

# Servicios ecosistémicos e hidroelectricidad en Nicaragua<sup>1</sup>

**Efraín José Leguía Hidalgo<sup>2</sup>**

**Locatelli, Bruno<sup>3</sup>**

**Imbach, Pablo<sup>2</sup>**

**Alpizar, Francisco<sup>4</sup>**

**Vignola, Raffaele<sup>2</sup>**

**Perez, Carlos<sup>2</sup>**

La identificación de ecosistemas forestales que proveen servicios ecosistémicos para las centrales hidroeléctricas es una herramienta de diálogo importante para la implementación de planes de manejo adaptativo con la finalidad de garantizar el flujo continuo de tales servicios y así contribuir con la adaptación del sector hidroenergético a los posibles impactos del cambio climático. Así mismo es una herramienta útil para planificar esquemas de pagos por servicios ecosistémicos.



Fotos: XXXXXXXX.

<sup>1</sup> Basado en Leguía, E. 2007. Identificación de bosques importantes proveedores de servicios ecosistémicos para la generación de hidroelectricidad en Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 95 p.

<sup>2</sup> CATIE, Grupo Cambio Global, Turrialba, Costa Rica. eleguia@catie.ac.cr

<sup>3</sup> CIRAD UPR Ressources Forestières, Montpellier 34398 Francia; CATIE; Grupo Cambio Global, Turrialba, Costa Rica.

<sup>4</sup> CATIE, Grupo SEBSA, Turrialba, Costa Rica. falpizar@catie.ac.cr

## Resumen

Los bosques producen servicios ecosistémicos (SE) importantes para la generación de energía hidroeléctrica. El presente trabajo tiene como objetivo identificar bosques proveedores de SE importantes para la generación de electricidad en Nicaragua, donde se está promoviendo la implementación de centrales hidroeléctricas. Con este fin, se desarrolló un modelo que procesa datos sobre criterios de vulnerabilidad, ubicación y capacidad instalada proyectada (MW) de las centrales hidroeléctricas, usos del suelo y relación entre ecosistemas, servicios ecosistémicos y centrales. Las áreas aguas arriba de las centrales son muy sensibles a eventos climáticos, por lo que hay necesidad de reducir la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico; por ejemplo, con un mejor manejo de las cuencas y ecosistemas forestales. Aproximadamente 8300 km<sup>2</sup> de bosques y 1425 km<sup>2</sup> de cultivos perennes ubicados aguas arriba de centrales se consideran como de alta importancia para la generación de hidroelectricidad. Menos del 10% de los bosques identificados como importantes se encuentran dentro de áreas protegidas. Los resultados evidenciaron la necesidad de vincular a los usuarios de los SE con los bosques para mejorar la capacidad adaptativa de las zonas de interés y asegurar el flujo de SE a futuro.

**Palabras claves:** Hidroelectricidad; ecosistemas forestales; servicios ecosistémicos; vulnerabilidad.

## Summary

**Ecosystems services and hydroelectric in Nicaragua.** The objective of this work was to identify forests that provide ES for the hydroelectric sector in Nicaragua, where the implementation of hydropower plants is getting stronger. The methodological framework considers vulnerability criteria at the watershed level, location and future power potential (MW) of hydroelectric plants, as well as land uses and their capacity to produce ES. The areas located in the upper watersheds of relevant hydroelectric projects are very sensible to climatic events; that gives evidence of the need to reduce hydropower sector's vulnerability, for example, through a better watershed and forest ecosystems management. Approximately 8,300 km<sup>2</sup> of forest ecosystems and 1,425 km<sup>2</sup> of perennial crops located in upper watersheds are considered of high and very high importance for hydroelectric power projects or plants. Additionally, less than 10% of forest ecosystems providing ES for hydroelectricity are within protected areas. The results confirm the need for ES users to get involved in forest management to improve the adaptive capacity in important areas to guarantee the ES flow in the future.

**Keywords:** Hydroelectricity; forest ecosystems; ecosystem services; vulnerability.

## Introducción

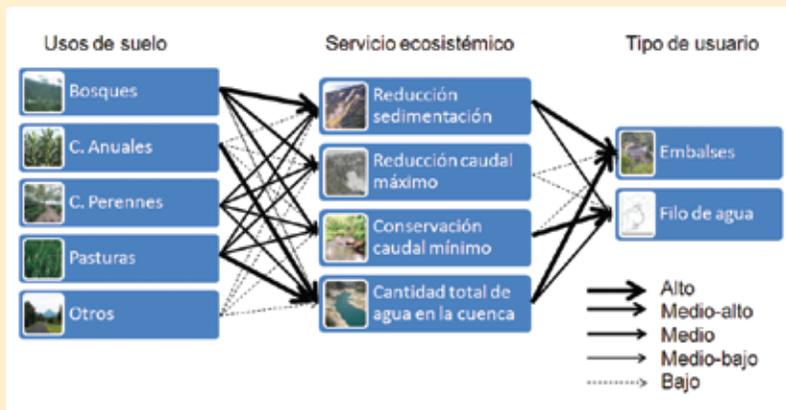
Los ecosistemas brindan a la sociedad un conjunto de servicios, y su capacidad de producirlos depende de complejas interacciones biológicas, químicas y físicas que, a la vez, se ven afectadas por actividades humanas (Daily et ál. 1997, Coomes y Burt 2001, MEA 2005). El crecimiento poblacional y las políticas nacionales de promoción de actividades productivas, las tendencias de mercados

y más recientemente, el cambio climático han resultado en la degradación de recursos en varias zonas a nivel mundial (Coomes y Burt 2001, IPCC 2001b).

El desarrollo del sector energético es clave para el progreso de un país, principalmente de aquellos en vías de desarrollo (Klimpt et ál. 2002, Keong 2005, Yuksek et ál. 2006). Entre los recursos renovables, el agua es la fuente más usada para generar energía y es una alternativa a la utilización de combustibles

fósiles (Frey y Linke 2002, Paish 2002, Reddy et ál. 2006). Nicaragua, que actualmente solo aprovecha el 2% de su potencial hidroeléctrico, está promoviendo la implementación de proyectos hidroeléctricos de pequeña, mediana y alta capacidad (CEPAL 2006, Gob. de Nicaragua 2003).

Los servicios ecosistémicos hídricos de los bosques tropicales, tales como la reducción de la sedimentación, la reducción de caudales máximos, la conservación de



**Figura 1.** Vínculos entre usos del suelo, servicios ecosistémicos y centrales hidroeléctricas

Fuente: Leguía 2007

caudales mínimos y del volumen total de agua contribuyen a la sostenibilidad del sector hidroeléctrico (Guo et ál. 2000, Vincenzi 2001). En Centroamérica, los ecosistemas forestales juegan un rol importante en la provisión de servicios ecosistémicos hídricos vitales para el sector hidroenergético; sin embargo, la naturaleza y la magnitud de este aporte es aun poco claro (Bruijnzeel et ál. 2004).

En la Fig. 1 se muestran los vínculos entre usos del suelo, servicios ecosistémicos (SE) y usuarios. Los bosques juegan un papel importante en la reducción de la erosión, ya que protegen los suelos de precipitaciones fuertes y mantienen su estabilidad mejor que los cultivos perennes y las pasturas, los que a su vez son mejores que los cultivos anuales (Vincenzi 2001, Pagiola 2002). Existe incertidumbre en cuanto a la regulación de caudales máximos y mínimos. Tanto los cultivos anuales como las pasturas tienen influencia positiva en la cantidad de agua total en la cuenca debido a que sus niveles de evapotranspiración y extracción de agua de subsuelo son bajos en comparación con los bosques (Bruijnzeel et ál. 2004, Bruijnzeel 2004).

Distintos tipos de usuarios valoran de manera diferenciada los SE. Para los embalses, la producción de energía y los costos de mantenimiento dependen altamente de la cantidad total anual de agua y de la reducción de sedimentos (Vincenzi 2001). Para las plantas hidroeléctricas a filo de agua, la regulación de caudales mínimos es de alta importancia dado que en época seca la

probabilidad de contar con caudales inferiores al caudal de diseño es alta (CNE 2004b).

El cambio climático podrá aumentar la vulnerabilidad del sector hidroenergético mediante la alteración del patrón de precipitaciones o a través de eventos extremos como inundaciones o deslizamientos que pueden ocasionar severos daños en instalaciones (IPCC 2001a). En un contexto de cambio climático, los SE contribuyen a reducir la vulnerabilidad del sector hidroenergético (MEA 2005, Metzger et ál. 2006). La presión sobre los ecosistemas forestales, ya sea por factores socioeconómicos o debido al cambio climático, tendrá un impacto sobre los SE críticos para el sector hidroeléctrico (Metzger et ál. 2006). El presente trabajo de investigación se estableció con el objetivo de generar una metodología que permita identificar bosques proveedores de SE importantes para la adaptación del sector hidroenergético en Nicaragua.

### Metodología

El marco metodológico enfatiza los vínculos que existen entre los diferentes usos del suelo, principalmente los bosques y su capacidad de producir SE hídricos importantes para la generación de energía eléctrica (Fig. 1). La metodología se basa en los trabajos sobre transferencia de beneficios (Troy et ál. 2006), y es aplicable a cualquier servicio ecosistémico no rival; es decir, aquel cuyo uso no reduce la disponibilidad del servicio para el uso de otros actores.

La investigación estudió todo el territorio nicaragüense con una división en microcuencas de 1,2 km<sup>2</sup> de área en promedio, con base en el mapa de drenaje de TNC (2007). Se definieron dos tipos de usuarios de los SE: centrales con embalses (34) y centrales a filo de agua (9)<sup>5</sup>. Estos datos se obtuvieron de publicacio-

<sup>5</sup> En realidad solo las centrales Santa Bárbara y Centroamérica están en funcionamiento. Sin embargo, se analizó la importancia de los SE para los 41 centrales restantes en proyecto o en construcción (ver listado en Leguía 2007).

nes y reportes de la CNE (2004a,b, 2005a,b,c), Ingeniería y Ciencia Ambiental S.L. (2006).

Para evaluar la vulnerabilidad de los usuarios se tomaron en cuenta criterios de sensibilidad y capacidad adaptativa a través de un índice construido por la amenaza a eventos climáticos menos la capacidad adaptativa (Adger et ál. 2003, IPCC 2001a). El índice de sensibilidad fue definido por amenazas a eventos climáticos (inundaciones, deslizamientos y sequías) reportadas en el estudio de amenazas naturales en Nicaragua (INETER 2001). El índice de capacidad adaptativa se definió por la presencia de un plan de manejo de cuencas, la presencia institucional y la organización local. Los diferentes índices de vulnerabilidad se estandarizaron linealmente.

Los ecosistemas se ubicaron con al mapa de uso actual del suelo de Nicaragua (MAGFOR-SINIA 2002). Las categorías de usos del suelo (*f*) usadas en este trabajo fueron: bosques, cultivos perennes, cultivos anuales, pasturas y otros usos del suelo (incluyen áreas urbanas, rocas, nubes, entre otras). Se consideraron cuatro SE; asimismo, se definieron las relaciones entre uso del suelo y producción de SE (parte izquierda de la Fig. 1) y las relaciones entre SE y usuarios (parte derecha de la Fig. 1). Estas relaciones se establecieron con base en revisión bibliográfica y consulta con expertos. Se definió la capacidad de los ecosistemas para producir SE con base en: Hodnett et ál. (1995), Sahin y Hall (1996), Fahey y Jackson (1997), Nandakumar y Mein (1997), Guo et ál. (2000), Bruijnzeel (2004), Bruijnzeel et ál. (2004), Vincenzi (2001) (Cuadro 1); para la utilidad de los SE para las centrales hidroeléctricas se usó Guo et ál. (2000), Vincenzi (2001), Klimpt (2002), CNE (2004a,b, 2005 a,b,c, 2006) (Cuadro 2).

La información fue procesada en dos etapas. En la primera se

**Cuadro 1.** Matriz de capacidad de los usos del suelo para producir SE

	Reducción de sedimentación	Regulación de caudales máximos	Regulación de caudales mínimos	Cantidad total de agua en la cuenca
Bosques	Alta	Media-Alta	Media-Alta	Media-baja
C. anuales	Baja	Baja	Baja	Alta
C. perennes	Media	Media	Media	Media
Pasturas	Media	Media	Media	Alta
Otros	Baja	Baja	Baja	Baja

Fuente: Leguía 2007

**Cuadro 2.** Matriz de utilidad de SE para las centrales hidroeléctricas

	Reducción de sedimentación	Regulación de caudales máximos	Regulación de caudales mínimos	Cantidad total de agua en la cuenca
Embalse	Alta	Baja	Baja	Alta
Filo de agua	Media	Baja	Alta	Media

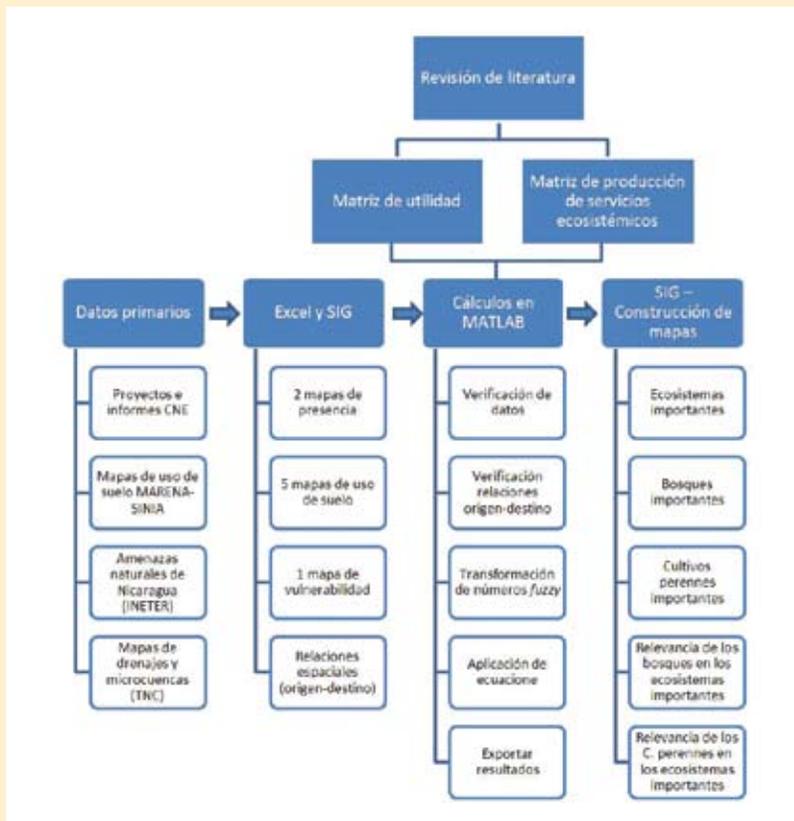
Fuente: Leguía 2007



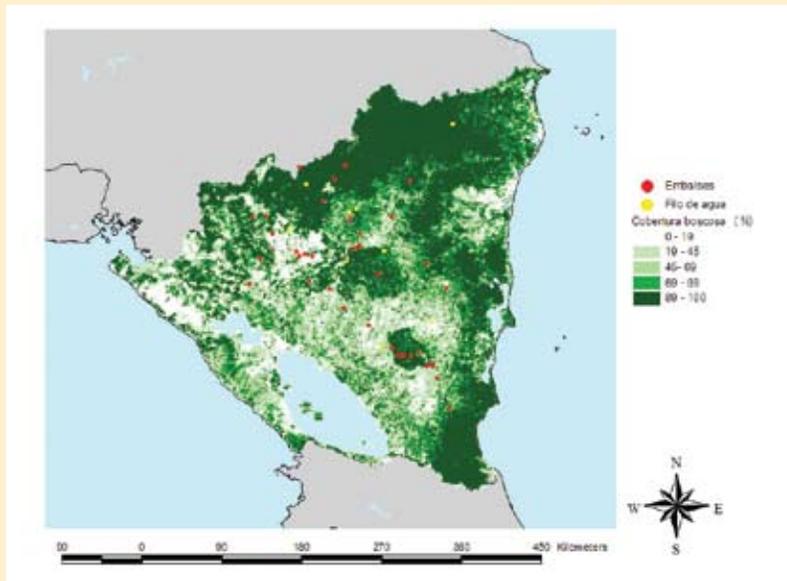
Foto: XXXXXXXX.

hizo énfasis en los usuarios de los servicios ecosistémicos. Se asumió que la importancia de los ecosistemas para la adaptación del sector hidroenergético depende del beneficio que sacan los usuarios de los

SE y que este beneficio es más alto para usuarios más vulnerables. Para cada usuario se calculó el beneficio, definido como el producto de la vulnerabilidad del usuario y la utilidad que obtiene del servicio. Además se



**Figura 2.** Operatividad de la metodología  
Fuente: Leguía 2007



**Figura 3.** Cobertura forestal y ubicación de las centrales hidroeléctricas en Nicaragua  
Fuente: Leguía 2007

calculó la cantidad de SE recibidos de las cuencas aguas arriba para calcular el beneficio unitario. En la segunda etapa el énfasis se puso en los ecosistemas. Se asume que la importancia de los ecosistemas depende de tres factores: la cantidad de SE producidos, la presencia de usuarios en la unidad de destino y el beneficio unitario de cada SE para los usuarios en todas las microcuencas aguas abajo.

La información referente a variables de presencia de los tipos de usuarios, vulnerabilidad y áreas por categoría de uso del suelo se ordenó en formato SIG para exportar a MATLAB. También se exportaron las variables espaciales que permiten reconstruir los espacios aguas arriba y aguas debajo de cada microcuena. Se hicieron los cálculos de importancia de bosques usando MATLAB con los valores cualitativos de los cuadro 1 y 2 convertidos a números *fuzzy* (Chen y Hwang 1992, Stefaninia 2006). Luego de un proceso de “defuzzificación” los resultados se exportaron a SIG para construir los mapas (Fig. 2). Se definieron cinco clases de importancia de los bosques (muy alta, alta, media, baja, muy baja) más una clase nula.

### Resultados y discusión

#### Usos del suelo en las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas

Nicaragua proyecta construir 32 centrales hidroeléctricas tipo embalse. La capacidad prevista varía entre 2,5 MW y 300 MW. La central Santa Bárbara recibe SE de 17 cuencas aguas arriba (32 km<sup>2</sup>) que en su mayor parte son bosques (73%). La central Centroamérica se beneficia de 639 cuencas (876 km<sup>2</sup>) donde el bosque es el mayor uso del suelo (66%) seguido por los cultivos anuales (16%) (Fig. 3). Para las centrales hidroeléctricas a filo de agua, la capacidad instalada varía entre 0,18 MW y 7 MW. Salto Kepí es la central con mayor número de cuencas aguas

arriba (711) y es además la de mayor área total aguas arriba (778,9 km<sup>2</sup>). Los bosques predominan en las cuencas aguas arriba de estas centrales, a excepción de Salto Molejones, donde la mayor superficie está cubierta por pasturas (62%) (Fig. 3).

La superficie de ecosistemas de importancia alta o muy alta para la generación de hidroelectricidad en la vertiente del Atlántico es mucho mayor que el área identificada en la vertiente del Pacífico (21.336 km<sup>2</sup> contra 876,57 km<sup>2</sup>). La vertiente del Atlántico alberga el mayor número de centrales hidroeléctricas. Los bosques siguen siendo el uso de mayor importancia en ambas vertientes (64% en el Atlántico y 67% en el Pacífico); sin embargo, las pasturas son el segundo uso más importante en el Caribe (27%), mientras que en el Pacífico lo son los cultivos anuales (16%). Para los embalses, los bosques cubren un 59% de las microcuencas aguas arriba, seguido por las pasturas (28%), los cultivos perennes (8%) los cultivos anuales (3%) y otros usos de suelo (2%). Para las centrales tipo filo de agua, la cobertura de bosques se incrementa a un 80% (Fig. 4).

### Sensibilidad a eventos climáticos

Excluyendo los cuerpos de agua, el 17% de la superficie de Nicaragua se encuentra en zonas de alta a muy alta sensibilidad a eventos climáticos (21.470 km<sup>2</sup>). Este porcentaje se incrementa notablemente cuando se

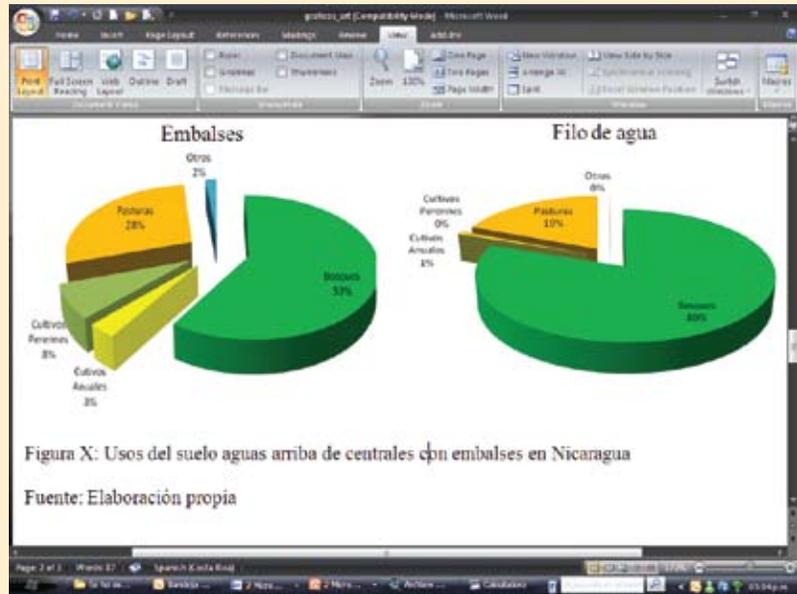
**Cuadro 3.**

Sensibilidad a eventos climáticos

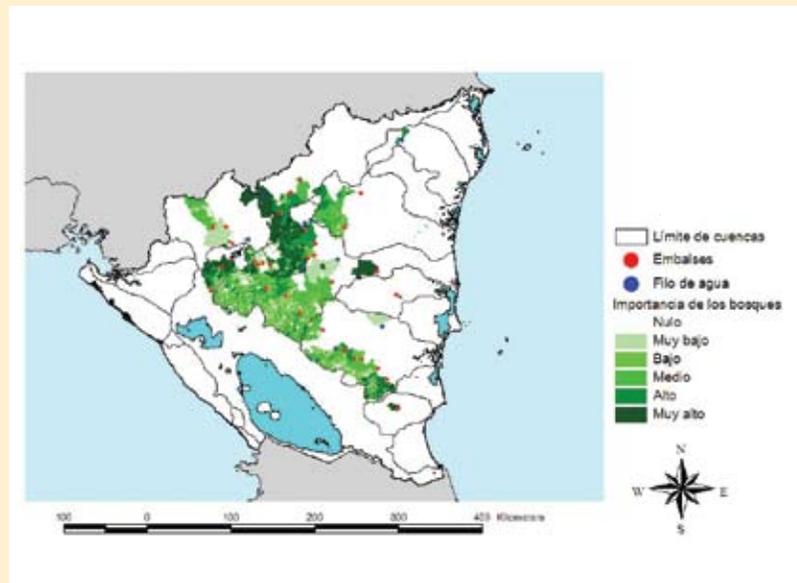
Sensibilidad	País %	Área arriba de centrales
Muy baja	2,4	23,8
Baja	5,1	17,7
Media	36,6	17,4
Alta	34,1	13,9
Muy alta	14,6	35,1

toma en cuenta solo la ubicación de las cuencas que están generando SE para las centrales hidroeléctricas: 35% de la superficie de las cuencas que generan SE se ubican en zonas de alta a muy alta sensibilidad

a eventos climáticos (Cuadro 3). Este hecho evidencia la necesidad de trabajar para reducir vulnerabilidad del sector hidroeléctrico, por ejemplo con un mejor manejo de las cuencas y ecosistemas forestales.



**Figura 4.** Usos del suelo aguas arriba de centrales con embalses en Nicaragua  
Fuente: Leguía 2007



**Figura 5.** Bosques importantes para las centrales hidroeléctricas  
Fuente: Leguía 2007



### Importancia de los bosques para las centrales hidroeléctricas

Los ecosistemas de importancia media a muy alta para las centrales hidroeléctricas representan el 10,4% de la superficie territorial de Nicaragua y están ubicados casi en su totalidad en la región atlántica, principalmente en las cuencas del Río Grande de Matagalpa (17 centrales, 866 MW) y del Río Coco (9 centrales, 298 MW).

Aproximadamente 8300 km<sup>2</sup> de bosques se consideran como de alta a muy alta importancia para las centrales hidroeléctricas. Estos se encuentran distribuidos principalmente en 49 municipalidades; las que albergan mayores superficies son: Cúa-Bocay, Waslala, Wiwili de Jinotega, Nueva Guinea, Siuna y Matiguas, con áreas entre 537 km<sup>2</sup> y 1176 km<sup>2</sup>. La importancia de los bosques es determinada por la capacidad instalada de las centrales, la cobertura de bosques (porcentaje dentro de las microcuencas) y el área total de las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas. La dis-

persión de la capacidad instalada del proyecto Copalar en más de 6800 km<sup>2</sup> de cuenca hace que los bosques muestren una importancia media. Ocurre lo contrario con el proyecto Tumarín cuya capacidad instalada se concentra en una pequeña cuenca donde los bosques se consideran muy importantes (Fig. 5).

La mayoría (89%) de los bosques de importancia media a muy alta para el sector hidroeléctrico se encuentran fuera de áreas protegidas. La superficie de bosques productores de SE de importancia media a muy alta que están dentro de áreas protegidas es de 1305 km<sup>2</sup>. Bosawas alberga la mayor extensión de bosques importantes para la hidroenergía (716 km<sup>2</sup>) y solo aquellos que se encuentren dentro de áreas protegidas mantendrán su cobertura según las proyecciones de deforestación de MAGFOR-SINIA (2002).

### Conclusiones

El sector hidroenergético en Nicaragua se concentra en zonas de sensibilidad alta a eventos cli-

máticos; por lo tanto, las políticas nacionales de adaptación al cambio climático deben incluir el sector hidroenergético de manera prioritaria. Los bosques importantes para el sector hidroenergético en Nicaragua se ubican, más que todo, en la zona central (cuenca del río Grande de Matagalpa) y norte (cuenca del río Coco) de la vertiente del Atlántico.

Gracias a su capacidad de generar servicios ecosistémicos, mayor cobertura y distribución dentro de las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas, los bosques son más importantes para la adaptación del sector hidroenergético que los demás usos del suelo.

Existen bosques importantes para la adaptación del sector hidroenergético dentro de áreas protegidas; sin embargo, la gran mayoría de estos bosques están desprotegidos.

La identificación de ecosistemas forestales que proveen SE para las centrales hidroeléctricas es una herramienta de diálogo importante para la implementación de planes de manejo adaptativo con la finalidad de garantizar el flujo continuo de tales servicios y así contribuir con la adaptación del sector hidroenergético a los posibles impactos del cambio climático. Así mismo es una herramienta útil para planificar esquemas de pagos por servicios ecosistémicos (PSE).

Este documento ha sido elaborado en el marco de la ejecución del Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático –Trofcca-, ejecutado por CATIE en América Central, a través del convenio suscrito entre CATIE y CIFOR en septiembre del 2005. Trofcca recibe el apoyo financiero de la Comisión Europea mediante contrato No. EuropeAid/ENV/2004-81719. El contenido de este documento es responsabilidad de los autores y bajo ninguna circunstancia refleja la posición de la Unión Europea.

## Literatura citada

- Adger, N; Huq, S; Brown, K; Conway, D; Hulem, M. 2003. Adaptation to climate change in developing world. *Progress in Development Studies* 3(3):179-195.
- Bruijnzeel, L. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:185–228.
- Bruijnzeel, L; Calder, I; Vertessy, RA. 2004. Impacts of forest conversion on streamflow. *Hydrology Encyclopedia of Forest Sciences* (online). p 350-358. Available online: [www.elsevier.com/locate/](http://www.elsevier.com/locate/). doi:10.1016/B0-12-145160-7/00209-X.
- Chen, SJ; Hwang, CL. 1992. *Fuzzy multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag, Berlin, DE. 536 p.
- CEPAL. 2006. Istmo centroamericano: estadísticas del subsector eléctrico. Informe preliminar del segmento de la producción de electricidad. (Datos actualizados a 2005). 37 p.
- CNE (Comisión Nacional de Energía, NI). 2004a. Plan nacional para la electrificación rural en Nicaragua (PLANER) 2004-2013. Managua NI.
- \_\_\_\_\_. 2004b. Desarrollo de la hidroelectricidad a pequeña escala para usos productivos en zonas fuera de la Red. Formulación de estudios de factibilidad y diseños finales para la ejecución de 10 proyectos demostrativos de pequeñas centrales hidroeléctricas NIC10-000-14045-001. Managua. NI.
- \_\_\_\_\_. 2005a. Tres estudios de proyectos hidroeléctricos a nivel de pre-factibilidad. Centrales hidroeléctricas Boboké – Pajaritos – Valentín. Managua. NI.
- \_\_\_\_\_. 2005b. Nicaragua: Apoyo a la implementación de proyectos hidroeléctricos de 5 a 30 Mw. PNUD-CNE10/0000/14043. Managua, NI. 20 p.
- \_\_\_\_\_. 2005c. Plan indicativo de la generación del sector eléctrico. Periodo 2005-2016. Managua. NI. 100 p.
- \_\_\_\_\_. 2006. Plan estratégico para el sector eléctrico. Managua, NI. 42 p.
- Coomes, O; Burt, G. 2001. Peasant charcoal production in the Peruvian Amazon: rainforest use and economic reliance. *Forest Ecology and Management* 140(1):39-50.
- Daily, GC; Alexander, S; Ehrlich, PR; Goulder, L; Lubchenco, J; Matson, PA; Mooney, HA; Postel, S; Schneider, SH; Tilman, D; Woodwell, GM. 1997. Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology* No. 2:17.
- Fahey, B; Jackson, R. 1997. Hydrological impacts of converting native forest and grasslands to pine plantations, South Island, New Zealand. *Agricultural and Forestry Meteorology* 84:69-82.
- Frey, GW; Linke, DJ. 2002. Hydropower as a renewable and sustainable energy resource meeting global energy challenges in a reasonable way. *Energy Policy* 30:1261-1265.
- Guo, Z; Xiao, X; Li, D. 2000. An assessment of ecosystem services: water flow regulation and hydroelectric power production. *Ecological Applications*10(3):925-936.
- Hodnett, MG. 1995. Seasonal soil water storage changes beneath central Amazonian rainforest and pasture. *Journal of Hydrology* 170:233-254.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2001. Amenazas naturales de Nicaragua. Managua, NI. 310 p.
- Ingeniería y Ciencia Ambiental, S.L. 2006. Estudio ambiental preliminar de los proyectos hidroeléctricos de Copalar y Tumarín (Nicaragua). Managua, NI, Energía, SA – HYDROCOPALAR, Ltd. 60 p.
- IPCC. 2001a. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). McCarthy, J. Canziani, O. Leary, A. Dokken, D. y S. White, K. Eds. Cambridge University Press, UK. 1000 p.
- IPCC. 2001b. Climate Change 2001: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Houghton, J. Ding, Y. Griggs, D. Noguer, M. van der Linden, P. Xiaosu, D. Eds. Cambridge University Press, UK. 944 p.
- Keong, CY. 2005. Energy demand, economic growth, and energy efficiency –the Bakun dam-induced sustainable energy policy revisited. *Energy Policy* 33:679-689.
- Klimpt, JE; Rivero, C; Puranen, H; Koch, F. 2002. Recommendations for sustainable hydroelectric development. *Energy Policy* 30:1305-1312.
- Gobierno de Nicaragua. 2003. Ley N° 467: Ley de promoción al subsector hidroeléctrico. Managua, NI. La Gaceta no 19, setiembre.
- Leguia, E. 2007. Identificación de bosques importantes proveedores de servicios ecosistémicos para la generación de hidroelectricidad en Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 95 p.
- MAGFOR-SINIA. 2002. Atlas Rural de Nicaragua. Managua, NI. 1 CD.
- Metzer, MJ; Rounsevell, MDA; Acosta-Michlik, L; Leemans, R; Schröter, D. 2006. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114:69–85.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC., Island Press. 155 p.
- Nandakumar, N; Mein, RG. 1997. Uncertainty in rainfall-runoff model simulations and the implications for predicting the hydrologic effects of land-use change. *Journal of Hydrology* 192:211-232.
- Pagiola, S. 2002. Paying for water services in Central America: learning from Costa Rica. In: Pagiola, S; Bishop, J; Landel-Mills, N. *Selling forest environmental services. Market-based mechanisms for conservation and development*. London, UK, Earthscan Publications. p. 37-62.
- Paish, O. 2002. Small hydropower: technology and current status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6:537-556.
- Reddy, RV; Uitto, JI; Frnas, DK; Matin, N. 2006. Achieving global environmental benefits through local development of clean energy? The case of small hilly hydel in India. *Energy Policy* 34:4069-4080.
- Sahin, V; Hall, MJ. 1996. The effects of afforestation and deforestation on water yields. *Journal of Hydrology*178:293-309.
- Stefaninia, L; Sorinia, L; Guerra, ML. 2006. Parametric representation of fuzzy numbers and application to fuzzy calculus. *Fuzzy Sets and Systems* 157(18):2423-2455.
- TNC (The Nature Conservancy). 2007. *Drenajes de Centroamérica, Geodatabase. versión 1.0. Región de Mesoamérica y Caribe*. Science Program, San José, CR.
- Troy, A; Wilson, MA. 2006. Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecological Economics* 60:435-449.
- Vincenzi, J. 2001. Manejo de cuencas un nuevo desafío para el ICE. *Energía y Telecomunicaciones (CR)* 11(1):100-111.
- Yukse, O; Komurcu, MI; Yuksel, I; Kaygusuz, K. 2006. The rol of hydropower in meeting Turkey's electric energy demand. *Energy Policy* 34:3093-3103.