#### Lineamientos para el establecimiento del sistema de compensación de SA

Para el establecimiento de un sistema nacional de compensación de SA se requiere mantener las bases científicas obtenidas de la caracterización de los SA, para que funcione como un sistema efectivo de compensación; sin embargo, debe tener cierto grado de simpleza para ser aplicable a nivel nacional. Los lineamientos se plantean considerando la compensación a ecosistemas boscosos en dos modalidades: bosques de preservación, donde únicamente se pueden efectuar usos no extractivos (por ejemplo turismo), y bosques manejados, en los que se puede realizar actividades tanto extractivas como no extractivas por medio de la confección de planes de manejo. La mayor parte de

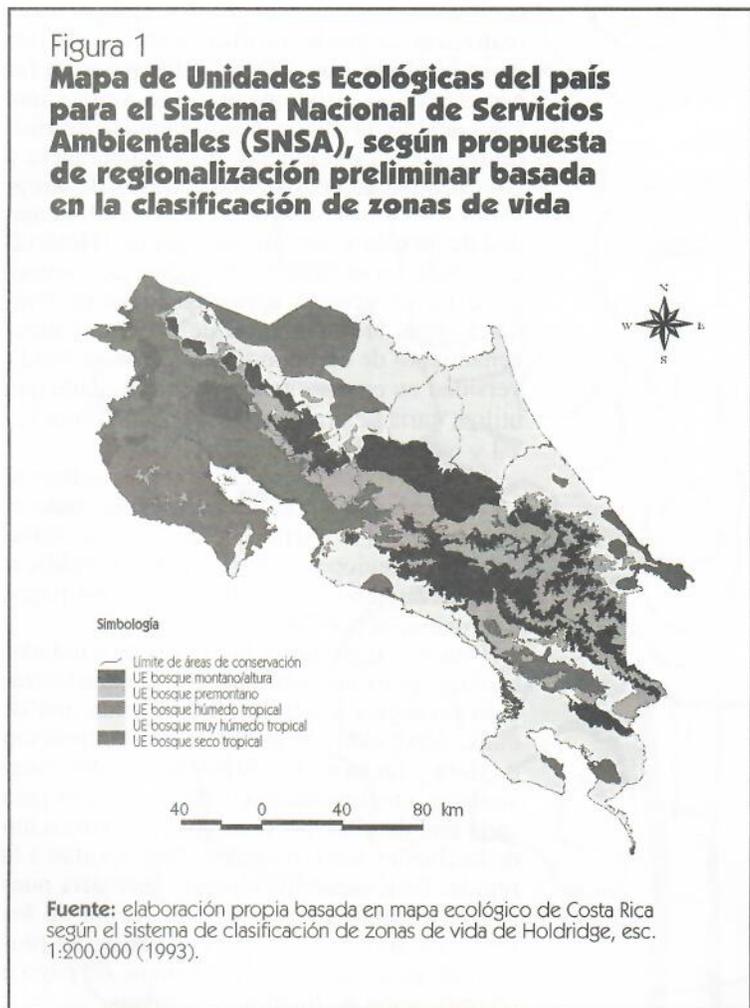
los elementos propuestos son aplicables a plantaciones forestales, sin embargo éstas no se incluyen en este estudio.

El sistema nacional de servicios ambientales debe tener como objetivo la preservación y el manejo sostenible de los ecosistemas boscosos del país, a través de la consolidación del cobro y pago de los beneficios generados por los servicios ambientales de los bosques. Esta compensación ha de ser justa, eficiente y acorde a los SA prestados y los beneficios generados por cada ecosistema, y debe ser asumida por los beneficiarios de los SA de manera que sea sostenible. Asimismo, con el sistema se pretende asegurar el mantenimiento a largo plazo de la calidad de los SA ofrecidos por los bosques. Este sistema necesita dos mecanismos para su funcionamiento: el de pago de SA (compensación) y el de cobro (internalización) de SA.

### Diversidad ecológica y diseño del sistema de compensación de SA

Para el establecimiento del sistema de compensación de SA debe considerarse en principio la diversidad de ecosistemas presentes en el país. La ubicación de éste en latitudes tropicales, la presencia de una faja montañosa atravesándola longitudinalmente, la influencia de factores atmosféricos como la Zona de Convergencia Intertropical y su condición de istmo, entre otros factores, generan gran diversidad de microclimas y, por ende, de ecosistemas. Como resultado de esto, en Costa Rica se puede encontrar 24 zonas de vida (incluyendo transiciones) según la clasificación de Holdridge (1982), y diferentes asociaciones vegetales dentro de cada una de ellas (manglares, yolillales, cativales y turberas, entre otros). Las características intrínsecas de cada ecosistema (composición, estructura, tasa de crecimiento) así como su ubicación y los factores ambientales asociados, determinan en gran medida la importancia relativa de cada SA así como el grado en que generan beneficios. Por ejemplo, los bosques ubicados en las partes altas y medias de las cuencas tienen mayor importancia hidrológica que los bosques ubicados en zonas de llanura, por su efecto en la recarga de acuíferos.

Esta realidad referente a la diversidad de ecosistemas del país y su relación con el grado de beneficio de los SA, determina que el sistema de compensación de SA requiera de la regionalización del país en unidades ecológicas (o ecorregiones) a las que se les asigne un pago diferenciado. Una regionalización detallada para el PSA nacional podría justificarse ecológicamente, sin embargo tendría poca aplicabilidad por su complejidad administrativa. Por tanto, la regionalización debe buscar criterios



que permitan agrupar características comunes de diferentes ecosistemas, con el fin de lograr tanto la factibilidad de su aplicación como el mantenimiento de bases ecológicas reales.

### Propuesta de establecimiento de unidades ecológicas para el sistema nacional de SA

Como parte de la propuesta de un sistema de compensación de SA se efectuó una regionalización preliminar del país basada en la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1982). Las 24 zonas del país se agruparon en cinco unidades utilizando sistemas de información geográfica (Sig), buscando mantener características ecológicas distintivas en cada una de ellas (véase figura 1). Los criterios principales para la agrupación fueron la semejanza de rangos climáticos (cantidad y régimen de precipitación, temperatura) y la diferencia de pisos altitudinales, intentando mantener en cada región ecosistemas similares tanto en características ecológicas como de ubicación relativa.

El mantenimiento de condiciones físico-

ecológicas homogéneas en las agrupaciones realizadas se puede verificar a través del uso de indicadores que reflejen diferencias en las características fisonómicas de la vegetación. Por ejemplo, el índice de complejidad de Holdridge evalúa diferencias en la exuberancia y complejidad de ecosistemas a través de variables como altura del rodal, área basal, densidad de árboles y número de especies (Holdridge, 1982). La utilización del índice de complejidad puede generar aproximaciones preliminares sobre la importancia de SA como almacenamiento de carbono y protección de biodiversidad en ecosistemas específicos, dado que utiliza variables relacionadas a ellos (área basal y número de especies).

La regionalización se elaboró únicamente en el área continental del país, excluyendo el área insular. El objetivo de agrupar las zonas de vida en regiones es básicamente simplificar el procedimiento administrativo de los pagos diferenciados por SA (véase cuadro 8).

Una vez regionalizado el país en unidades ecológicas, es necesario hacer una caracterización ecológica y silvicultural de cada una de ellas, detallando los aspectos de composición de flora y fauna en los diferentes estados sucesionales, crecimiento y condición de uso para cada una de ellas, así como una identificación de los bienes y servicios que éstos aportan a la región. Esta caracterización es necesaria pues aporta insumos para la jerarquización de los servicios ambientales, que es la base del proceso de establecimiento de montos de pago e identificación de fuentes de recursos.

La jerarquización de los servicios ambientales por cada ecorregión es necesaria para el diseño del sistema de compensación de SA, y puede realizarse a través de consultas a expertos. Los porcentajes de importancia de los SA resultantes de la jerarquización determinarán el aporte de cada SA al monto total de PSA.

**Cuadro 8**  
**Unidades ecológicas para el sistema de compensación de SA, según propuesta de regionalización preliminar basada en la clasificación de zonas de vida de Holdridge**

Unidades ecológicas	Área (Ha.)*
Eco-región bosque seco tropical	136.323,7
Eco-región bosque húmedo tropical	1 509.620,9
Eco-región bosque muy húmedo tropical	1 787.533,8
Eco-región bosque premontano	827.192,8
Eco-región bosque de altura/montano	821.777,8
<b>Total</b>	<b>5 082.449,0</b>

\* Comprende el área total del país (excluyendo área insular), sin tomar en cuenta el uso de los terrenos.

## Montos de pago

El rango de montos de PSA se debe establecer a través del método de costo de oportunidad, logrando de esta forma mantener el criterio de la valoración conjunta de los SA y estableciendo montos acordes a la capacidad productiva de los terrenos, reduciendo la presión al cambio de uso. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el pago debe ser diferenciado por tipo de ecosistema, por lo que es necesaria una estimación para cada ecorregión. De esta manera, deberían existir cinco rangos de montos de PSA para el país.

El método de costo de oportunidad determinará para cada ecorregión un límite mínimo y máximo del monto de PSA, dentro del cual se designará un monto a pagar en un momento dado de acuerdo a la cantidad de beneficiarios existentes. El límite mínimo puede estar definido por la rentabilidad del uso controlado del bosque en actividades extractivas y no extractivas (manejo integrado de bosque), dado que legalmente es la única actividad factible de realizar (artículo 20 de la Ley Forestal N° 7.575). De la misma forma, el límite máximo se puede establecer por la rentabilidad de la actividad tradicional de mayor importancia en la ecorregión. Pese a que considera una condición fuera de la normativa legal, esta alternativa es propuesta debido a que en la actualidad existe un proceso ilegal de cambio de uso de bosques hacia otras actividades de mayor rentabilidad; en el período 1986-1987 y 1996-1997 la pérdida de bosques primarios fue de 16.424 Ha./año (Fonafifo *et al*, 1998).

En ambos casos (límites mínimo y máximo) la amplia extensión de las ecorregiones y su dispersa ubicación impiden establecer con claridad actividades productivas principales (véanse cuadro 8 y figura 1); en cada ecorregión se va a encontrar diversidad de actividades productivas y diferencias en la rentabilidad, dependiendo de variables como ubicación, tecnificación de la actividad e intensidad del manejo, entre otras. Por esta razón, para establecer los límites del monto de pago por ecorregión será necesario definir la rentabilidad de las actividades principales por medio de algunas generalizaciones y de la utilización de promedios o ponderaciones, asumiendo el sesgo causado por la amplitud de las ecorregiones.

## Identificación de beneficiarios

La identificación de beneficiarios y la cuantificación del beneficio recibido por ellos por efecto de los SA de los bosques es fundamental para la definición del monto a pagar en un momento dado (dentro del límite mínimo y máximo) en cada ecorregión. La información generada por la caracterización de las ecorre-

giones y la jerarquización de los SA dentro de cada una es básica para iniciar el proceso de identificación de beneficiarios, pues establece la relevancia de los SA dentro de los ecosistemas. Por ejemplo, el beneficio brindado a los usuarios por el servicio de protección del recurso hídrico es de mayor importancia en la *ecorregión bosque montano*, por lo que en ésta puede empezar a identificarse los beneficiarios y realizar la estimación económica de los beneficios.

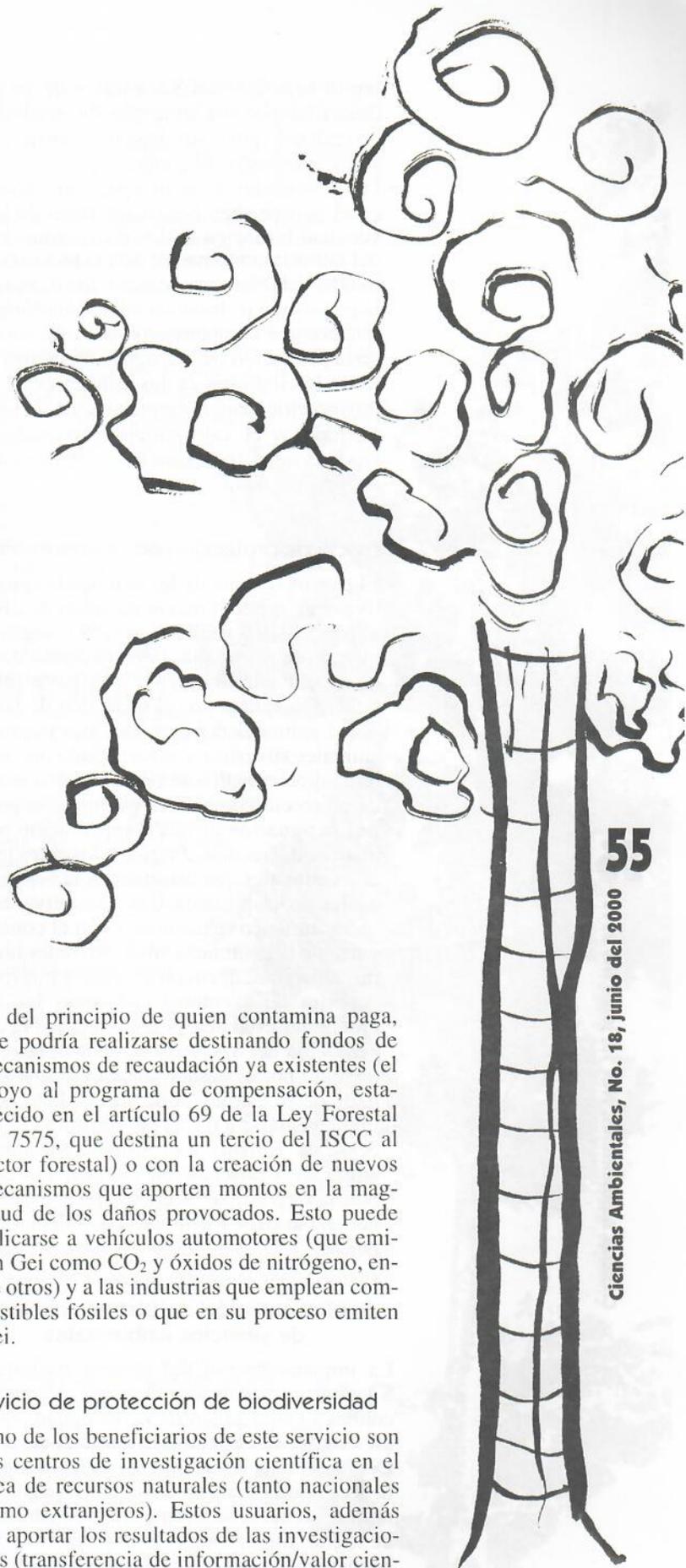
En esta sección se realizará una identificación general de los potenciales beneficiarios de los SA a nivel nacional que podrían convertirse en la fuente de recursos para el sistema de compensación. La identificación precisa del beneficiario y del monto del beneficio debe hacerse de manera puntual para cada ecorregión.

#### Servicio de protección del recurso hídrico

- La producción de energía hidroeléctrica, tanto por generadores privados como estatales (Ice), se beneficia al evitar la pérdida de productividad energética y al reducir costos de mantenimiento de la maquinaria hidráulica. A éstos se podría adicionar el costo ambiental por emisión de gases de efecto invernadero producto de la generación de energía por otro medio alternativo (esto podría entrar como parte de las negociaciones de Ocic bajo el mecanismo de desarrollo limpio).
- La producción de agua para consumo humano se beneficia por la reducción de costos de tratamiento de agua, porque disminuye la cantidad de reactivos químicos, que representan la mayor parte del costo. Asimismo, se podría considerar el beneficio de la reducción de daño ambiental por menor uso de químicos, ya que su producción industrial implica una contaminación con Gei. Por otro lado, el efecto del bosque sobre la producción de sedimentos podría bajar los costos de limpieza de la maquinaria e infraestructura (sedimentadores, filtros, desarenadores).

#### Servicio de fijación y almacenamiento de carbono

- Bajo el mismo sistema de compensación de SA propuesto para robledales se puede estimar el beneficio en fijación y almacenamiento (no emisión) de carbono por los bosques en crecimiento, manejo y aquéllos que están sujetos a riesgo de cambio de uso. Este beneficio sería negociado a nivel internacional con países industrializados a través de la Ocic, bajo los mecanismos que se establezcan a partir de la COP6 (año 2000).
- A nivel nacional podría establecerse un mecanismo de cobro por daño ambiental a par-



tir del principio de quien contamina paga, que podría realizarse destinando fondos de mecanismos de recaudación ya existentes (el apoyo al programa de compensación, establecido en el artículo 69 de la Ley Forestal N° 7575, que destina un tercio del ISCC al sector forestal) o con la creación de nuevos mecanismos que aporten montos en la magnitud de los daños provocados. Esto puede aplicarse a vehículos automotores (que emiten Gei como CO<sub>2</sub> y óxidos de nitrógeno, entre otros) y a las industrias que emplean combustibles fósiles o que en su proceso emiten Gei.

#### Servicio de protección de biodiversidad

- Uno de los beneficiarios de este servicio son los centros de investigación científica en el área de recursos naturales (tanto nacionales como extranjeros). Estos usuarios, además de aportar los resultados de las investigaciones (transferencia de información/valor científico), deberían compensar económicamente

por el beneficio del SA a través de un pago específico por este concepto, diferente al pago realizado por otros derechos (tarifas de visita y administración, entre otros).

- Las actividades de bioprospección realizadas en el país reciben beneficios tanto de la diversidad biológica de los ecosistemas como del conocimiento nativo asociado a ésta, por lo cual deberían compensar a los dueños por la protección de biodiversidad. Una forma de obtener una compensación por este servicio sería por medio de la asignación de una parte de los ingresos en los convenios de bioprospección, para la compensación de los SA recibidos y el valor cultural agregado a la biodiversidad (conocimiento nativo de usos de biodiversidad).

#### Servicio de protección de belleza escénica

- El turismo es una de las actividades productivas que generan mayor cantidad de divisas al país (\$719,3 millones en 1997, según Ministerio de Economía, 1998) y, dentro de ella, el ecoturismo comprende una parte importante, fomentada por el mercadeo de las bellezas naturales del país (bosques tropicales, animales silvestres y otros). Dado que la actividad ecoturística se beneficia del servicio de protección de belleza escénica, se propone la asignación de una compensación por el disfrute del recurso dirigida a los entes privados y estatales que usufructúan la belleza escénica de los bosques. Las áreas privadas del sector turístico relacionadas con el comercio y uso de la naturaleza silvestre (redes hoteleras, albergues, agencias de viaje y transporte, deportes de aventura), así como las áreas protegidas estatales, podrían realizar la compensación del SA, reconociendo el beneficio recibido por el bosque e incluyéndolo como parte de su estructura de costos. Esto podría implementarse a través del Instituto Costarricense de Turismo y el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (Sinac), los cuales podrían coordinar acciones para establecer beneficiarios y los montos que deben compensar.

#### Implementación del sistema nacional de servicios ambientales

La implementación del sistema nacional de SA con un mecanismo de *pago diferenciado* conlleva cierto grado de complejidad, aun en un sistema descentralizado como el del Sinac. Debido al tamaño de las ecorregiones, una sola área podría manejar hasta cinco pagos diferentes, lo cual sería administrativamente difícil de lograr. Sin embargo, la implementación de un sistema de SA con una regionalización como la que se plantea en forma preliminar, se-

ría lo más adecuado en términos de validez ecológica, ya que una simplificación del sistema basado en la disminución o agrupación de ecorregiones carecería de representatividad por las diferencias entre los diversos ecosistemas.

A pesar de su poca validez ecológica, la simplificación del sistema de compensación en un solo monto podría ser una primera etapa para posteriormente implementar un sistema semejante al propuesto en este estudio. La complejidad del sistema propuesto a nivel nacional va a ser una decisión política, justificada con razones como capacidad administrativa y recursos disponibles. En esta simplificación se podría mantener la idea de un pago diferenciado por ecorregión; sin embargo, en cada área sería necesario identificar la ecorregión que represente mayor superficie dentro de aquélla. Otra alternativa es la ponderación del monto utilizando la superficie ocupada por cada ecorregión dentro de las áreas. Sin embargo, cualquiera sea la opción de simplificación que se elija, debe considerarse como una condición temporal mientras se adecua el sistema de SA a un nivel ecológicamente más válido.

Paralelamente al desarrollo de estas etapas de evolución, sería conveniente iniciar un proceso de identificación y ubicación de los límites de las ecorregiones a nivel cantonal en cada área de conservación a través de la creación de una base de datos digital detallada (utilizando Sig), sobre la cual se pueda superponer un mapa de cobertura actual. De esta forma, con sólo conocer la ubicación administrativa de determinada finca que solicite acceder al sistema de compensación de SA, la base de datos identificaría la ecorregión a la que pertenece y el monto de pago correspondiente. Asimismo, dado que los montos a pagar dependen de los beneficiarios identificados, éstos requerirán de una actualización periódica. Para esto se podrían definir períodos de actualización que pueden ser cada dos años como mínimo, o cada cinco como máximo, en los cuales se incorporen al sistema nuevos beneficiarios que aporten a los montos de PSA, logrando desplazar los montos estimados hacia el límite superior del pago o monto meta. Revisiones anuales no se consideran convenientes por el trabajo que requieren y por la falta de estabilidad y confianza que tendría el sistema.

#### Áreas prioritarias

El sistema de SA puede estar orientado hacia los niveles estatal y privado. En el nivel estatal existe la necesidad de consolidar el sistema de áreas protegidas, requiriendo para ello fondos para la compra de los terrenos privados ubicados dentro de tales áreas y para la compra de otras áreas identificadas como necesaria

protección (corredores biológicos, ecosistemas únicos sin protección actual); asimismo, existe carencia de recursos para el manejo de áreas protegidas a un nivel que permita su mantenimiento y desarrollo, y la compensación de SA en terrenos estatales (dentro de áreas protegidas) podría convertirse en parte de la solución a esos problemas. En terrenos privados existe otra serie de condiciones que determinan áreas de prioridad para el PSA que deben ser definidas en cada área de conservación; en algunos casos las áreas de amortiguamiento y los ecosistemas frágiles son prioridad, sin embargo en áreas determinadas como *zonas rojas* (altas tasas de cambio de uso del bosque) la necesidad de la compensación de SA es imperiosa. Por otro lado, en las áreas de conservación donde tradicionalmente se ha desarrollado la actividad forestal es necesaria la compensación para impulsar el sector hacia los retos que enfrenta en el nuevo milenio.

## Referencias bibliográficas

Alfaro, M. "¿Cómo cuantificar el carbono fijado en los proyectos de implementación conjunta?", en: *Ambientico*, N° 53, 1997.

Andrasko, K. "El recalentamiento del globo terráqueo y los bosques: estado actual de los conocimientos", en: *Unasylva*, 41(163), 1990.

Aylward, B. 1993. *The economic value of pharmaceutical prospecting and its role in biodiversity conservation*. London Environmental Economic Center. IIED. London.

Barrantes, G.; E. Castro. 1998. *Valoración económica ecológica del agua en Costa Rica: internalización del valor de los servicios ambientales. Informe Final*. San José.

Beek, R.; S. Navas. 1993. *Técnicas de producción y calidad del carbón vegetal en los robledales de altura de Costa Rica*. Catie. Costa Rica.

Brown, S. "Papel actual y potencial de los bosques en el debate mundial sobre el cambio climático". *Unasylva*, 185 (47), 1996.

Brown, S. 1997. *Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono*. X Congreso Forestal Mundial. Turquía.

Bruijnzeel, L. 1990. *Hydrology of moist tropical forest and effects of conversion: a state of knowledge review*. Unesco - Free University Amsterdam.

Budowki, G. 1998. "Pago de servicios ambientales con énfasis en belleza escénica", en: *Proceso de Concertación Nacional, Comisión de Servicios Ambientales. Informe Final*. San José.

Calvopiña, L. 1992. *Estudio de los patrones de visita y las oportunidades recreativas en un área protegida de Costa Rica*. Catie. Costa Rica.

Carter, L. 1998. *Manual de evaluación de impacto ambiental*. Mc Graw Hill. Madrid.

Centro Científico Tropical. 1993. *Mapa ecológico de Costa Rica según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. Escala 1:200 000*. San José.

Convención Marco de Cambio Climático. 1997. *Protocolo de Kioto para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*.

Coseforma. 1994. *Inventario forestal de la zona norte de Costa Rica. Documento del proyecto N° 40*. San José.

Cumbre de la Tierra. 1992. *Convenio de Diversidad Biológica. Secretaria del Convenio sobre Diversidad Biológica*. Suiza.

De Groot, R. 1992. *Functions of nature. Evaluation of nature in environmental planning, management and decision making*. Wolters-Noordhoff.

Erickson, J. 1992. *El efecto invernadero*. McGraw-Hill. Madrid.

Fallas, J. 1996. *Cuantificación de la interceptación en un bosque nuboso. Monte de los Olivos, Cuenca del Río Chiquito, Guanacaste, Costa Rica*. Centro Científico Tropical. San José.

Fernández, W. 1991. *Cambios climáticos: El calentamiento global. Tecnología en Marcha*, 11(2).

Fonafifo, CCT, Ciedes, CI. 1998. *Estudio de cobertura forestal de Costa Rica empleando imágenes LANDSAT 1986/1987 y 1996/1997. Resumen*. Fonafifo, CCT, Ciedes, CI. San José.

Franco, M. 1993. *Determinación del potencial turístico orientado hacia la naturaleza de una región húmeda tropical en Costa Rica*. Catie. Costa Rica.

Hamilton, L. y A. Pearce. 1986. "Biophysical aspects in watershed management", en: *Watershed Resources Management: An integrated framework with studies from Asia and the Pacific*. Westview Press/Boulder and London. London.

Holdridge, L. 1982. *Ecología basada en zonas de vida*. IICA. San José.

Hudson, N. 1981. *Soil conservation*. Cornell University Press. London.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). 1997. *Instructivo de Plantas de Tratamiento de Filtración Rápida*. San José.

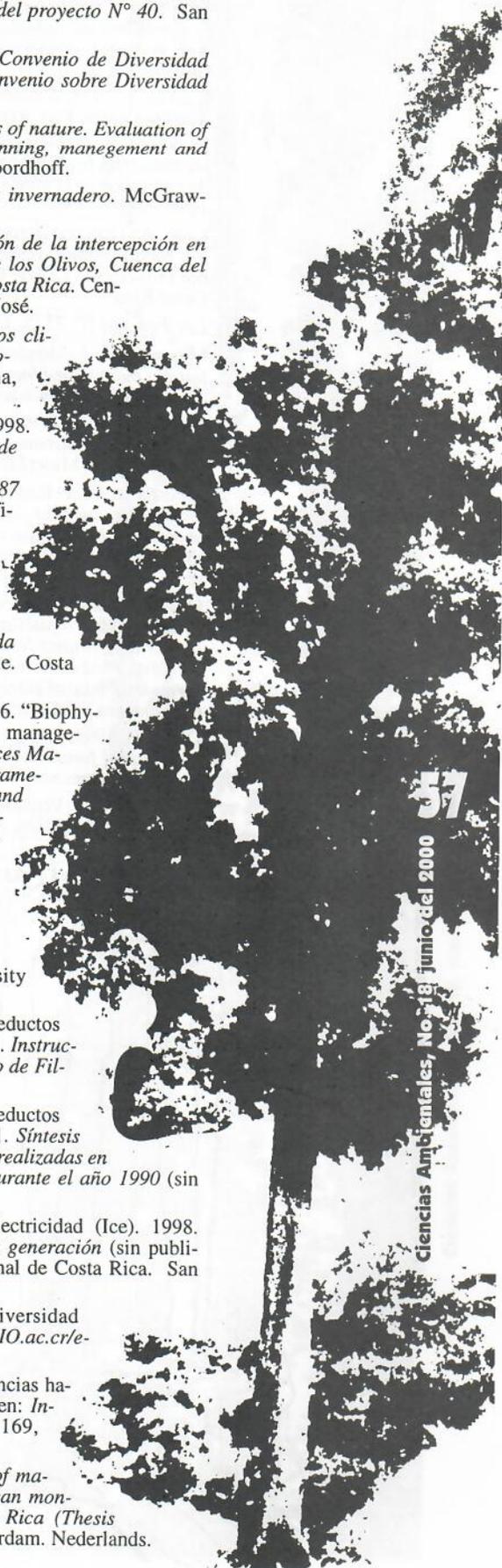
Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). 1991. *Síntesis de las principales actividades realizadas en la Planta Alta de Tres Ríos durante el año 1990* (sin publicar). Costa Rica.

Instituto Costarricense de Electricidad (Ice). 1998. *Programa de expansión de la generación* (sin publicar). Sistema Eléctrico Nacional de Costa Rica. San José.

Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio). 1999. <http://www.INBIO.ac.cr/en/invn/invent.html>.

Jones, P. y Wigley, T. "Tendencias hacia el calentamiento global", en: *Investigación y ciencia*, N° 169, 1990. Madrid.

Kappelle, M. 1995. *Ecology of mature and recovering Talamancan montane Quercus forests, Costa Rica (Thesis Ph.D)*. Universiteit van Amsterdam. Netherlands.



Kappelle, M. 1996. *Los bosques de roble (Quercus) de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica: biodiversidad, ecología, conservación y desarrollo*. INBio - Universidad de Amsterdam. Costa Rica.

Kunkle, S. 1975. *An introduction to forest hydrology. Teaching notes*. Fao. Roma.

Kyrklund, B. "Cómo pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera", en: *Unasyuva*, 41 (163), 1990.

León, A. 1998. *Lo deseable y lo posible en la Ley sobre Biodiversidad*. (inédito; presentado en debate sobre Proyecto de Ley de Biodiversidad en Edeca-Una). Costa Rica.

*Ley Forestal N° 7575*. 1996. IJSA. San José.

Maginnis, S; J. Méndez y J. Davies. 1998. *Manual para el manejo de bloques pequeños de bosque húmedo tropical*. DFID-Codeforsa. Costa Rica.

Mideplan. 1996. *Principales indicadores ambientales de Costa Rica. Sistema de Indicadores sobre Desarrollo Sostenible*. Mideplan. San José.

Mourraille, C.; I. Porras y B. Aylward. 1995. *La protección de cuencas hidrográficas: una bibliografía anotada de hidrología, valoración económica e incentivos económicos*. Centro Científico Tropical. San José.

Oficina Costarricense de Implementación Conjunta (Ocic). 1996. *Propuesta para la consolidación territorial de los Parques Nacionales y Reservas Biológicas de Costa Rica como depósitos de gases con efecto invernadero, bajo el marco de implementación conjunta (Documento para discusión)*. Ocic. San José.

Olson, B. 1994. *An ecological economic flow analysis of natural forest silviculture and blackberry harvesting in a Talamanca montane range community*.

Otárola, M. e I. Venegas. 1999. *Propuesta de un sistema de compensación de servicios ambientales para*

*los robledales de la Cordillera de Talamanca (Tesis de Licenciatura, Una)*. Costa Rica.

Pedroni, L. 1991. *Sobre la producción de carbón en los robledales de altura de Costa*. Catie. Costa Rica.

Proyecto Estado de la Nación. 1998. *Estado de la nación en desarrollo humano sostenible N°4*. San José.

Quirós, D. y M. Gómez. 1998. *Manejo sustentable de un bosque primario intervenido en la zona Atlántica Norte de Costa Rica: análisis financiero*. Catie. Costa Rica.

Ramírez, P. "Efecto invernadero: guerra declarada", en: *Revista Forestal Centroamericana*, 19(6), 1997

Rodríguez, J. 1998. *La convención del cambio climático y los mercados del carbono*. San José.

Rodríguez, R. 1989. *Impactos del uso de la tierra en la alteración del régimen de caudales, la erosión y sedimentación de la cuenca superior del río Reventazón y los efectos económicos en el proyecto hidroeléctrico de Cachí, Costa Rica (Tesis M.Sc.Catie)*. Costa Rica.

Rodríguez, S. "Esclarecer el significado del término biodiversidad", en: *Ciencias Ambientales*, N° 13, 1997.

Segura, M. 1997. *Almacenamiento y fijación de carbono en Quercus costaricensis, en un bosque de altura en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica (Tesis Lic. Una)*. Costa Rica.

Seoáñez, M. 1997. *El medio ambiente en la opinión pública*. Edición Mundiprensa. España.

Solís, V. y P. Madrigal. 1998. *Pago de servicios ambientales relacionados con la biodiversidad y la belleza escénica* (sin publicar; presentado en la Comisión de Concertación sobre Servicios Ambientales). San José.

Stadtmüller, T. 1994. *Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales, medidas para mitigarlo*. Catie. Costa Rica.

Tattembach, F. 1998. "Valoración económica de los servicios ambientales: la experiencia en Costa Rica", en: *La conservación y el uso de la biodiversidad para el desarrollo sostenible*. Bid/Mideplan. San José.

Turcios, W. 1995. *Producción y valoración económica del componente hídrico y forestal de los robledales de altura bajo intervenciones silviculturales (Tesis M.Sc. Catie)*. Costa Rica.

White, R. "El gran debate sobre el clima", en: *Investigación y ciencia* N°168, 1990. Madrid.

Wiersum, K. F. "Surface erosion under various tropical agroforestry systems", en: L.O. O'Loughlin & A. J. Pearce (Eds). 1984. *Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability*. Environmental & Policy Institute, East-West center. Hawaii, USA.

Zadroga, F. 1981. "The hydrological importance of a montane cloud forest area of Costa Rica", en: *Tropical agricultural Hydrology*. New York, Willey. USA.

### Comunicaciones personales

Aguirre, Juan (Escuela de Postgrado, Catie). 1998.

Alfaro, Marielos (Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional). 1998.

Alfaro, Rosario (Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional). 1998.

Alpízar, Edwin (Instituto Meteorológico Nacional). 1998.

Calvo, Julio (Centro Científico Tropical). 1998.

Castro, Edmundo (Centro Internacional de Política Económica). 1998.



Chang, Ronald (Área de Conservación Amistad Atlántico). 1998.

Chaverri, Adelaida (Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional). 1998.

Echeverría, Jaime (Centro Científico Tropical) 1998.

Fallas, Jorge (Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional). 1998.

Faustino, Jorge (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1998.

Finegan, Bryan (ProsiBona, Catie). 1998.

García, Randall (Departamento de Conservación, INBio). 1998.

Gómez, Enrique (productor de mora). 1999.

Gómez, Manuel (Departamento de Economía, Catie). 1998.

Jaubert, Marco. (Departamento de Hidrología, Ice). 1998.

Jiménez, Jorge (Organización para los Estudios Tropicales). 1998.

Kappelle, Marteen (Departamento de Ecología, INBio). 1998.

Losilla, Marcelino (Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica). 1998.

Matamoras, German (Departamento de Aguas Subterráneas, Senara). 1998.

Mora, Pablo (Planta Hidroeléctrica de Río Macho, Ice). 1998.

Núñez, Margarita (Consultoría Mérida S.A.). 1998.

Ortíz, Rosalba (Departamento de Economía, Catie). 1998.

Quirós, Ligia (Área de Conservación Amistad Pacífico). 1999.

Rodríguez, Silvia (Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional). 1998.

Sáenz, Grace (ProsiBona, Catie). 1998.

Salazar, Rodolfo (Banco Latinoamericano de Semillas Forestales, Catie). 1998.

Solís, Vivian (Departamento de Vida Silvestre, UICN-Homa). 1998.

Solórzano, Raúl (Ministerio del Ambiente y Energía). 1998.

Tamayo, Guiselle (Departamento de Bioprospección, INBio). 1998.

Tattembach, Franz (Oficina Costarricense de Implementación Conjunta). 1998.

Venegas, Arturo (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal). 1998.

Watson, Vicente (Centro Científico Tropical). 1998.

Zamora, Nelson (Departamento de Botánica, INBio). 1998.

## Notas

- <sup>1</sup> Movimiento vertical del agua en las capas del suelo.
- <sup>2</sup> Este término es usado para denominar la suma de la transpiración y la interceptación vertical.
- <sup>3</sup> Lluvia interceptada por el dosel y evaporada directamente a la atmósfera.
- <sup>4</sup> Proceso por el cual la neblina que incide en la vegetación se condensa en las copas y gotea.
- <sup>5</sup> También influirá el tamaño y forma de la cuenca, el patrón de drenaje, los tiempos de concentración que se producen y el patrón de distribución temporal y espacial de la precipitación.

<sup>6</sup> Los proyectos de generación de energía hidroeléctrica entran en el mismo comercio de reducción de emisiones. La reducción de emisiones se calcula por el desplazamiento del uso de combustibles fósiles.

<sup>7</sup> Uso de la biodiversidad como fuente de materia prima para la elaboración de productos farmacológicos.

<sup>8</sup> La Ley Forestal N° 7.575 (1996) en su art. 19, establece la ilegalidad del cambio de uso en terrenos boscosos; sin embargo, estudios demuestran que aún existe un proceso ilegal de cambio de uso. Fonafifo *et al* (1998) estimaron una pérdida de 16.424 Ha./año de cobertura boscosa para el periodo 1986/87 y 1996/97.

<sup>9</sup> Convención Marco de Cambio Climático.

<sup>10</sup> En términos de aplicabilidad, un mecanismo que compense a una misma área por beneficios brindados en "efecto de cascada", puede resultar poco factible, debido a que el usuario ubicado en la parte baja de la cuenca podría evitar el pago de un área ya compensada por el usuario ubicado en la parte alta, pues el propietario de los terrenos ya asumió el compromiso de conservación del mismo.

<sup>11</sup> Otros beneficios, como la reducción de costos de limpieza de infraestructura y la reducción de los volúmenes de lodo evacuados, no son considerados debido a la falta de registros de información sistematizada. Sin embargo, se debe tener en cuenta que existen esos otros factores y que los beneficios estimados pueden ser mayores.

<sup>12</sup> F. Tattembach. *Ocic*, 1999. *Com. Pers.*

<sup>13</sup> Anualización del monto de PSA para bosques manejados ( $T_i = 5\%$ )

