

Fallas, Agustín

Pago por servicios ambientales en las cuencas Sarapiquí y Toro: implicaciones teóricas y técnicas de un análisis de factibilidad

Revista de Ciencias Ambientales, vol. 40, núm. 1, julio-diciembre, 2010, pp. 3-18  
Universidad Nacional  
Heredia, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=665070692001>



# Revista de CIENCIAS AMBIENTALES

## Tropical Journal of Environmental Sciences



**Pago por servicios ambientales en las cuencas Sarapiquí y Toro: implicaciones teóricas y técnicas de un análisis de factibilidad**

***Payment for Environmental Services in the Sarapiquí y Toro Basins: Theoretical and Technical Implications from a Feasibility Analysis***

***Agustín Fallas <sup>a</sup>***

<sup>a</sup> El autor, politólogo especialista en economía política del desarrollo, es investigador en el Observatorio del Desarrollo de la Universidad de Costa Rica (UCR) y profesor en esta universidad., Costa Rica.

**Director y Editor:**

Dr. Eduardo Mora-Castellanos

**Consejo Editorial:**

Enrique Lahmann, UICN , Suiza  
Enrique Leff, UNAM, México  
Marielos Alfaro, Universidad Nacional, Costa Rica  
Olman Segura, Universidad Nacional, Costa Rica  
Rodrigo Zeledón, Universidad de Costa Rica  
Gerardo Budowski, Universidad para la Paz, Costa Rica

**Asistente:**

Rebeca Bolaños-Cerdas

# Pago por servicios ambientales en las cuencas Sarapiquí y Toro: implicaciones teóricas y técnicas de un análisis de factibilidad

AGUSTÍN FALLAS

## RESUMEN/ABSTRACT

El artículo presenta algunas conclusiones teóricas y técnicas sobre el pago por servicios ambientales en zonas de alta vulnerabilidad a la deforestación, su contribución al mantenimiento de la cobertura boscosa y a la regulación del flujo hídrico de las cuencas. Asimismo, el trabajo presenta y aplica un modelo para demostrar la correlación entre la cobertura boscosa de las cuencas hidrográficas del país y la cantidad y calidad de agua que escurre a través de sus ríos; de manera que las plantas hidroeléctricas a filo de agua instaladas o que se instalen sobre los ríos que drenan una cuenca tendrán ventajas económicas si esta última se mantiene forestada. Finalmente, se aplica el modelo a las cuencas de Sarapiquí y Toro donde el Instituto Costarricense de Electricidad (Ice) desarrollaba proyectos hidroeléctricos en el momento del estudio.

*This paper presents some theoretical and technical conclusions on the contribution of Forest Ecosystem Services to the reduction of deforestation rates in highly vulnerable areas of the Costa Rican Central Mountain Range and to the regulation of watersheds, and the resulting increased profitability of investments in hydro-electrical power plants. Particularly, the paper presents and applies a model to estimate different internal rates of return for investments in hydro-electrical power plants based on different percentages of Forest Ecosystem Services payment in the Sarapiquí and Toro watersheds where the Costa Rican public utility company Ice was building two hydro plants at the time of the study.*

Palabras clave: pago por servicios ambientales, deforestación, protección de cuencas, energía limpia, conservación del bosque, rentabilidad de la inversión en plantas hidroeléctricas, tecnologías financieras para la conservación del bosque, Fonafifo, Fundecor.

Key words: Forest Ecosystem Services, deforestation deterrents, watershed protection, clean energy, forest conservation, rates of return for investments in hydro-electrical power plants, financial technologies for forest conservation, Fonafifo, Fundecor.

El presente trabajo es producto de una investigación diseñada y ejecutada entre febrero y mayo de 2002, cuando me desempeñaba como director de políticas y transferencia de tecnología en Fundecor, en ese momento enfocada en revertir la tasa de deforestación de la Cordillera Volcánica Central Costarricense. Durante ese período, tuve el privilegio de acceder a fuentes primarias sobre el desarrollo de los servicios ambientales en Costa Rica, su implementación en el Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central (ACCVC), así como su efectividad para reducir la tasa de deforestación en las fincas que mantienen convenios con

El autor, politólogo especialista en economía política del desarrollo, es investigador en el Observatorio del Desarrollo de la Universidad de Costa Rica (UCR) y profesor en esta universidad. [Fecha de recepción: enero, 2011. Fecha de aceptación: marzo, 2011.]

Fundecor en la zona de Puerto Viejo de Sarapiquí, Costa Rica. En esa medida, este trabajo incorpora insumos generados por investigaciones previas, así como observaciones realizadas por el autor durante su gestión en Fundecor.

En cuanto a las investigaciones previas, este trabajo incorpora ideas de un artículo que escribí para Fundecor (Fallas, 1999), que contiene un modelo experimental para probar una variable compleja. Esto es, la combinación de pago por servicios ambientales (PSA) y el manejo forestal certificado por el Forest Stewardship Council (FSC), como la variable explicativa de por qué, entre 1992 y 1996, se recuperaron cerca de 20 000 hectáreas de cobertura boscosa en las áreas del ACCVC donde Fundecor

tenía convenios.<sup>1</sup> En 2001, Fundecor procesó los datos de una nueva medición de la cobertura boscosa del ACCVC realizada con fotos satelitales del año anterior, lo que permitió añadir una observación más al experimento original. Estas mediciones están contenidas y explicadas en este artículo en el mapa 3, así como en el cuadro 1 y en la figura 1.

Con respecto a las observaciones, una importante y directamente relacionada con este trabajo tuvo lugar en mayo de 2001 mientras entrevistaba a uno de los miembros de la Junta Directiva de Fundecor quien, simultáneamente, era directivo del Instituto Costarricense de Electricidad (Ice). Durante esa conversación comprendí que el directivo desconocía cuánto y cómo la estrategia de pago por servicios ambientales, el manejo forestal certificado y la reforestación de Fundecor podían ayudar al Ice no sólo a ejecutar sus planes de protección de cuencas y de compensación a las comunidades afectadas por los desarrollos hidroeléctricos, sino, sobre todo, a maximizar la rentabilidad de estas inversiones en el mediano y largo plazo. La entrevista también permitió observar que el Ice ejecutaba sus planes de reforestación y protección de cuencas al margen de los sistemas y mecanismos que, para esos efectos, ha desarrollado el Estado costarricense, por ejemplo, los contenidos en la Ley Forestal 7575. Esta observación motivó, a inicios de 2002, el diseño y la ejecución del presente trabajo como un intento de persuadir al Ice de aliarse estratégicamente con Fundecor y adoptar el esquema del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (Fonafifo) de pago por servicios ambientales en el desarrollo de sus nuevos proyectos hidroeléctricos y, en particular, en los que en ese momento se iniciaban en las cuencas de Toro y Sarapiquí.

Con ese propósito, el presente trabajo partió de un estudio realizado en 2000 por los ingenieros Teófilo de la Torre y Agustín Rodríguez, a solicitud de la Oficina Costarricense de Implementación Conjunta (Ocic) que analiza el impacto de la conservación del bosque en la generación hidroeléctrica. De ese estudio, el trabajo tomó el modelo desarrollado por De la Torre y Rodríguez para calcular los costos de la deforestación sobre la producción de energía eléctrica y lo aplicó a los casos de Toro y Sarapiquí,

<sup>1</sup> En 1986 la cobertura boscosa del área de conservación de la Cordillera Volcánica Central era de 204 000 hectáreas, de las cuales 71 000 correspondían a parques nacionales. Sin embargo, en 1992 la cobertura boscosa se redujo a 161 000 hectáreas y se deforestaban 7 000 hectáreas por año. (...) En 1996, luego de haber introducido los mecanismos financieros de mercado, diseñados por Fundecor, para la conservación y el desarrollo de esta cordillera, la cobertura boscosa del ACCVC aumentó a 180 000 hectáreas. Esta evidencia muestra que hubo una recuperación, esto es, que entre la medición de 1992 y la de 1996 no se perdió bosque sino que, más bien, se ganó y, consecuentemente, la tasa de deforestación del ACCVC bajó significativamente (Fallas, 1999).

utilizando datos primarios de los proyectos Cariblanco y Toro I-II provistos directamente por el Ice. Durante todo el proceso de investigación se tuvo el apoyo institucional y analítico de Franz Tattenbach, en aquel momento director ejecutivo de Fundecor, y del departamento de sistemas de información geográfica en el campo técnico. Para la realización de los cálculos y aplicación del modelo a los datos provistos por el Ice, se contó con la importante ayuda de Pablo Sauma, economista y amigo, quien gentilmente colaboró con el estudio. Dejo constancia acá de su participación en el proyecto y de mi agradecimiento por su significativo aporte y colaboración. Asimismo, es importante agradecer la valiosa colaboración de la ingeniera Rosario Incer-Arias y del ingeniero Salvador López, ambos del Ice, quienes en aquel momento sirvieron de contraparte y gentilmente suministraron los datos requeridos sobre los proyectos Cariblanco y Toro I-II. En la Ocic el ingeniero Pablo Manso aportó el estudio de C. T. Energía S. A. Por su parte, el ingeniero Agustín Rodríguez tuvo la amabilidad de validar, en persona, la aplicación realizada del modelo desarrollado por él y Teófilo de la Torre, y presentar su visión del desarrollo energético de Costa Rica. El resultado de este proceso investigativo es el análisis de factibilidad que se presenta a continuación con mínimas modificaciones, para hacerlo más asequible al lector.

Si bien el análisis de factibilidad se completó en mayo de 2002, sus implicaciones teóricas y técnicas siguen vigentes. La primera, que es posible predecir cuáles son las áreas más vulnerables a la deforestación. Segundo, que la combinación de pago por servicios ambientales y el manejo forestal certificado es un instrumento altamente efectivo para reducir la tasa de deforestación en las áreas de riesgo. Tercero, que dicha reducción en la deforestación regula el flujo hídrico, protege las cuencas mejorando la calidad de sus aguas y, sobre todo, incrementa la rentabilidad de las inversiones hidroeléctricas. De esta forma se establece una relación clara entre conservación del bosque, la provisión del servicio ambiental de regular y proteger el recurso hídrico provisto por el bosque y los actores económicos, tanto públicos como privados, que capturan este beneficio. Se muestra así cómo la conservación del bosque se convierte en un insumo central de la economía nacional y global. Sobra decir que la responsabilidad de las tesis acá presentadas es exclusivamente mía.

## Las preguntas y la estructura

¿Por qué es importante para el Ice pagar servicios ambientales en las cuencas Toro y Sarapiquí? ¿Cuáles son las ventajas que ofrece al Ice la implementación, en las cuencas de Toro y Sarapiquí, de la estrategia de conservación forestal desarrollada por Fundecor? El presente documento pretende responder a

estas preguntas a partir de la experiencia de Fundecor en la implementación de tecnologías para la detención de la deforestación en la Cordillera Volcánica Central, así como en estudios realizados por Fundecor y, Teófilo de la Torre y Agustín Rodríguez sobre la rentabilidad de la inversión en conservación de la cobertura boscosa circundante de las cuencas acuíferas. El objetivo central de la presente propuesta técnica es ofrecer al Ice elementos para la toma de decisiones en relación con su participación en el sistema de pago por servicios ambientales en las cuencas de los ríos Toro y Sarapiquí.

Con este propósito, el trabajo presenta en su primera sección el modelo de áreas críticas desarrollado por Fundecor, que es parte del instrumental técnico utilizado por esta entidad para predecir la deforestación y focalizar esfuerzos y recursos en aquellas áreas de mayor riesgo. En esta propuesta, el modelo de áreas críticas se aplica a las cuencas de Toro y Sarapiquí, a fin de mostrar los niveles de riesgo y las tasas brutas y netas de deforestación que el modelo predice para esas cuencas. De la misma forma, en esta segunda sección se muestra la correlación entre la presencia relativa de Fundecor, en las zonas del ACCVC donde se concentra su trabajo y la caída en las tasas brutas de deforestación en esas zonas específicas. Ello con el fin mostrar la efectividad del pago por servicios ambientales y el manejo forestal certificado como tecnologías desarrolladas por Fundecor para la detención de la deforestación en el país. Esta información se complementa con las tasas de deforestación observadas vía procesamiento de información satelital en los períodos 1986-1992, 1992-1996 y 1996-2000.

La segunda parte del trabajo se centra en la presentación de los datos de cobertura forestal, los niveles de criticidad y las tasas de deforestación específicos para las cuencas de Toro y Sarapiquí. Para el anterior fin se aplicará el modelo de áreas críticas a las dos cuencas en estudio. A partir de estos datos sobre las cuencas, la sección cuatro presenta la propuesta de Fundecor para estabilizar las cuencas de Toro y Sarapiquí con una penetración de esta orden de un 55 %. Finalmente, la última sección aplica el modelo desarrollado por Agustín Rodríguez y Teófilo de la Torre para calcular los costos de la deforestación sobre la producción de energía eléctrica a los casos de los proyectos hidroeléctricos que se ejecutarán en las cuencas de Toro y Sarapiquí. Esto con el fin de presentar un análisis de costo-beneficio de la rentabilidad de la inversión del Ice en pago por servicios ambientales en las cuencas de Toro y Sarapiquí.

## El modelo de áreas críticas de Fundecor

Al iniciar sus operaciones en 1991, Fundecor elaboró un diagnóstico de las principales amenazas que enfrentaban tanto los parques nacionales como las áreas de amortiguamiento, entendidas estas como los bosques privados que circundan los parques nacionales, donde ocurre la mayor parte de la deforestación. Con el fin de focalizar sus recursos, Fundecor tomó la decisión de elaborar un modelo de áreas críticas que permitiera determinar las zonas del ACCVC en que se presentarían las tasas de deforestación más altas y en donde, por consiguiente, sería más efectivo concentrar los esfuerzos de la institución. Se definieron como áreas críticas aquellas que, por sus características físicas, sociales y económicas, son zonas de alto riesgo potencial para los recursos naturales.

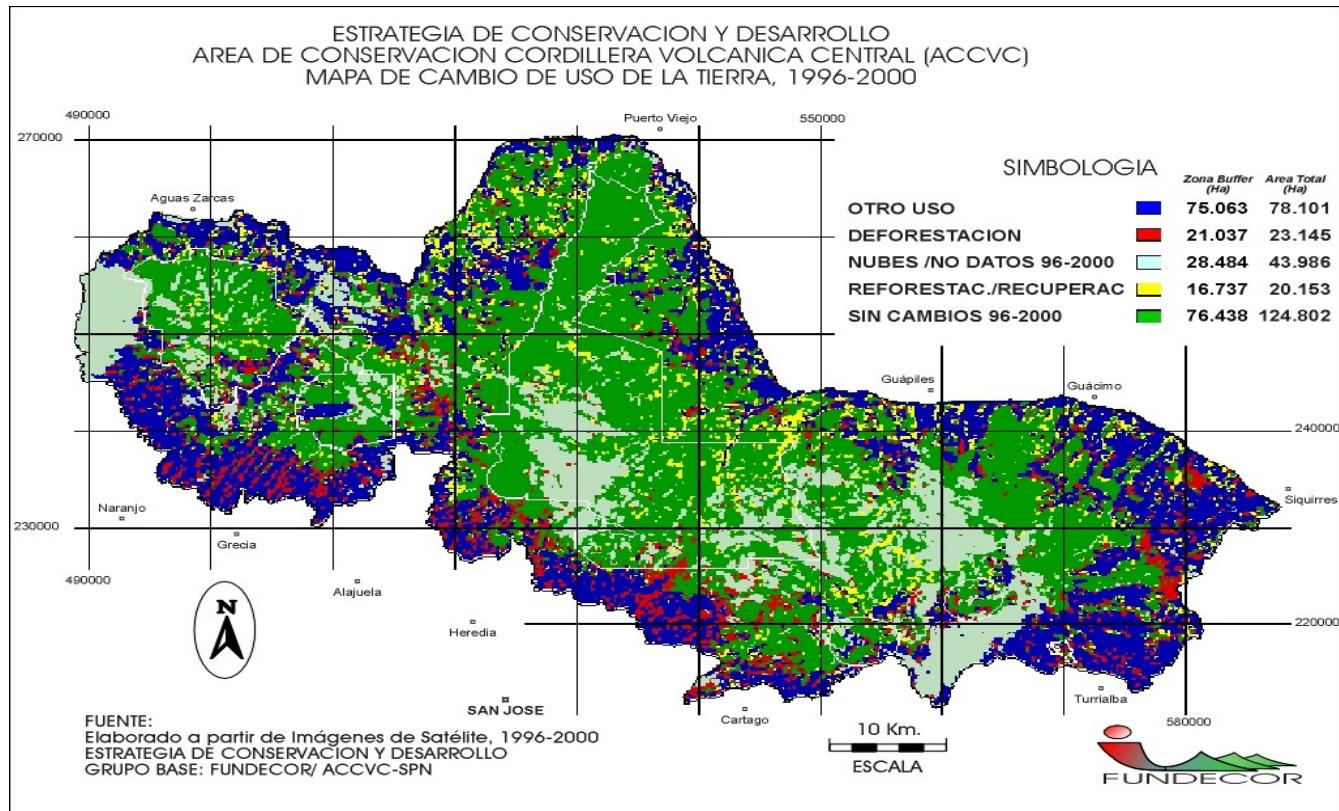
Utilizando tecnologías informáticas, fotos satelitales y sistemas de información geo-referenciados, Fundecor desarrolló un modelo geográfico que combina los factores socioeconómicos que ponen presión sobre el bosque, con el fin de elaborar un mapa que precisara los distintos niveles de criticidad o amenaza que enfrenta una región boscosa particular. El modelo de áreas críticas permite no sólo predecir las tasas de deforestación correspondientes a una región particular, dependiendo de su nivel de criticidad, sino, además, hace posible que Fundecor focalice sus recursos en esas áreas de mayor amenaza para el bosque.

Los cinco factores socioeconómicos que incluye el modelo de áreas críticas como fuentes de amenaza para el bosque son:

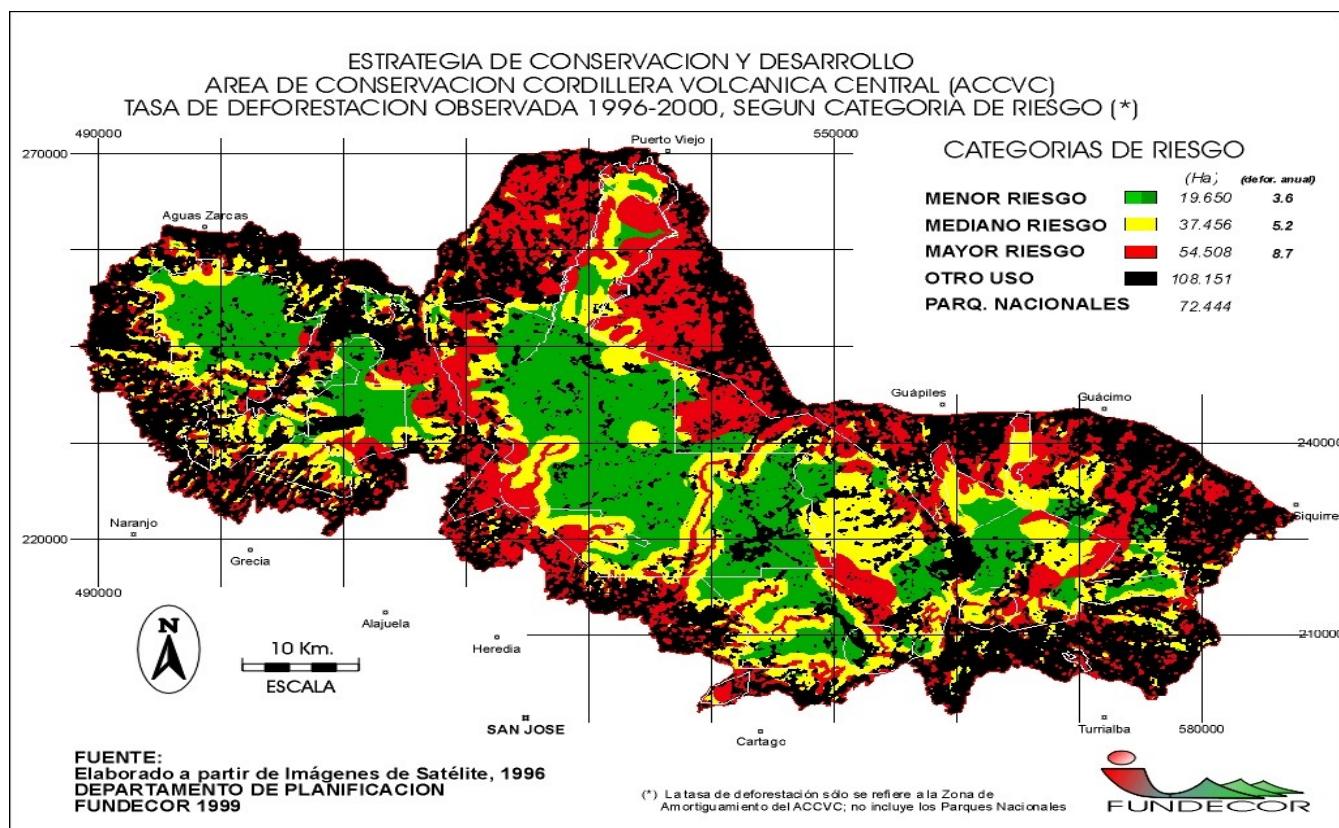
1. Densidad de población.
2. Infraestructura vial.
3. Pendiente reducida.
4. Actividad maderera, i.e., planes de aprovechamiento.
5. Existencia de poblaciones cercanas, i.e., asentamientos del Instituto de Desarrollo Agrario (Ida).

En los siguientes dos mapas se puede observar el cambio en el uso del suelo (mapa 1) y las áreas críticas (mapa 2). Ambos corresponden al Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central (ACCVC) para el período 1996-2000. El mapa de áreas críticas (mapa 2) complementa el de cambio de uso del suelo y presenta las tasas brutas de deforestación que el modelo predice para cada uno de los niveles de criticidad contemplados, i.e., menor, mediano y mayor riesgo.

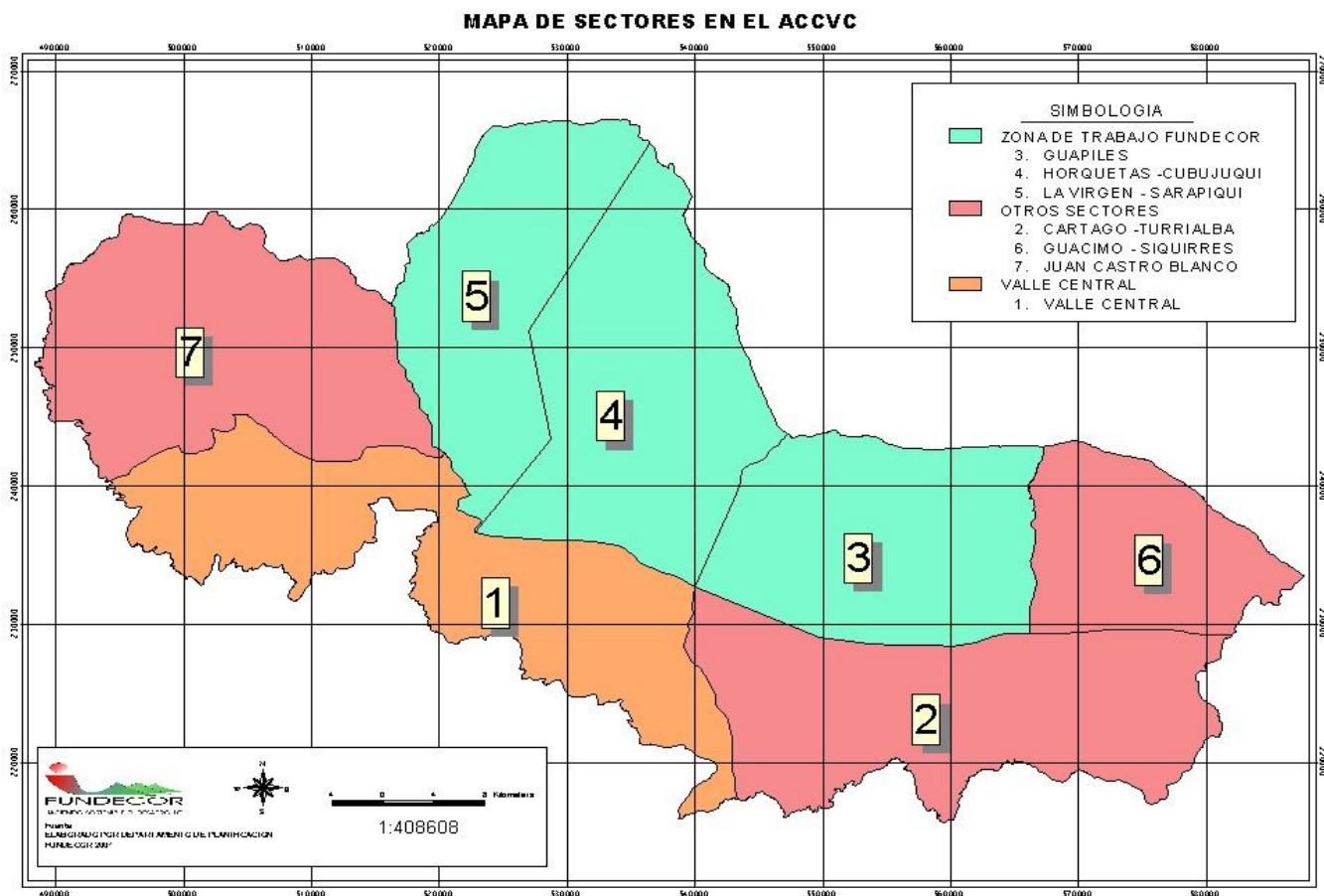
Mapa 1. Cambio de uso de la tierra, 1996-2000



Mapa 2. Tasa de deforestación observada 1996-2000



Mapa 3. Regiones del ACCVC donde Fundecor concentra su trabajo



Cuadro 1. Tasa (%) anual de deforestación 1986-1992, 1992-1996 y 1996-2000

| DEFORESTACION<br>BRUTA | ACCVC | PN   | Zona de Amortiguamiento |      | Zona de Amortiguamiento sin VC |              |         |
|------------------------|-------|------|-------------------------|------|--------------------------------|--------------|---------|
|                        |       |      | TOTAL                   | VC   | TOTAL                          | ZT FUNDECOR* | OTROS** |
|                        |       |      |                         |      |                                |              |         |
| 86/92                  | 5.7   | 2.4  | 7.3                     | 9.4  | 7.0                            | 7.6          | 8.3     |
| 92/96                  | 4.4   | 1.7  | 6.0                     | 5.3  | 6.1                            | 5.0          | 7.4     |
| 96-2000                | 4.2   | 1.1  | 5.9                     | 14.6 | 4.4                            | 2.3          | 7.3     |
| DEFORESTACION<br>NETA  |       |      |                         |      |                                |              |         |
| 86/92                  | 3.8   | 1.8  | 4.7                     | 2.6  | 5.3                            | 5.9          | 5.2     |
| 92/96                  | -2.6  | -1.9 | -2.9                    | -9.8 | -1.8                           | -0.7         | -3.1    |
| 96/2000                | 0.5   | -0.6 | 1.1                     | 11.0 | -0.5                           | -2.7         | 2.5     |

$$\text{Deforestación Bruta} = 1 - \left( \frac{B_{\text{final}}}{B_{\text{inicial}}} \right)^{1/n}$$

$$\text{Deforestación Neta} = 1 - \left[ \left( \frac{B_{\text{final}} + \text{Regeneración}}{B_{\text{inicial}}} \right) \right]^{1/n}$$

\*Horquetas, La Virgen, Guápiles  
\*\* Juan Castro Blanco, Siquirres-Guácimo, Cartago-Turrialba

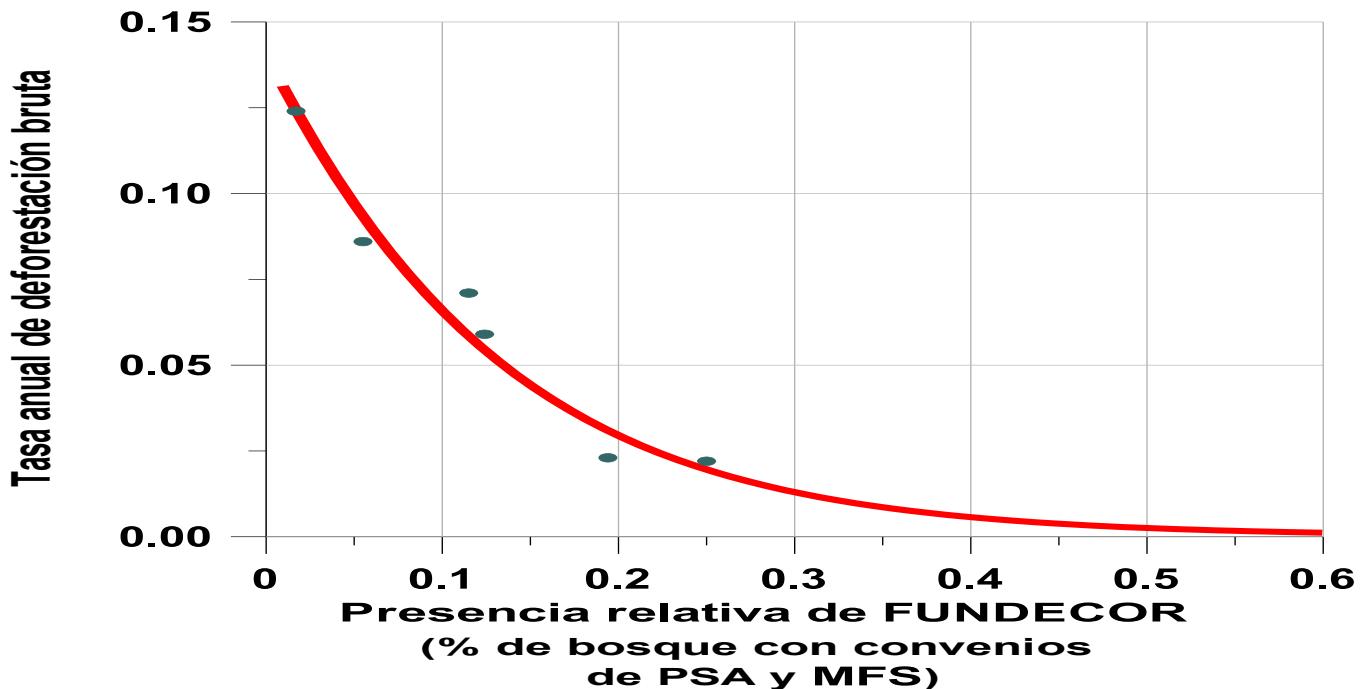


Figura 1. Regresión presencia relativa de Fundecor/tasas brutas de deforestación anual

Por otra parte, como se mencionó más arriba, el modelo de áreas críticas permite a Fundecor focalizar sus recursos en las regiones de más alto riesgo de deforestación. Esta concentración de recursos ha permitido, a la vez, una correlación entre la presencia de la institución y la caída en las tasas de deforestación brutas y netas en aquellas regiones donde Fundecor ha implementado la estrategia combinada de pago por servicios ambientales y manejo forestal certificado. El siguiente mapa (mapa 3) muestra las regiones del ACCVC en donde Fundecor ha concentrado su trabajo: zonas 3, 4 y 5, que coinciden con aquellas en que el mapa de áreas críticas (mapa 2) indica un alto riesgo de deforestación con una tasa bruta del 8,7 % anual.

A partir de la clasificación de regiones mostrada en el mapa 3, el cuadro 1 muestra las tasas brutas y netas de deforestación anual del ACCVC para los períodos 1986-1992, 1992-1996 y 1996-2000. En el cuadro 1, la columna de zona de trabajo de Fundecor refiere a los distritos de Guápiles, Horquetas y La Virgen que, en el mapa 3, corresponden respectivamente a las regiones 3, 4 y 5. En esas tres regiones existe una alta penetración del pago por servicios ambientales y del manejo forestal certificado como componentes de la estrategia de Fundecor para la contención de la deforestación, las tasas tanto brutas como netas son, significativamente, más bajas que en aquellas regiones donde la presencia de Fundecor es muy baja o nula.

Las tasas anuales de deforestación bruta y neta en las regiones donde la intervención de Fundecor es muy baja, correspondiente a las regiones 2, 6 y 7

del mapa 3, están contenidas en el cuadro 1, bajo la columna *otros*. Como puede observarse en el cuadro 1, las tasas brutas de deforestación anual para las zonas de trabajo de Fundecor correspondientes a los períodos 1986-1992, 1992-1996 y 1996-2000 fueron de 7,6 %, 5,0 % y 2,3 %, respectivamente. Por su parte, las tasas netas de deforestación anual, para esos mismos períodos, representaron respectivamente el 5,9 %, -0,7 % y -2,7 %, con la salvedad que en los períodos de 1992-1996 y 1996-2000 no sólo se detuvo la deforestación sino que se ganó bosque. Esto contrasta con las regiones de baja intervención de Fundecor, en donde la tasa bruta de deforestación anual fue mucho más alta durante los mismos períodos, como puede corroborarse en el cuadro 1.

La presente sección estuvo guiada por el objetivo de presentar al Ice el modelo de áreas críticas, desarrollado por Fundecor, para predecir la deforestación y poder focalizar sus recursos en aquellas áreas que el modelo determina como de mayor riesgo. Asimismo, se mostró como la focalización de Fundecor en estas regiones de mayor riesgo de deforestación permitió a la institución medir la efectividad de su estrategia de contención de la deforestación, compuesta por el pago por servicios ambientales y el manejo forestal certificado. Como se indicó anteriormente, la efectividad de esta estrategia de contención de la deforestación implementada por Fundecor se manifiesta en tasas brutas y netas de deforestación anual más bajas que en aquellas regiones del Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central (ACCVC) donde la presencia de Fundecor es baja o nula.

Con el fin de contrastar estadísticamente esta correlación entre la presencia relativa de Fundecor y las tasas de deforestación más bajas, se desarrolló la siguiente regresión que muestra un  $R^2$  de 0,94. Esto es, conforme se incrementa la presencia relativa de Fundecor, las tasas brutas anuales de deforestación bajan muy significativamente. Cuando la presencia relativa de Fundecor alcanza el 55 %, la tasa bruta anual de deforestación es 0, indicando que con ese nivel de penetración es posible estabilizar una región particular. Lo anterior es de gran importancia para el caso particular de las cuencas de Sarapiquí y Toro pues, como veremos más adelante, permite a Fundecor garantizarle al Ice que en el lapso de 3 años se alcanzará ese nivel del 55 % de presencia en las cuencas. Por lo tanto, a partir de ese tercer año, las tasas netas de deforestación en las cuencas de Sarapiquí y Toro –donde el Ice desarrolla los proyectos de Cariblanco y Toro I-II–, serán igual a cero.<sup>2</sup>

El propósito de la presente sección consistió en mostrar el instrumental técnico-metodológico que Fundecor ha desarrollado en los últimos 10 años para analizar y predecir las tasas de deforestación de distintas regiones del Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central (ACCVC), así como para detener la deforestación en aquellas regiones clasificadas como de alto riesgo, mediante la aplicación de la estrategia combinada de pago por servicios ambientales y manejo forestal certificado. La siguiente parte de este trabajo se centra en la presentación de los datos de cobertura forestal, los niveles de criticidad y las tasas de deforestación específicas para las cuencas de Toro y Sarapiquí. Para este fin, se aplicará el modelo de áreas críticas, arriba explicado, a las dos cuencas en estudio.

## Conservación del bosque y rentabilidad de la inversión en energía limpia: Propuesta de pago por servicios ambientales en las cuencas Sarapiquí y Toro

La presente sección está dedicada a mostrar la situación forestal actual de las cuencas de Sarapiquí y Toro, con el fin de explicar la propuesta preparada por Fundecor para intervenir las dos cuencas donde el Ice desarrolla los proyectos hidroeléctricos Cariblanco y Toro I-II. A su vez, mediante una intervención del 55 %, la institución pretende estabilizar forestalmente la región y reducir las tasas netas de deforestación anual a 0 %. En la sección anterior, se explicó, detalladamente, tanto el modelo de análisis y predicción de la deforestación utilizados por Fun-

decor para focalizar su trabajo y recursos, i.e., modelo de áreas críticas, como la estrategia de contención de la deforestación implementada por esta entidad en el ACCVC. Asimismo, se mostró la efectividad de esta estrategia mediante la correlación de las tasas brutas de deforestación anual y la presencia relativa de Fundecor en las distintas regiones del ACCVC (figura 1). Seguidamente, el trabajo analiza la situación forestal de las cuencas Sarapiquí y Toro a partir de los datos generados por el modelo de áreas críticas y, a partir de ellos, presenta la propuesta de esta institución para estabilizar la cobertura boscosa de las cuencas de los ríos Sarapiquí y Toro.

En la cuenca de Toro, el Ice opera dos plantas hidroeléctricas de filo de agua: Toro I y Toro II. En la cuenca de Sarapiquí, esta institución estatal planea poner en funcionamiento la planta Cariblanco, que es también de filo de agua. Esta cuenca tiene una área total de 13 726 hectáreas y Toro de 16 341 hectáreas, alcanzando 30 067 hectáreas, entre ambas. De ese total, 11 347 hectáreas corresponden a parques nacionales y 18 720 hectáreas a la zona de amortiguamiento (*buffer*), según se detalla en el cuadro 2.

La situación del uso de la tierra contenida en el cuadro 2 se presenta, a su vez, en el mapa 4 utilizando las mismas categorías, pero de manera georeferenciada. Por su parte, el mapa 5 complementa el de cambio de uso del suelo y presenta las tasas brutas de deforestación que el modelo predice para cada uno de los niveles de criticidad contemplados, i.e., menor, mediano y mayor riesgo.

## La propuesta de Fundecor

Partiendo de la anterior descripción sobre la situación forestal en las cuencas Sarapiquí y Toro, Fundecor propone intervenirlas implementando su estrategia de contención de la deforestación, i.e., pago por servicios ambientales y manejo forestal certificado, en un 55 % de la zona de amortiguamiento de estas dos cuencas. Para estos efectos esta institución propone, además, incluir 600 hectáreas de reforestación, a fin de estabilizar en cero las tasas netas de deforestación a partir del tercer año de implementación del proyecto. Esta propuesta plantea alcanzar el 55 % de penetración progresivamente, siguiendo un esquema de un 20 % el primer año y un 40 %, respectivamente, durante el segundo y tercer año.

Desde el punto de vista de la inversión, Fundecor propone que el aporte del Ice para el pago por servicios ambientales sea de un 33 % de los \$45 dólares que Fonafifo paga por año por hectárea. El cuadro 3 sintetiza los parámetros de esta propuesta.

Por su parte, desde un punto de vista financiero el cuadro 4 resume el proyecto.

<sup>2</sup> Si bien la regresión contempla solo 6 observaciones, cada una de estas contiene múltiples indicaciones particulares que, a su vez, indica la tasa promedio de deforestación en decenas de fincas ubicadas en las regiones del mapa 3.

**Cuadro 2. Uso de la tierra en las cuencas Sarapiquí y Toro (ha), 2000**

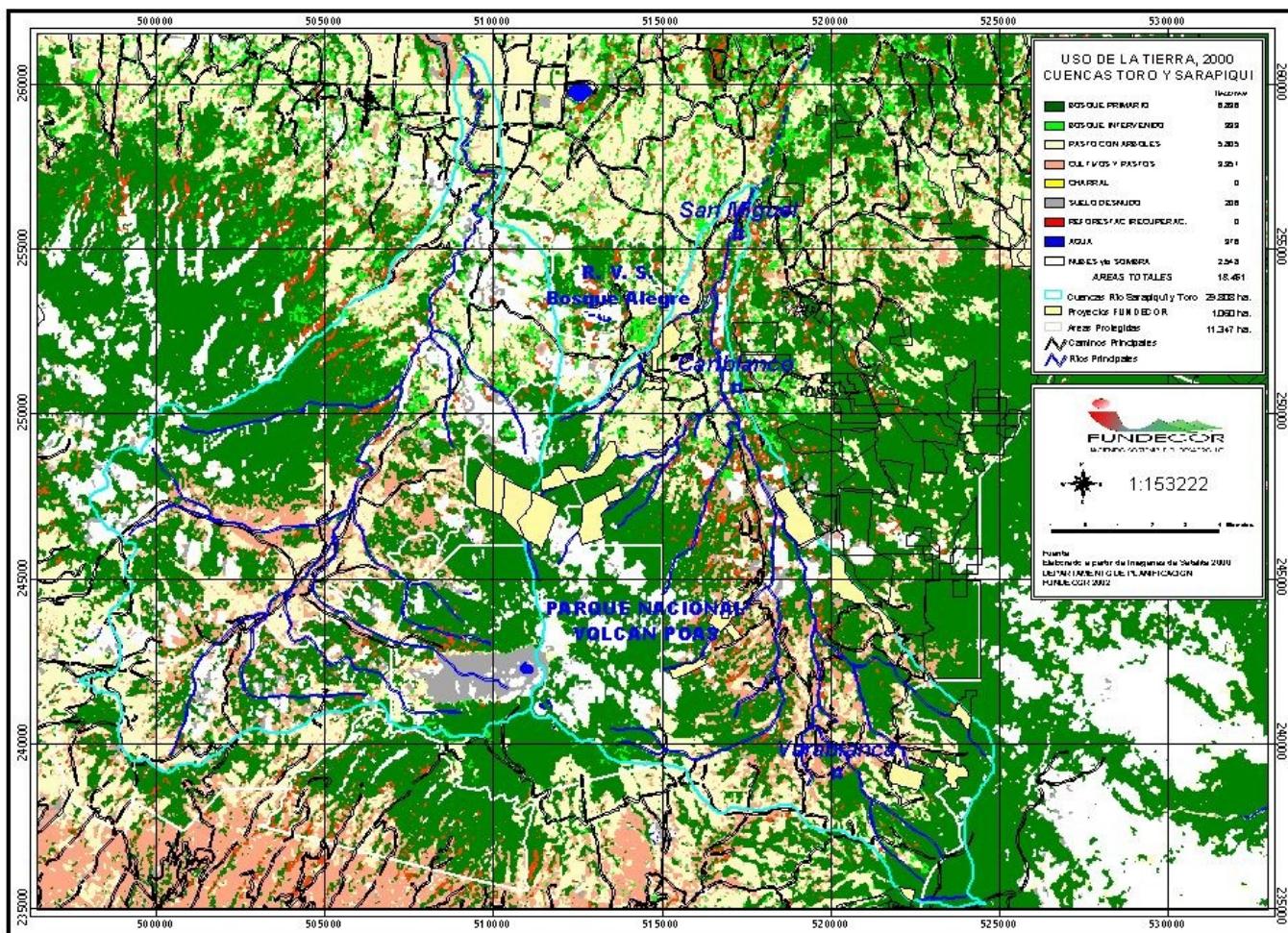
| Categoría                | Ambas     |                       |                | Sarapiquí |                       |                | Toro      |                       |                |
|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------|
|                          | total     | zona<br><i>buffer</i> | parque<br>nac. | total     | zona<br><i>buffer</i> | parque<br>nac. | total     | zona<br><i>buffer</i> | parque<br>nac. |
| Total                    | 30<br>067 | 18 720                | 11 347         | 13<br>726 | 10 182                | 3 544          | 16<br>341 | 8 538                 | 7 803          |
| Bosque primario          | 13<br>833 | 6 836                 | 6 997          | 7 002     | 4 578                 | 2 424          | 6 831     | 2 258                 | 4 573          |
| Bosque secund./interv.   | 361       | 339                   | 22             | 149       | 149                   | 0              | 212       | 190                   | 22             |
| Reforestac./recuperación | 481       | 376                   | 105            | 320       | 319                   | 1              | 161       | 57                    | 104            |
| Otros usos               | 10<br>495 | 8 362                 | 2 133          | 4 435     | 4 266                 | 169            | 6 060     | 4 096                 | 1 964          |
| Nubes/sin datos          | 4 897     | 2 807                 | 2 090          | 1 820     | 870                   | 950            | 3 077     | 1 937                 | 1 140          |

Fuente: Fundecor a partir de imágenes de satélite.

**Cuadro 3. Parámetros de la propuesta**

|  |  |    |               |
|--|--|----|---------------|
| <i>Parámetros</i>  |  |    |               |
| <i>Cobertura</i>   |  |    |               |
| Parques nacionales (ha)  |  |    | 6 154         |
| Zona <i>buffer</i> (ha)  |  |    | 7 175         |
| Total (ha)   |  |    | 13 329        |
| <i>Penetración Fundecor</i>                                      |  |    |               |
|  |  | %  | ha            |
| Porcentaje de penetración en <i>buffer</i> , manejo y protección |  | 55 | 3 946         |
| Reforestación <i>buffer</i>                                      |  |    | 600           |
| <i>Estructura de la incorporación de convenios</i>               |  |    |               |
|  |  |    | Reforestación |
|  |  |    | %             |
| Incorporación año 1  |  |    | 20            |
| Incorporación año 2  |  |    | 40            |
| Incorporación año 3  |  |    | 40            |
| <i>PSA reforestación</i>   |  |    |               |
|  |  |    | (\$)          |
| Año 1  |  |    | 290           |
| Año 2  |  |    | 116           |
| Año 3  |  |    | 87            |
| Año 4  |  |    | 58            |
| Año 5  |  |    | 29            |
| Total  |  |    | 580           |
| <i>PSA manejo y protección</i>                                   |  |    |               |
| Total (\$/año)   |  |    | 45            |
| <i>Promoción</i>   |  |    |               |
|  |  |    | \$/año        |
| Vara Blanca  |  |    | 18 000        |
| Toro   |  |    | 24 000        |
| Aporte Ice   |  |    |               |
| En <i>buffer</i> (%)   |  |    | 33            |
| En parques (\$)  |  |    | 0             |

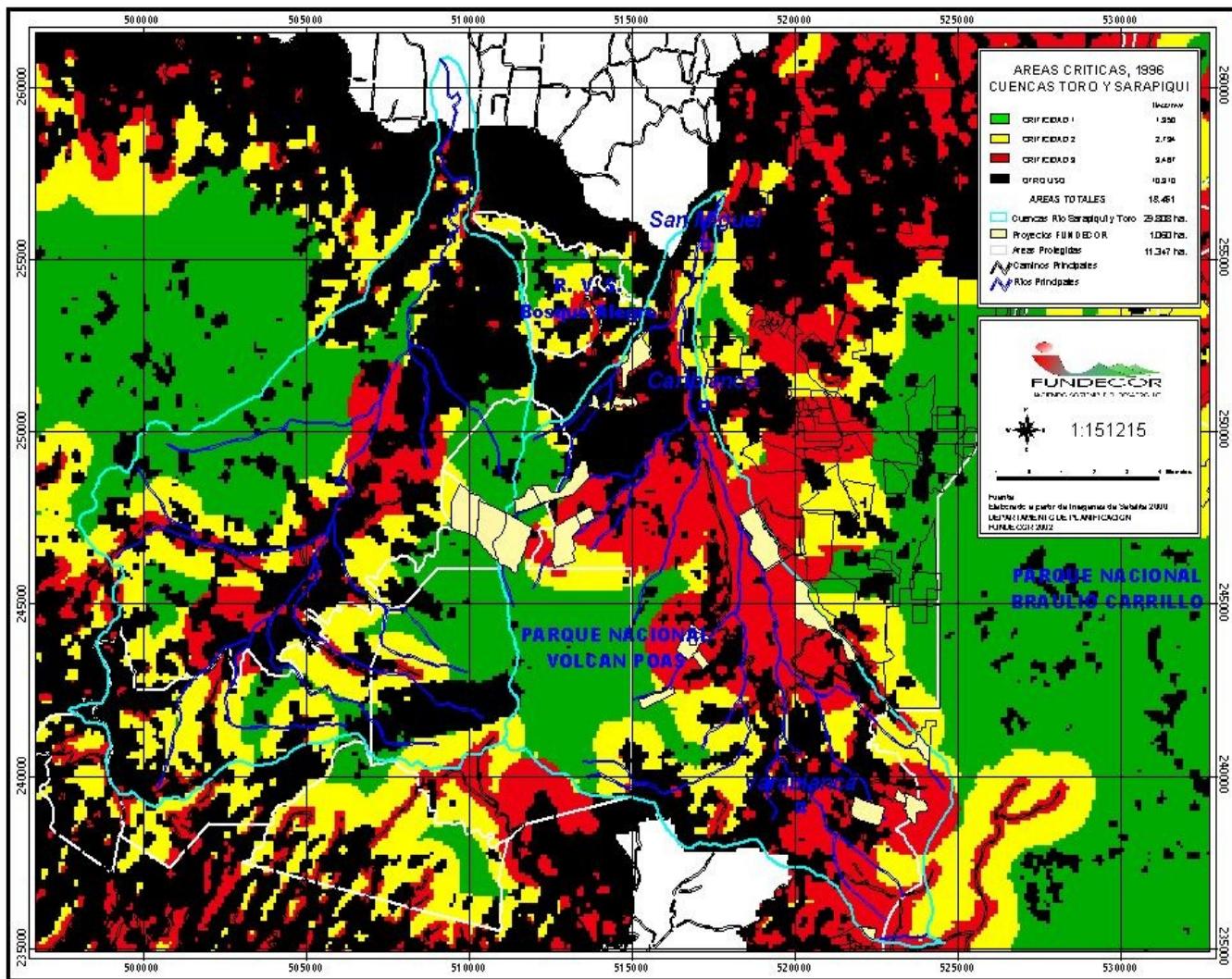
Mapa 4. Uso de la tierra en las cuencas de Sarapiquí y Toro, 2000



Cuadro 4. Presupuesto para la implementación del proyecto de estabilización forestal en las cuencas Sarapiquí y Toro, aplicando las tecnologías de Fundecor para contención de la deforestación

| Año                  | Cobertura (ha) |            |            |           |           |           |           | Presupuesto (\$) | Total |
|----------------------|----------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|-------|
|                      | 1              | 2          | 3          | 4         | 5         | 6         | 7         |                  |       |
| Parques nacionales   | 6 154          | 6 154      | 6 154      | 6 154     | 6 154     |           |           |                  |       |
| Manejo y protección  | 789            | 2 368      | 3 946      | 3 946     | 3 946     | 3 157     | 1 579     |                  |       |
| Reforestación        | 120            | 360        | 600        | 600       | 600       | 600       | 600       |                  |       |
| Presupuesto (\$)     |                |            |            |           |           |           |           |                  |       |
| Protección PN        | -              | -          | -          | -         | -         |           |           |                  | -     |
| Manejo y prot buffer | 11 781,38      | 35 344,15  | 58 906,91  | 58 906,91 | 58 906,91 | 47 125,53 | 23 562,77 | 294 534,56       |       |
| Reforestación        | 11 467,03      | 27 520,87  | 35 547,79  | 18 347,25 | 12 613,73 | 6 880,22  | 2 293,41  | 114 670,30       |       |
| Promoción            | 42 000,00      | 42 000,00  | 42 000,00  |           |           |           |           | 126 000,00       |       |
| Aporte total Ice     | 65 248,41      | 104 865,02 | 136 454,70 | 77 254,16 | 71 520,64 | 54 005,75 | 25 856,18 | 535 204,86       |       |

**Mapa 5. Uso de la tierra en las cuencas de Sarapiquí y Toro, 2000**



**Cuadro 5. Proyecciones de la situación forestal sin proyecto**

|                                  | Año  |      |      |      |      |      |      | Total |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                                  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |       |
| Tasas netas de deforestación (%) |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Sarapiquí                        | 2,89 | 2,89 | 2,89 | 2,89 | 2,89 | 2,89 | 2,89 |       |
| Toro                             | 2,45 | 2,45 | 2,45 | 2,45 | 2,45 | 2,45 | 2,45 |       |
| Hectáreas deforestadas           |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Total                            | 192  | 186  | 181  | 176  | 171  | 167  | 163  | 1 236 |
| Sarapiquí                        | 133  | 129  | 125  | 122  | 118  | 115  | 112  | 854   |
| Toro                             | 59   | 57   | 56   | 54   | 53   | 52   | 51   | 382   |

Fuente: Estimación de Fundecor utilizando el modelo de áreas críticas.

**Cuadro 6. Proyecciones de la situación forestal con proyecto**

|                                  | Año  |      |      |      |      |      |      | Total |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                                  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |       |
| Tasas netas de deforestación (%) |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Sarapiquí                        | 2,70 | 0,44 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |       |
| Toro                             | 1,76 | 0,29 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |       |
| Hectáreas deforestadas           |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Total                            | 166  | 27   | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 213   |
| Sarapiquí                        | 124  | 20   | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 159   |
| Toro                             | 42   | 7    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 54    |
| Hectáreas reforestadas           |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Total                            | 120  | 240  | 240  | 0    | 0    | 0    | 0    | 600   |
| Sarapiquí                        | 80   | 160  | 160  | 0    | 0    | 0    | 0    | 400   |
| Toro                             | 40   | 80   | 80   | 0    | 0    | 0    | 0    | 200   |

Fuente: Estimación de Fundecor utilizando el modelo de áreas críticas.

A partir de la información anterior, el modelo de áreas críticas desarrollado por Fundecor permite predecir que de no ejecutarse el proyecto, manteniendo constante la presencia de la institución en cada una de las cuencas (4,43 % en Sarapiquí y 0 % en Toro), las tasas netas de deforestación serían de 2,89 % en Sarapiquí y 2,45 % en Toro. En términos de territorio, como se muestra en el cuadro 5, se deforestarían 1 236 hectáreas en los próximos 7 años.

En cambio, si el proyecto se desarrolla y la presencia de Fundecor en cada una de las cuencas aumenta a 11 % el primer año de ejecución del proyecto, a 33 % en el segundo año y a 55 % a partir del tercer año, las tasas netas de deforestación se reducirían a 2,70 %, 0,44 % y 0,07 % respectivamente en Sarapiquí, y a 1,76 %, 0,29 % y 0,05 % en Toro.

En el cuadro 6 se muestra la proyección para 7 años, del número de hectáreas que se deforestarían si el proyecto se ejecuta, así como el número de hectáreas reforestadas.

Con la intervención de Fundecor, el número de hectáreas deforestadas a lo largo de los 7 años del proyecto sería de 213, respecto a las 1 236 hectáreas sin proyecto. Gracias al proyecto, se dejarían de deforestar 1 023 hectáreas. Si a esta cifra se le suman las 600 hectáreas que se reforestarían como parte del proyecto, el total de 1 623 hectáreas corresponde a la diferencia entre la situación sin proyecto y con proyecto, a lo largo de los 7 años, magnitud que de ahora en adelante será denominada ganancia en cobertura forestal de la ejecución del proyecto.

## Análisis costo-beneficio de la ejecución del proyecto

En el estudio *Análisis de la conservación de bosques en la generación hidroeléctrica*, realizado por De la Torre y Rodríguez (2000) para el Proyecto Eco-

Mercados de Costa Rica, se demuestra que hay una fuerte correlación entre la cobertura boscosa de las cuencas hidrográficas del país y, la cantidad y calidad de agua que escurre a través de sus ríos. De manera que, las plantas hidroeléctricas a filo de agua instaladas o que se instalen sobre los ríos que drenan una cuenca tendrán ventajas económicas si esta se mantiene forestada respecto a la opción de que se vayan deforestando.

Según ese estudio, al evitar deforestar una cuenca o al reforestar una cuenca ya degradada, se obtendrían beneficios en la operación de plantas hidroeléctricas a filo de agua a raíz de, al menos, los siguientes cuatro fenómenos: i) un menor arrastre de sedimentos en suspensión; ii) una mayor escorrentía de estiaje o en época seca; iii) un menor número y volumen de crecientes; y iv) menores deslizamientos de laderas.

Utilizando datos de seis cuencas representativas de las distintas zonas climáticas del país, de los tipos de cuenca y de las condiciones de deforestación se estimó una relación entre los dos primeros fenómenos, arriba mencionados, arrastre de sedimentos y escorrentía de estiaje, así como el porcentaje de bosque, correspondiente a los valores de lluvia, caudal, sedimentos y cobertura boscosa de cada una de las seis cuencas para el período 1979-1993.

Específicamente, se consideraron las cuencas de los siguientes ríos: Colorado (Coyolar, Pacífico seco), Pirrís (Dota, Pacífico central), Savegre (Providencia, Pacífico central), Pacuare (Las Juntas, cuenca del río Grande de Térraba), Sarapiquí (Cariblanco, Atlántico norte) y Caño Negro (El Cairo, Atlántico norte). Las cuencas de los ríos Caño Negro, Sarapiquí y Savegre son las menos deforestadas, con un 95 %, 91 % y 78 %, respectivamente, de cobertura forestal en 1992. Mientras que, las de Colorado, Pirrís y Pacuare representan las más deforestadas,

con un 29 %, 28 % y 4 % de cobertura forestal, respectivamente, en 1992.

### Arrastre de sedimentos

En este caso, se correlacionaron caudales unitarios (litros/segundo/km<sup>2</sup>) con arrastre de sedimentos (toneladas/año/km<sup>2</sup>), obteniendo la siguiente ecuación (con un  $R^2=0,60$ ):

$$Y = -2,6754 X + 311,14$$

Donde:

Y= arrastre (toneladas/año/km<sup>2</sup>)

X= porcentaje de bosque en la cuenca

Una vez identificada esa relación, se procedió a vincular los resultados con costos y beneficios. En este caso, hay una relación directa entre el arrastre de sedimentos y los costos de producción de energía eléctrica, por varios motivos:

- La cantidad y el tamaño de las partículas de sedimentos en suspensión influye significativamente sobre la frecuencia del mantenimiento de la maquinaria hidráulica y los equipos componentes que se encuentran a todo lo largo de la conducción de la planta.
- En plantas hidroeléctricas que aprovechan ríos limpios se pueden instalar sistemas de enfriamiento abiertos, que utilizan la misma agua del río para enfriamiento, equipos que son más baratos y su frecuencia de mantenimiento menor.
- En las turbinas, los sedimentos provocan desgaste, cambiando su perfil, lo que trae una pérdida en su eficiencia hidráulica (mayor cantidad de agua para generar la misma energía); para solucionar el problema se debe dar al equipo un “mantenimiento mayor”, sacándolo de operación, lo que implica un doble costo: el del mantenimiento mismo y el de la energía que se deja de generar.
- La pérdida de capacidad en los embalses de regulación, que incide en las limpiezas periódicas que se deben realizar.

De todos esos costos, se tomó en cuenta solamente el referente al mantenimiento de las turbinas hidráulicas de la planta y de otras partes sujetas a desgaste por el paso de líquido.

El procedimiento seguido se puede resumir en la siguiente fórmula de aplicación general, desarrollada como parte de la presente investigación:

$$CM = \frac{Ga * Ma * (Def/AC)}{1,163 - (B_0/AC)}$$

Donde:

CM= incremento (/disminución) en el costo de mantenimiento por deforestación (/reforestación);  
Ga= generación anual en Kwh (generación en Gwh \* 1 000 000);

Ma= costo de mantenimiento de las turbinas hidráulicas de la planta y de otras partes sujetas a desgaste por el paso de líquido, expresado en colones/año/Kwh;

AC= área total de la cuenca en hectáreas;

B<sub>0</sub>= área total de la cuenca inicialmente cubierta por bosque (en hectáreas);

Def= deforestación en hectáreas (en el caso de reforestación, el valor se multiplica por -1).

Ese total (CM) se puede dividir entre la totalidad de hectáreas deforestadas o reforestadas, para conocer el impacto por hectárea.

### Escoorrentía de estiaje

En este caso, mediante una metodología de flujos base, a partir de los hidrogramas mensuales de cada una de las cuencas, se determinaron los valores de recesión de los caudales en época de estiaje (de enero a abril). A partir de esos datos, se estableció una relación entre el bosque y el flujo de verano en proporción al caudal total del año (con  $R^2=0,94$ ):

$$Y = 0,1112 X + 4,8849$$

Donde:

Y= % volumen verano/volumen anual

X= % de bosque en la cuenca

Los aumentos o disminuciones en el caudal de estiaje afectan en el mismo sentido la producción de energía eléctrica y los ingresos por venta de la misma. En este caso, el procedimiento se puede resumir mediante la siguiente fórmula de aplicación general, también desarrollada como parte del presente estudio:

$$CE = Ga * Ge * P * 0,1112 * (Def/AC)$$

Donde:

CE= costo en términos de reducción (/aumento) en las ventas de energía eléctrica por deforestación (/reforestación);

Ga= generación anual en Kwh (generación en Gwh \* 1 000 000);

Ge= proporción de la producción anual realizada en período de estiaje (expresado en decimales);

P= precio de venta de la energía eléctrica en período de estiaje (colones/Kwh);

AC= área total de la cuenca en hectáreas;

Def= deforestación en hectáreas (en el caso de reforestación, se multiplica por -1).

Ese resultado (CE) se puede dividir entre el total de hectáreas deforestadas o reforestadas, para conocer el impacto por hectárea.

## Análisis costo-beneficio

El análisis de los costos y beneficios, que implica para el Ice la ejecución del proyecto, toma como punto de partida las estimaciones sobre deforestación de Fundecor (cuadros 2 y 3) y la metodología para medir su incidencia sobre costos de generación eléctrica desarrollada por De la Torre y Rodríguez (2000).

El primer paso consiste en medir la reducción en los costos de mantenimiento y el aumento en los ingresos por venta de energía durante la época de estiaje, en ambos casos, tomando en cuenta los cambios en la deforestación como resultado de la ejecución del proyecto.

Datos adicionales, necesarios para aplicar la metodología, fueron suministrados por el Ice:

- La generación eléctrica anual de Toro I fue de 89,2 Gwh en 2001 y la de Toro II, de 257,9 Gwh en ese mismo año. Respecto a Cariblanco, su entrada en operación se previó para julio de 2006, con una generación anual esperada es de 351 Gwh. Entonces, la generación conjunta era de 347,1 Gwh (Toro I y Toro II) y, a partir del inicio de operación de Cariblanco, ascendió a 698,1 Gwh.
- Para 2001, un 30,2 % de la generación anual de Toro I (26,9 Gwh) y un 28,5 % de Toro II (73,5 Gwh) se realizó en período de estiaje (enero-abril). Entonces, un 28,9 % de la generación conjunta se dio en ese período.
- El costo de mantenimiento por Kwh generado en el Centro de Producción Toro I y Toro II para el período 2001 fue de ₡1,35 y ₡0,66 respectivamente. Esta información contempla el costo de los mantenimientos predictivos, preventivos y correctivos del período 2001. Es importante aclarar que no se considera el costo del mantenimiento total de las turbinas (overhaul), ya que se toma como inversión. El costo promedio (ponderado por la generación) sería entonces de ₡0,84. Según el Banco Central de Costa Rica, el tipo de cambio promedio para 2001 fue de ₡329,48 por dólar, de manera que el costo expresado en esa moneda sería de \$0,0025 por Kwh.
- El precio promedio de venta de la energía eléctrica producida por el Ice en 2001 fue de ₡14,55 por Kwh. Este precio promedio es el correspondiente al Sistema de Generación y considera las diferentes tarifas en los períodos horario-estacionales. Dado el tipo de cambio promedio para ese año (₡329,48 por dólar), el precio promedio equivaldría a \$0,044 por Kwh.

A continuación se realizan los cálculos de la rentabilidad del proyecto desde la perspectiva del Ice. No obstante, antes de entrar en el mismo, conviene resaltar tres aspectos importantes. En primer lugar, para los siete años de ejecución del proyecto se utilizan las cifras proporcionadas por el Ice correspon-

dientes a 2001, y para el proyecto Cariblanco se consideran los mismos costos de mantenimiento y producción en época de estiaje que Toro I y Toro II. En segundo lugar, para el cálculo se utiliza la variable ganancia en cobertura forestal, que considera para cada año la diferencia entre la deforestación con proyecto y sin proyecto, a este resultado se le agrega la reforestación generada por el proyecto en ese mismo año. Dado que los costos (/beneficios) en que se incurre cada año son incrementales, para conocer el impacto del proyecto a lo largo de los siete años, se generó la variable ganancia acumulada en deforestación, que incluye la ganancia de cada año, más la suma de las ganancias de años anteriores. Esta última variable es "Def" en las fórmulas para estimar los costos. En tercer lugar, el impacto del proyecto aquí medido refleja en cierta forma un mínimo, pues su medición únicamente contempla dos factores: los costos de mantenimiento y la escorrentía de estiaje. Hay otros factores que también benefician al Ice relacionados con la reducción de la deforestación que generaría la ejecución del proyecto, entre los que destacan el menor número y volumen de crecientes, así como menores deslizamientos de laderas, los cuales tendrían un impacto positivo sobre la generación eléctrica y la reducción de costos. También, debe tomarse en cuenta que al reducir la deforestación se está ampliando la vida de las cuencas y, por lo tanto, las posibilidades de generación eléctrica más allá del período del proyecto.

Para el análisis costo-beneficio se utilizan las proyecciones de deforestación sin proyecto y con proyecto a partir de las tasas de deforestación estimadas por Fundecor (cuadros 2 y 3). En el cuadro 7 se incluyen las principales cifras utilizadas y la estimación del impacto en los costos del Ice.

Es claro, entonces, que la ejecución del proyecto reduce los costos del Ice, tanto en lo que se refiere al mantenimiento de las turbinas, como por la caída en los ingresos por producción y venta de energía eléctrica en época de estiaje.

La comparación de los costos y beneficios para el Ice (cuadro 8) muestra que, si bien es cierto en los cuatro primeros años del proyecto los costos superan a los beneficios (beneficio neto negativo), en los años siguientes la situación se revierte, hasta el punto de compensar los valores iniciales, como lo refleja la tasa interna de retorno que arrojan los flujos, que asciende a 8,4 %.

La rentabilidad del proyecto para el Ice es elevada, máxime si se tiene presente que la medición realizada no incluye todos los beneficios para la institución; solamente, reducción en costos de mantenimiento y aumento en producción en época de estiaje.

**Cuadro 7. Estimación del impacto del proyecto para el Ice**

|  | Año    |         |         |         |         |          |          |
|--|--------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
|  | 1      | 2       | 3       | 4       | 5       | 6        | 7        |
| Cifras forestales (ha)                           |        |         |         |         |         |          |          |
| Área total cuencas                               | 30 067 | 30 067  | 30 067  | 30 067  | 30 067  | 30 067   | 30 067   |
| Ganancia anual en deforestación <sup>1</sup>     | 146    | 399     | 417     | 172     | 167     | 163      | 159      |
| Deforestación sin proyecto                       | 192    | 186     | 181     | 176     | 171     | 167      | 163      |
| Deforestación con proyecto                       | 166    | 27      | 4       | 4       | 4       | 4        | 4        |
| Hectáreas reforestadas por proyecto              | 120    | 240     | 240     | 0       | 0       | 0        | 0        |
| Ganancia acumulada en deforestación <sup>2</sup> | 146    | 545     | 962     | 1 134   | 1 301   | 1 464    | 1 623    |
| Cobertura boscosa inicial <sup>3</sup>           | 14 194 | 14 194  | 14 194  | 14 194  | 14 194  | 14 194   | 14 194   |
| Cifras generación eléctrica                      |        |         |         |         |         |          |          |
| Generación anual (Gwh) <sup>4</sup>              | 347,1  | 347,1   | 347,1   | 347,1   | 522,6   | 698,1    | 698,1    |
| % generación en estiaje                          | 0,289  | 0,289   | 0,289   | 0,289   | 0,289   | 0,289    | 0,289    |
| Costo mantenimiento (\$/Kwh)                     | 0,0025 |         | 0,0025  | 0,0025  | 0,0025  | 0,0025   | 0,0025   |
| Precio venta (\$/Kwh)                            | 0,044  | 0,044   | 0,044   | 0,044   | 0,044   | 0,044    | 0,044    |
| Impacto del proyecto                             |        |         |         |         |         |          |          |
| Costo de mantenimiento (\$)                      | -6 099 | -22 765 | -40 184 | -47 368 | -81 822 | -122 993 | -136 351 |
| Costo estiaje (\$) <sup>5</sup>                  | -2 383 | -8 896  | -15 703 | -18 511 | -21 237 | -48 064  | -53 285  |

<sup>1</sup> La ganancia en cobertura forestal es el número de hectáreas que cada año se dejan de deforestar por la ejecución del proyecto, más las hectáreas reforestadas por el proyecto ese mismo año.

<sup>2</sup> La ganancia acumulada en deforestación, o sea, la ganancia de cada año, más la de los años anteriores.

<sup>3</sup> Se refiere a la cobertura boscosa al inicio del proyecto (bosque primario más secundario).

<sup>4</sup> A partir de julio del quinto año (2006) se incorpora la generación de Cariblanco.

<sup>5</sup> En el quinto año no se incluye el impacto de la incorporación de Cariblanco, pues eso sucede después del período de estiaje.

**Cuadro 8. Comparación de costos y beneficios del proyecto para el Ice (\$)**

|  | Año     |         |         |         |         |         |         |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|  | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       |
| Beneficios                               | 8 482   | 31 662  | 55 887  | 65 880  | 103 059 | 171 057 | 189 635 |
| Reducción costos mantenimiento           | 6 099   | 22 765  | 40 184  | 47 368  | 81 822  | 122 993 | 136 351 |
| Aumento ventas período estiaje           | 2 383   | 8 896   | 15 703  | 18 511  | 21 237  | 48 064  | 53 285  |
| Costos (aporte del Ice al proyecto)      | 65 248  | 104 865 | 136 455 | 77 254  | 71 521  | 54 006  | 25 856  |
| Mantenimiento y protección <i>buffer</i> | 11 781  | 35 344  | 58 907  | 58 907  | 58 907  | 47 126  | 23 563  |
| Reforestación                            | 11 467  | 27 521  | 35 548  | 18 347  | 12 614  | 6 880   | 2 293   |
| Promoción                                | 42 000  | 42 000  | 42 000  | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Beneficio neto (beneficios-costos)       | -56 767 | -73 203 | -80 567 | -11 375 | 31 358  | 117 052 | 163 779 |

## Extensión del plazo de ejecución del proyecto

Una vez comprobado que el proyecto es rentable, aunque se considere solamente el plazo de ejecución de 7 años –tomando en cuenta que los beneficios para el Ice se extienden más allá de ese plazo–, resulta importante conocer el impacto de extender la ejecución del proyecto. Dado que la vida útil de las

plantas hidroeléctricas es bastante elevada, se considera razonable realizar el análisis para 20 años.

Para la estimación, las tasas netas de deforestación que corresponden a la situación sin proyecto se mantienen constantes, o sea, 2,89 % en Sarapiquí y 2,45 % en Toro, que resultan de mantener permanentemente la presencia de Fundecor en cada una de las cuencas (4,43 % en Sarapiquí y 0 % en Toro).

**Cuadro 9. Situación forestal sin proyecto y con proyecto (20 años)**

|        | Sin proyecto       |                                  | Con proyecto       |                    |                                  | Ganancia en cobertura forestal (ha) |
|--------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
|        | Deforestación (ha) | % Cobertura Boscosa <sup>1</sup> | Deforestación (ha) | Reforestación (ha) | % Cobertura Boscosa <sup>1</sup> |                                     |
| Año 1  | 192                | 46,6                             | 166                | 120                | 47,1                             | 146                                 |
| Año 2  | 186                | 46,0                             | 27                 | 240                | 47,8                             | 399                                 |
| Año 3  | 181                | 45,3                             | 4                  | 240                | 48,5                             | 417                                 |
| Año 4  | 176                | 44,8                             | 4                  | 0                  | 48,5                             | 172                                 |
| Año 5  | 171                | 44,2                             | 4                  | 0                  | 48,5                             | 167                                 |
| Año 6  | 167                | 43,6                             | 4                  | 0                  | 48,5                             | 163                                 |
| Año 7  | 163                | 43,1                             | 4                  | 0                  | 48,5                             | 159                                 |
| Año 8  | 158                | 42,6                             | 4                  | 0                  | 48,5                             | 154                                 |
| Año 9  | 154                | 42,1                             | 4                  | 0                  | 48,5                             | 150                                 |
| Año 10 | 150                | 41,6                             | 4                  | 0                  | 48,5                             | 146                                 |
| Año 11 | 146                | 41,1                             | 4                  | 0                  | 48,4                             | 142                                 |
| Año 12 | 142                | 40,6                             | 4                  | 0                  | 48,4                             | 138                                 |
| Año 13 | 138                | 40,1                             | 4                  | 0                  | 48,4                             | 134                                 |
| Año 14 | 134                | 39,7                             | 4                  | 0                  | 48,4                             | 130                                 |
| Año 15 | 131                | 39,3                             | 4                  | 0                  | 48,4                             | 127                                 |
| Año 16 | 127                | 38,8                             | 4                  | 0                  | 48,4                             | 123                                 |
| Año 17 | 124                | 38,4                             | 4                  | 0                  | 48,4                             | 120                                 |
| Año 18 | 121                | 38,0                             | 4                  | 0                  | 48,3                             | 117                                 |
| Año 19 | 117                | 37,6                             | 4                  | 0                  | 48,3                             | 113                                 |
| Año 20 | 114                | 37,3                             | 4                  | 0                  | 48,3                             | 110                                 |

Fuente: Estimación de Fundecor utilizando el modelo de áreas críticas.

**Cuadro 10. Porcentaje del PSA del Ice, monto anual de mantenimiento y protección de la zona de amortiguamiento (*buffer zone*) y tasa interna de retorno**

| % de PSA | Monto anual mantenimiento y protección del <i>buffer</i> (\$) |         |           | Tasa interna de retorno (%) |
|----------|---|---------|-----------|-----------------------------|
|          | Año 1   | Año 2   | Años 3-20 |                             |
| 33       | 11 781  | 35 344  | 58 907    | 33,0                        |
| 40       | 14 280  | 42 841  | 71 402    | 29,2                        |
| 50       | 17 850  | 53 552  | 89 253    | 24,5                        |
| 60       | 21 420  | 64 262  | 107 104   | 20,4                        |
| 70       | 24 990  | 74 972  | 124 954   | 16,6                        |
| 80       | 28 560  | 85 682  | 142 805   | 13,5                        |
| 90       | 32 130  | 96 393  | 160 655   | 10,5                        |
| 100      | 35 700  | 107 103 | 178 506   | 7,7                         |

En el caso con proyecto, se supone que la presencia de Fundecor en cada una de las cuencas se mantiene constante en 55 % a partir del tercer año de ejecución del proyecto, y que por lo tanto, las tasas netas de deforestación se mantendrían, a partir de ese mismo año, en 0,07 % en Sarapiquí y 0,05 % en Toro. Como se recordará, la presencia de la institución en cada cuenca aumenta a 11 % en el primer año, a 33 % en el segundo año y las tasas netas de deforestación se reducirían, en esos mismos años, a 2,70 % y 0,44 % en Sarapiquí y, a 1,76 % y 0,29 % en Toro.

En el cuadro 10 se resume la situación forestal sin proyecto y con proyecto.

En lo que se refiere al aporte (costo) del proyecto para el Ice, los gastos de “promoción” y “reforestación” se dejan de realizar después del séptimo año, pero los gastos de “mantenimiento y protección de la zona *buffer*” se mantienen a lo largo de la ejecución del proyecto, entre los años 3 a 5 (\$58 907), que corresponde al pago de la totalidad de propietarios en el proyecto.

A partir de las estimaciones de la situación forestal mostradas en el cuadro 6, las cifras de referencia sobre la generación eléctrica del cuadro 4 –de los años 8 a 20 se mantienen iguales al año 7–, así como los ajustes arriba citados del aporte del Ice al proyecto, se midió el impacto para esa institución del proyecto ejecutado a 20 años, con un resultado altamente positivo: la tasa interna de retorno alcanza un 33 %.

### ¿Qué porcentaje podría pagar el Ice por los servicios ambientales?

Un aspecto importante de analizar es el referente al porcentaje del pago por los servicios ambientales que podría cubrir el Ice. Con este fin, se realiza una simulación que consiste en analizar lo que sucedería con la tasa interna de retorno si aumenta el porcentaje del pago por los servicios ambientales que el Ice asume. O sea, que en lugar de pagar el 33 %, como está previsto en la propuesta, el porcentaje fuera mayor, desde el inicio del proyecto. En el cuadro 10 se muestra el porcentaje a cubrir por la institución, el monto anual que representa a partir del tercer año, aunque el aumento se aplica también a los años 1 y 2, y la tasa interna de retorno.

Como se aprecia en el cuadro 10, aún cuando el Ice asuma la totalidad del pago por servicios ambientales a lo largo de los 20 años, la tasa interna de retorno sigue siendo positiva y elevada (7,7 %).

### Aumento del pago del Ice después del sexto año

Una alternativa posible es que el Ice aumente el pago por los servicios ambientales en un segundo ciclo, que empezaría en el sexto año con un 20 % de los propietarios, en el año siguiente con un 40 % adicional y a partir del octavo año estaría incorporado el 100 %.

Durante el primer ciclo se mantendría el pago igual al 33 % de los servicios y, en los ciclos siguientes, se elevaría alternativamente a 40 % con aumentos de 10 puntos porcentuales.

En el cuadro 11 se incluyen los resultados con tasas internas de retorno más elevadas que las obtenidas cuando el Ice comienza a pagar porcentajes mayores, desde el inicio del proyecto.

### Consideraciones finales

Desde cualquier perspectiva que se mire: a 7 años o a 20 años, pagando un 33 % del costo por los servicios ambientales o un porcentaje mayor –a partir del inicio del proyecto o escalonadamente–, el proyecto propuesto por Fundecor resulta altamente beneficioso para el Ice. Pues, además de que la reducción en los costos de mantenimiento, así como el aumento en la generación y facturación eléctrica superan el monto a invertir en el proyecto, hay una serie adicional de impactos que no están siendo considerados y, no solo aumentarían esa rentabilidad, sino que al mejorar la conservación de las cuencas estarían ampliando las posibilidades de generación eléctrica más allá de los períodos acá analizados.

### Referencias bibliográficas

- Fallas Santana, A. (1999). *Desarrollo sostenible y conservación: Hacia una política forestal nacional para el siglo XXI*, (Policy Paper 1). Fundecor.  
De la Torre, T. y Rodríguez, A. (2000). C. T. Energía S. A. *Ánalisis de la conservación de bosques en la generación hidroeléctrica*. Proyecto Eco-Mercados, pp.72-81.