



Identificación de bosques proveedores de servicios ecosistémicos para hidroelectricidad en Nicaragua

EFRAÍN LEGUÍA, BRUNO LOCATELLI, PABLO IMBACH, FRANCISCO ALPÍZAR, RAFFAELE VIGNOLA y CARLOS PÉREZ

Gracias a complejas interacciones biológicas, químicas y físicas, los ecosistemas brindan a la sociedad un conjunto de servicios ecosistémicos de gran importancia para su desarrollo (Daily *et al.* 1997, Coomes y Burt 2001, *Millenium Ecosystem Assessment* 2005). Paradójicamente, nuestras decisiones -en un marco histórico- y más recientemente el cambio climático vienen poniendo en riesgo el flujo de servicios ecosistémicos en varias zonas del mundo (Coomes y Burt 2001, IPCC 2001).

El desarrollo del sector energético es clave para el progreso de los países, principalmente de los en vías de desarrollo (Klimpt *et al.* 2002, Keon 2005, Yuksek *et al.* 2006). El agua es la fuente más usada para generar energía y, en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, es una alternativa a la utilización de combustibles fósiles (Frey y Linke 2002, Paish 2002, Reddy *et al.* 2006), motivo por el que Nicaragua, que actualmente solo aprovecha el 2 por ciento de su potencial hidroeléctrico, está promoviendo la implementación de proyectos hidroeléctricos de pequeña, mediana y alta capacidad (Cepal 2004, *La Gaceta* 2003).

Los servicios ecosistémicos hídricos de los bosques tropicales, tales como la reducción de la sedimentación, la reducción de caudales máximos, la conservación de caudales mínimos y del volumen total de agua, contribuyen a la sostenibilidad del sector hidroeléctrico (Guo *et al.* 2000, Vincenzi 2001). Sin embargo, la naturaleza y la magnitud de este aporte aún es poco claro (Bruijnzeel *et al.* 2004).

El cambio climático podrá aumentar la vulnerabilidad del sector hidroenergético mediante la alteración del patrón de precipitaciones o de eventos extremos como inundaciones y deslizamientos que pueden ocasionar severos daños a las instalaciones (IPCC 2001). En este contexto, los servicios ecosistémicos contribuyen a reducir la vulnerabilidad del sector hidroenergético (*Millenium Ecosystem Assessment* 2005, Metzger *et al.* 2006); no obstante, la presión sobre los ecosistemas forestales, por factores socioeconómicos o debido al cambio climático, tendrá un impacto sobre los servicios ecosistémicos importantes para el sector hidroeléctrico, hecho que merece un diálogo entre la sociedad civil, el sector ambiental y de recursos naturales y el sector energético. Un insumo que puede fortalecer este diálogo es una herramienta que permita priorizar los ecosistemas forestales que están generando servicios ecosistémicos de utilidad para el sector hidroenergético (Metzger *et al.* 2006).

El trabajo de investigación del que a continuación se da cuenta se desarrolló con el objetivo de generar una metodología que permita identificar bosques proveedores de servicios ecosistémicos importantes para la adaptación del sector hidroenergético en Nicaragua.

El marco metodológico del que partimos enfatiza los vínculos que existen entre los diferentes usos del suelo, principalmente los bosques y su capacidad de producir servicios ecosistémicos hídricos de utilidad para las centrales hidroeléctricas. Nuestra metodología tiene raíz en el trabajo sobre transferencia de beneficios usado para estimar el valor del flujo de servicios ecosistémicos aplicado a tres casos de estudio con una diversidad de escalas espaciales y localización (Troy *et al.* 2006). El método es aplicable a cualquier servicio ecosistémico no rival, es decir cuyo uso no reduce la disponibilidad del servicio a otros.

En primera instancia, se procedió a definir las tipologías de usuarios de los servicios ecosistémicos, usos del suelo y servicios ecosistémicos. La interacción espacial entre estos componentes se basó en la división de microcuencas de Nicaragua generada a partir del mapa de drenajes (TNC 2007). Con base en el mapa de uso del suelo de Nicaragua (Magfor 2002) se construyó cinco usos del suelo: bosques, cultivos anuales, cultivos perennes, pasturas y otros usos. Además, se especificaron las siguientes relaciones espaciales: presencia de usuarios en una microcuenca, vulnerabilidad ante eventos climáticos y proporción de cada uso de suelo en una microcuenca.

Para evaluar la vulnerabilidad se usó el siguiente índice (Adger *et al.* 2003, IPCC 2001): *Vulnerabilidad = Sensibilidad a eventos climáticos – Capacidad adaptativa*. Se definió las relaciones entre uso de suelo y producción de servicios ecosistémicos y las relaciones entre servicios ecosistémicos y usuarios. Estas relaciones fueron establecidas

con base en revisión bibliográfica y consulta con expertos y se midieron con valores lingüísticos. Se definió la capacidad de los distintos tipos de uso para producir servicios ecosistémicos con base en: Hodnett *et al.* (1995), Sahin y Hall (1996), Fahey y Jackson (1997), Nandakumar y Mein (1997), Guo *et al.* (2000), Bruijnzeel (2004), Bruijnzeel *et al.* (2004) y Vincenzi (2001), y para la utilidad de los servicios ecosistémicos para las centrales hidroeléctricas se usó Guo *et al.* (2000), Vincenzi (2001), Klimpt (2002), CNE (2004), CNE (2005) y CNE (2006).

La información fue procesada en dos etapas: En la primera se hizo énfasis en los usuarios de los servicios ecosistémicos, asumiéndose que la importancia de los ecosistemas para la adaptación del sector hidroenergético depende del beneficio que obtienen los usuarios de los servicios ecosistémicos y que este beneficio es más alto para usuarios más vulnerables. Para esto se calculó, para cada usuario, el *beneficio*, definido como el producto de la vulnerabilidad del usuario y la *utilidad* que obtiene del servicio. Para cada usuario se calculó la *cantidad de servicios ecosistémicos recibidos* de las cuencas aguas arriba para calcular el *beneficio unitario*, que indica quiénes son los usuarios que necesitan más servicios ecosistémicos (aquellos con alta vulnerabilidad o utilidad alta) y que no reciben cantidades adecuadas (baja oferta). Para ellos, una unidad de servicios ecosistémicos es más importante que para los que reciben mayores cantidades. En la segunda etapa, el énfasis se puso en los ecosistemas y se asumió que la importancia de los ecosistemas depende de tres factores: (a) cantidad de servicios ecosistémicos producidos (microcuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas), (b) presencia de usuarios en la unidad de destino (aguas abajo del área donde se producen los servicios ecosistémicos) y (c) beneficio unitario de cada servicio ecosistémico para los usuarios en todas las microcuencas aguas abajo.

Como resultados del estudio se encontró que en cuanto a mayor número de centrales la cuenca principal es la n° 55 (17 centrales, 866 MW); la segunda es la n° 45 (nueve centrales, 298 MW); la tercera es la n° 61 (ocho centrales, 210 MW); luego está la n° 69 (tres centrales, 133 MW); le sigue la cuenca n° 53 (dos centrales, 278 MW), y, finalmente, con una central cada una, están las cuencas n° 49 (7 MW), n° 57 (18 MW) y n° 65 (94 MW). La vertiente del Atlántico alberga al mayor número de centrales hidroeléctricas. La capacidad prevista varía entre 2,5 MW y 300 MW. Mientras que las centrales hidroeléctricas a filo de agua tienen una capacidad instalada que varía entre 0,18 MW y 7 MW.

También, en cuanto a distribución de los bosques, se determinó que aproximadamente el 78 por ciento está en la Región del Atlántico (RAAN, RAAS y Río San Juan), el 17 por ciento en la Región Central (Madriz, Nueva Segovia, Matagalpa, Jinotega, Boaco, Chontales y Estelí), y el cinco por ciento en la Región Pacífico (Marena 2003). La central Santa recibe servicios ecosistémicos de 17 cuencas aguas arriba (32 km²), que en su mayor parte son bosques (73 por ciento), y la central Centroamérica recibe servicios ecosistémicos de 639 cuencas (876 km²), siendo el bosque el mayor uso del suelo (66 por ciento), seguido por los cultivos anuales (16 por ciento).

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 km² contra 876,57 km²), debido a que posee los ríos de mayor recorrido con régimen de caudal permanente y caudalosos, aunque variable en el espacio y en el tiempo (Ineter 2001). Esta área significa el 16 por ciento de la superficie de Nicaragua en el caso de los ecosistemas seleccionados en la vertiente atlántica y menos del uno por ciento para la vertiente del Pacífico. Dentro de cada vertiente, y tomando en cuenta solo las áreas que producen servicios ecosistémicos para las centrales hidroeléctricas, los bosques siguen siendo el uso de suelo más abundante (64 por ciento en el Atlántico y 67 por ciento en el Pacífico); sin embargo, las pasturas son el segundo uso más importante en el Caribe (27 por ciento), mientras que en el Pacífico lo son los cultivos anuales (16 por ciento).

Para los embalses, los bosques cubren un 59 por ciento de las microcuencas aguas arriba, seguido por las pasturas (28 por ciento), los cultivos perennes (8 por ciento), los cultivos anuales (3 por ciento) y otros usos de suelo (2 por ciento). Mientras que para las centrales tipo filo de agua la cobertura de bosques se incrementa a un 80 por ciento.

También se encontró que, excluyendo los cuerpos de agua, el 17 por ciento de la superficie de Nicaragua se encuentra en zonas de alta a muy alta sensibilidad a eventos climáticos (21.470 km²), proporción que se incrementa notablemente cuando se toma en cuenta solo la ubicación de las cuencas que están generando servicios ecosistémicos para las centrales hidroeléctricas. El 35 por ciento de la superficie de las cuencas que generan servicios ecosistémicos se ubica en zonas de alta a muy alta sensibilidad a eventos climáticos, hecho que evidencia la necesidad de trabajar para reducir vulnerabilidad del sector hidroeléctrico, por ejemplo con un mejor manejo de las cuencas y ecosistemas forestales.

Finalmente, se determinó que los ecosistemas de importancia entre media y muy alta para las centrales hidroeléctricas representan el 10,4 por ciento de la superficie territorial de Nicaragua y están ubicados casi en su totalidad en la región atlántica, principalmente en las cuencas de los ríos Grande de Matagalpa (17 centrales, 866

MW) y Coco (9 centrales, 298 MW), que es donde se encuentra la mayor capacidad instalada potencial del país. Aproximadamente 8.300 km² de bosques se consideran como de alta a muy alta importancia para las centrales hidroeléctricas. Éstos se encuentran distribuidos principalmente en 49 municipalidades, siendo las de mayor superficie Cúa-Bocay, Waslala, Wiwili de Jinotega, Nueva Guinea, Siuna y Matiguas, con áreas entre 537 km² y 1.176 km². La importancia de los bosques está influenciada por la capacidad instalada de las centrales, el tipo de usuario, la cobertura de bosques (porcentaje aguas arriba de las microcuencas) y el área total de las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas. El área de influencia para el proyecto Copalar (6.800 km² aproximadamente) hace que los bosques muestren una importancia media. Ocurre lo contrario con el proyecto Tumarín, cuya área de influencia es menor y los bosques se consideran muy importantes.

La superficie de bosques productores de servicios ecosistémicos de importancia media a muy alta que están dentro de áreas protegidas es de 1.305 km², lo que significa apenas el 11 por ciento del total de superficie de bosques identificados dentro de estas categorías (de media a muy alta); y solo los que se encuentren dentro de áreas protegidas mantendrán su cobertura según las proyecciones de deforestación de Magfor (2002). El área protegida de la reserva de la biosfera Bosawás alberga la mayor extensión de bosques importantes para la hidroenergía (716 km²).

Como conclusiones señalamos que las futuras centrales hidroeléctricas en Nicaragua se ubicarán mayoritariamente en zonas de sensibilidad alta a eventos climáticos, por lo que las políticas nacionales de adaptación al cambio climático deben incluir el sector hidroenergético.

Los bosques importantes para el sector hidroenergético en Nicaragua se encuentran ubicados mayormente en la zona central (cuenca del río Grande de Matagalpa) y al 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. Sin embargo, un buen manejo de suelos puede mejorar su capacidad de proveer servicios ecosistémicos.

Existen bosques importantes para la adaptación del sector hidroenergético dentro de áreas protegidas; sin embargo, la gran mayoría de ellos están fuera del amparo de este tipo de figura legal, hecho que evidencia la necesidad de incluir los ecosistemas importantes para la hidroenergía en un sistema de manejo y conservación que reduzca la vulnerabilidad del sector a eventos climáticos. Reforzando el trabajo de análisis individualizado del aporte de servicios ecosistémicos por cada uso del suelo podríamos priorizar y mapear aquéllos que producen servicios ecosistémicos específicos, evitando así sobrevaluar o subvalorar un determinado uso de suelo.

Referencias bibliográficas

- Adger, N. et al. "Adaptation to climate change in developing world", en *Progress in Development Studies* 3,3, 2003.
- Bruijnzeel, L. "Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?", en *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104, 2004.
- Bruijnzeel, L. et al. "Impacts of Forest Conversion on Streamflow", en *Hydrology* 2004.
- Cepal. 2004. *Estrategias para el fomento de las fuentes renovables de energías en América Central*.
- CNE. 2004. *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.
- CNE. 2005. *Estudios de proyectos hidroeléctricos a nivel de pre-factibilidad. Centrales hidroeléctricas Boboké – Pajaritos – Valentín*. Managua.
- CNE. 2005. *Apoyo a la implementación de proyectos hidroeléctricos de 5 a 30 Mw*. PNUD-CNE10/0000/14043. Managua.
- CNE. 2005. *Plan indicativo de la generación del sector eléctrico. Periodo 2005-2016*. Managua.
- CNE. 2006. *Plan estratégico para el sector eléctrico*. Nicaragua.
- Coomes, O. y G. Burt. "Peasant charcoal production in the Peruvian Amazon: rainforest use and economic reliance", en *Forest Ecology and Management* 140, 2001.
- Daily, G. C.; Alexander, S.; Ehrlich, P. R.; Goulder, L.; Lubchenco, Jane; Matson, P. A.; Mooney, H. A. et al. "Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems", en *Issues in ecology* 2, 1997.
- Fahey, B. y R. Jackson. "Hydrological impacts of converting native forest and grasslands to pine plantations, South Island, New Zealand", en *Agricultural and forestry meteorology* 84, 1997.
- Frey, G. W. y D. Linke. "Hydropower as a renewable and sustainable energy resource meeting global energy challenges in a reasonable way", en *Energy policy* 30, 2002.
- Guo, Z., X. Xiao y D. Li. "An assessment of ecosystem services: water flow regulation and hydroelectric power production", en *Ecological Applications* 10, 2000.
- Hodnett, M. G. "Seasonal soil water storage changes beneath central Amazonian rainforest and pasture", en *Journal of hydrology* 170, 1995.
- Ingeniería y Ciencia Ambiental. 2006. *Estudio ambiental preliminar de los proyectos hidroeléctricos de Copalar y Tumarín (Nicaragua)*. Energía, SA – HYDROCOPALAR, Ltd. Ineter. 2001.
- Amenazas naturales de Nicaragua*. Instituto nicaragüense de estudios territoriales. Managua.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press. UK.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press. UK.
- Keong, C. Y. "Energy demand, economic growth, and energy efficiency –the Bakun dam-induced sustainable energy policy revisited", en *Energy policy* 33, 2005.
- Klimpt, J. E. et al. "Recommendations for sustainable hydroelectric development", en *Energy policy* 30, 2002.
- La Gaceta*. 2003. *Ley N° 467. Ley de promoción al subsector hidroeléctrico*.
- Leguía, E. 2007. *Identificación de bosques importantes proveedores de servicios ecosistémicos para la generación de hidroelectricidad en Nicaragua*. Tesis Mag. Sc. Catie. Costa Rica.
- Magfor-Sinia. 2002. *Atlas Rural de Nicaragua*. Managua.
- Marena. 2003. *Estado del ambiente en Nicaragua 2003. II informe GEO*. Managua.
- Metzer, M. J. et al. "The vulnerability of ecosystem services to land use change. Agriculture", en *Ecosystems and Environment* 114, 2006.
- Millennium Ecosystem Assessment*. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. Washington DC.
- Nandakumar, N. y R. G. Mein. 1997. *Uncertainty in rainfall-runoff model simulations and the implications for predicting the hydrologic effects of land-use change*.
- Paish, O. "Small hydro power: technology and current status", en *Renewable and sustainable energy reviews* 6, 2002.
- Reddy, R. V. et al. "Achieving global environmental benefits through local development of clean energy? The case of small hilly hydel in India", en *Energy policy* 34, 2006.
- Sahin, V. y M. J. Hall. "The effects of afforestation and deforestation on water yields", en *Journal of Hydrology* 178, 1996.
- TNC. 2007. *Red de Drenajes de Centroamérica, Geodatabase, versión 1.0*. The Nature Conservancy, Región de Mesoamérica & Caribe, Science Program. San José.
- Troy, A. y M. A. Wilson. "Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer", en *Ecological economics* 60, 2006.
- Vincenzi, J. "Manejo de cuencas un nuevo desafío para el ICE", en *Tecnología-ICE. Energía y telecomunicaciones* Vol. 11, No.1, Diciembre 2001.
- Yukse, O. et al. "The roll of hydropower in meeting Turkey's electric energy demand", en *Energy policy* 34, 2006.

