

Identificación de bosques y sistemas agroforestales proveedores de servicios ecosistémicos para el sector agua potable en Nicaragua¹

Cliserio González H.²
Bruno Locatelli³
Pablo Imbach⁴
Raffaele Vignola⁴
Carlos J. Pérez⁴
Philippe Vaast⁵

Los ecosistemas forestales proporcionan beneficios a las cuencas hidrográficas, tales como provisión de agua de calidad, reducción de caudales máximos e inundaciones, reducción de la variación de caudales máximos y mínimos a lo largo del año, estabilidad del suelo, prevención de la erosión en cárcavas y superficial y reducción de sedimentos aguas abajo

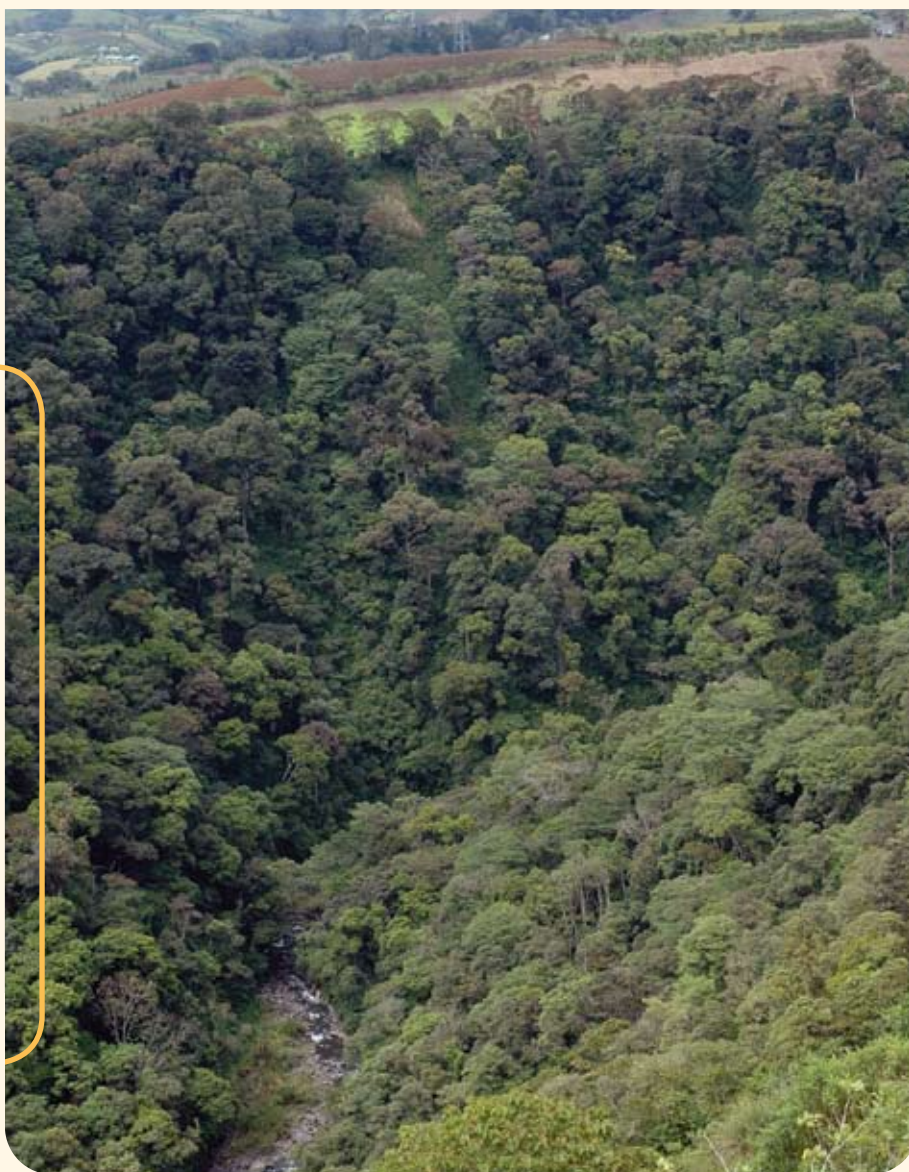


Foto: LacNet, CATIE

¹ Este documento fue elaborado en el marco 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 setiembre 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.

² CATIE. Cambio Global, Turrialba, Costa Rica. cliserio@catie.ac.cr

³ CIRAD. Forest Policy Montpellier Francia, CATIE Cambio Global, Turrialba, Costa Rica

⁴ CATIE. Cambio Global, Turrialba, Costa Rica

⁵ CIRAD Montpellier Francia, CATIE Agroforestería, Turrialba, Costa Rica

Resumen

El objetivo de este estudio fue identificar los bosques y sistemas agroforestales (SAF) que proveen servicios ecosistémicos (SE) importantes para reducir la vulnerabilidad del sector agua potable a los efectos del cambio climático en Nicaragua. Mediante las variables uso del suelo, capacidad de generar SE, beneficios obtenidos por los usuarios, ubicación de los usuarios e indicadores de vulnerabilidad en un contexto de cambio climático se generaron datos que, procesados mediante un modelo matemático y sistemas de información geográfica, permitieron identificar en un mapa los bosques y SAF prioritarios para el sector agua potable.

Los resultados muestran que los bosques y SAF importantes para el sector agua potable se encuentran localizados, en su mayoría, en las regiones Pacífico y Central. Únicamente el 20% de los bosques importantes se encuentran bajo el esquema de áreas protegidas. Estos resultados proporcionan elementos de análisis para la planificación del manejo adaptativo de estos ecosistemas forestales, de manera a reducir la vulnerabilidad del sector agua potable ante los efectos adversos del cambio climático.

Palabras claves: bosques, sistemas agroforestales, servicio ecosistémico, agua potable, cambio climático.

Summary

Identification of forests and agroforestry systems important suppliers of ecosystems services important for the water potable sector in Nicaragua. This study was aimed to identify the forests and agro-forestry systems (AFS) that provide important ecosystems services (ES) for vulnerability reduction to climate change in the potable water sector in Nicaragua. Forests areas and AFS important for the potable water sector were determined from data about land uses, their capacity to provide ES, benefits obtained by ES users, location of the users, and vulnerability indices in the context of climatic change. Data were processed by a mathematical model and a geographical information system. Results show that important forests and AFS are mainly located in the Pacific and Central regions and that only 20% of the important to very important forests are protected by the protected areas system. These results provide insights on the adaptive management measures for forests and AFS that would reduce the vulnerability of the potable water sector facing climate change.

Keywords: forests, agroforestry systems, ecosystems services, water potable, climatic change.

Introducción

El agua es un factor esencial en el desarrollo de las naciones; probablemente este será el recurso que establecerá los límites del desarrollo sustentable, ya que además de ser importante para el desarrollo económico y social de la humanidad, lo es también para el funcionamiento de todos los ecosistemas. Por eso, la producción, conservación y distribución de agua para consumo humano, además de la capacidad de enfrentar situaciones extremas de

abundancia y escasez, son aspectos fundamentales a considerar en el desarrollo humano sostenible.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, en la actualidad existen 1100 millones de personas en el mundo sin acceso a agua limpia, de las cuales el 70% vive en condiciones de pobreza extrema (PNUD 2006). En Nicaragua -considerada como la segunda nación más pobre de Latinoamérica- la cobertura nacional de agua potable en el 2004 era del 75,8% a nivel nacional, aun-

que las zonas urbanas son las que tienen mayor cobertura (95,1%), mientras que en las zonas rurales la cobertura es de tan solo 48,5%. Esta situación hace que sea en estas zonas donde se registre el índice de desarrollo humano más bajo a nivel nacional y la más alta tasa de mortalidad asociada a enfermedades de origen hídrico (CONAPAS 2005). El Fondo de Población de las Naciones Unidas, por su parte, reporta que el equilibrio entre la demanda de agua dulce para consumo humano y la cantidad de agua

disponible a nivel mundial está en riesgo dado que en los últimos 70 años la población se ha triplicado, pasando de 2000 millones a 6100 millones; además, el consumo de agua, incluyendo los usos agrícola e industrial, se han incrementado seis veces (FNUAP 2001).

Dao y Peduzzi (2004) afirman que el abastecimiento de agua en el futuro dependerá de los cambios en cantidades y estacionalidad de la precipitación local debido al cambio climático. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) menciona que en algunas partes del mundo, principalmente en las zonas áridas y semiáridas, el cambio climático incrementará la escasez de agua por las modificaciones en los regímenes de lluvia, incrementos en la evapotranspiración y escorrentía, incrementos en la frecuencia y duración de las sequías y pérdidas de glaciares (IPCC 2001).

Daily (1997) define a los servicios ecosistémicos (SE) como las condiciones y procesos mediante los cuales los ecosistemas naturales y las especies que lo forman, sostienen y satisfacen necesidades de la humanidad. Según el Millenium Ecosystem Assessment, el nexo entre los ecosistemas y la sociedad se ha intensificado en los últimos 50 años debido a la demanda creciente por alimentos, agua dulce, fibras, madera y combustible (MEA 2005); esta situación viene provocando la degradación de los recursos naturales y la reducción de los servicios ecosistémicos (SE). De los 24 SE evaluados por el MEA, el 60% se encuentran degradados o no están siendo usados de manera sostenible; entre estos están los relacionados con el recurso hídrico (agua dulce y purificación del agua). Los ecosistemas proporcionan beneficios a las cuencas hidrográficas, tales como provisión de agua de calidad, reducción de caudales máximos e inunda-

ciones, reducción de la variación de caudales máximos y mínimos a lo largo del año, estabilidad del suelo, prevención de la erosión en cárcavas y superficial y reducción de sedimentos aguas abajo (FAO 2004).

Con base en las consideraciones anteriores, se consideró prioritario identificar los bosques y los servicios agroforestales (SAF), los cuales juegan un papel relevante en la provisión de SE hídricos para el sector agua potable en Nicaragua, en un contexto de cambio climático. Esta estrategia servirá de base para la planeación del manejo adaptativo de estos bosques, desde una perspectiva holística que considere a la sociedad como beneficiaria de los SE.

Metodología

El esquema metodológico de este trabajo se fundamenta en la relación entre la sociedad y los bienes y servicios que prestan los ecosistemas, a partir de los diferentes usos del suelo y la capacidad de estos de generar SE de interés para un sector determinado de la sociedad. Como unidad espacial mínima de análisis se definió a la microcuenca. Con base en el mapa de microcuencas de Centroamérica (TNC 2005), en el territorio nicaragüense se identificaron 107.561 microcuencas con un área promedio de 1,3 km².

Se definieron dos servicios ecosistémicos:

- Calidad de agua: definida como la capacidad del ecosistema de proveer agua con características físico-químicas que no representen riesgo para el consumo humano.
- Conservación de un caudal mínimo: definida como la capacidad del ecosistema de proveer una distribución constante del agua en la cuenca entre el periodo seco y lluvioso.

Como usuarios del sector agua potable se definieron tres tipos:

- Usuarios fuera de sistema: no están conectados a una red de dis-

tribución de agua potable y generalmente no figuran en las estadísticas del sector agua potable.

- Usuarios de sistema colectivo con pozo profundo: tienen acceso al servicio a través de una red de distribución de agua potable cuyo abastecimiento proviene de un pozo profundo.
- Usuarios de sistema colectivo de fuentes de agua superficiales: tienen acceso al servicio a través de una red de distribución de agua potable cuyo abastecimiento proviene de un cuerpo superficial de agua y está sujeta a un proceso de tratamiento.

Se usaron datos espaciales sobre los usuarios a nivel municipal, tales como estadísticas de población, producción, distribución, consumo y cobertura del servicio de agua potable (ENACAL et ál. 2005, INEC 2006). El conjunto de datos se desgregó a la unidad mínima de análisis (microcuenca) planteada para el estudio. Se definió un indicador de vulnerabilidad de los usuarios a nivel de microcuenca, compuesto por un indicador de sensibilidad y un indicador de capacidad adaptativa (IPCC 2001). La sensibilidad fue definida por un indicador de sensibilidad a problemas de calidad (porcentaje de usuarios fuera del sistema) y un indicador de sensibilidad a problemas de cantidad (disponibilidad de agua por habitante). La capacidad adaptativa fue definida por el índice de desarrollo humano municipal (PNUD 2005). Para homogenizar los indicadores, se hizo una estandarización lineal.

La utilidad que los usuarios obtienen de cada uno de los SE se definió mediante consulta con expertos y una revisión bibliográfica. Los usuarios que no tienen acceso al servicio de agua potable son los que obtienen una utilidad mayor de los SE 'calidad de agua' y 'conservación del caudal mínimo'. Los usuarios de pozo colectivo profundo dependen menos de los SE, ya que los procesos de infiltración del agua

hacia los mantos freáticos profundos *per se* proveen de agua limpia y con regularidad. Los usuarios de fuentes de agua superficiales con tratamiento reciben del SE ‘calidad de agua’ una utilidad media, ya que los problemas de calidad son parcialmente mitigados por el tratamiento previo; en cuanto a conservación del caudal mínimo, su utilidad es mayor ya que ellos dependen de la regularidad del caudal en el transcurso del año para abastecerse (Fig. 1).

Para reclasificar los usos de suelo se utilizó el mapa de uso actual del suelo (MARENA-SINIA 2003); se consideraron cinco usos: bosque, cultivos anuales, cultivos perennes, pastos y otros. La relación entre producción de SE y usos del suelo (Fig. 1, parte izquierda) se definió con base en una consulta a expertos y una revisión bibliográfica (Guo et ál. 2000, Rai y Sharma 1998, Bruijnzeel 1990 y 2004, Dissmeyer 2000, Enderlein y Bernardini 2005, Critchley et ál 1996, Kaimowitz 2004, Suarez de Castro 1980, Navar y Synnott 2000, Cheng et ál 2002, Allen y Chapman 2001, Gang-cai et ál 2004, Postel y Thompson 2005, Ong y Swallow 2003). Bruijnzeel (1990) afirma que los suelos forestales favorecen la infiltración del agua hacia el subsuelo y la recarga de los mantos acuíferos, lo que se puede asociar con la provisión de agua de calidad y regulación de flujos. Los suelos agrícolas, al igual que los pastizales, presentan menos evapotranspiración y extracción de agua, por lo que generalmente van a aportar más volumen de agua total a una cuenca. Los bosques, por el contrario, combinan una extensa superficie foliar, bajo albedo y poca resistencia al flujo de vapor, lo que permite una evapotranspiración alta (Giambelluca 2002). Los suelos agrícolas generalmente tienen niveles altos de escorrentía superficial, lo que resulta en poca recarga de acuíferos, contaminación de aguas superficiales por el uso de agroquí-

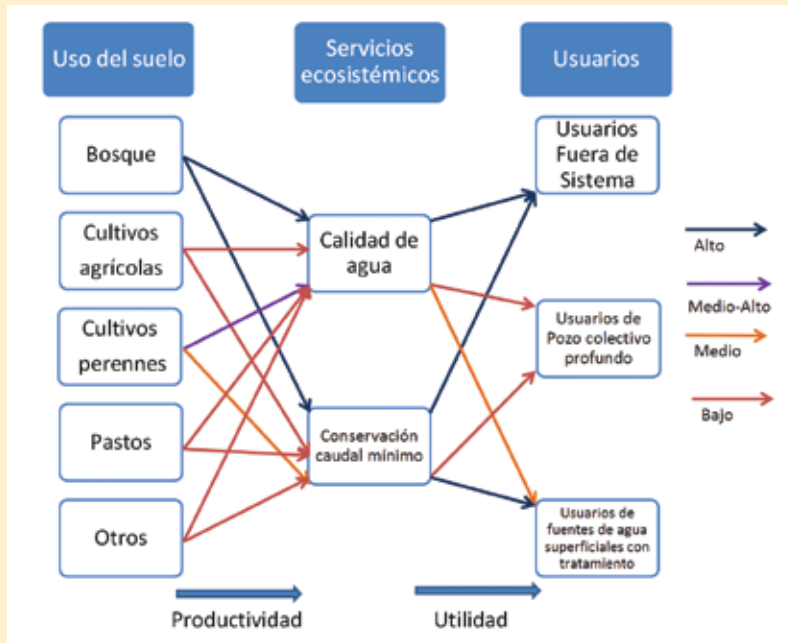


Figura 1. Relaciones entre usos del suelo, servicios ecosistémicos y usuarios

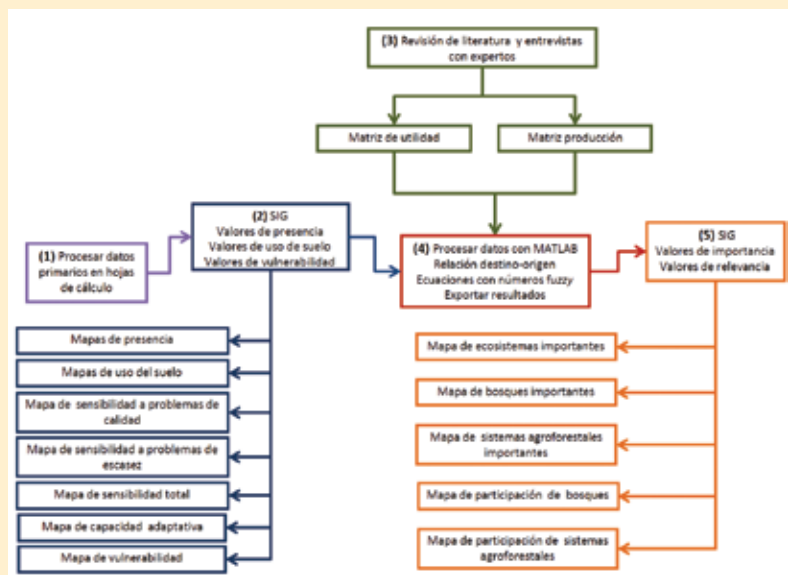


Figura 2. Secuencia metodológica para la obtención de mapas

micos y altas tasa de erosión (Navar y Synnott 2000, Suarez de Castro 1980).

La metodología utilizada constó de dos etapas. La primera etapa hizo énfasis en los usuarios de los SE y asumió que la importancia de

los ecosistemas para la adaptación del sector agua potable es proporcional al beneficio que obtienen los usuarios de los SE (el beneficio es mayor para los usuarios más vulnerables). Por cada usuario, se estimó el beneficio definido por el producto

entre la vulnerabilidad del usuario y la utilidad que obtiene del SE. Posteriormente, para determinar el beneficio unitario se estimó la cantidad de SE recibidos por cada usuario de las cuencas aguas arriba. En la segunda etapa, se puso énfasis en los ecosistemas. Se asumió que la importancia de los ecosistemas para la adaptación del sector agua potable es proporcional a los beneficios recibidos en el lugar de destino y depende de tres factores: la cantidad de SE, la presencia de usuarios aguas abajo y el beneficio unitario de los SE que obtienen los usuarios en todas las microcuencas aguas abajo.

La secuencia de manejo de datos incluyó la incorporación de los datos primarios en un SIG para generar valores por microcuenca de presencia de usuarios, de usos del suelo y de vulnerabilidad, los cuales se incorporaron luego junto con los valores de las matrices de producción y utilidad y se procesaron en Matlab (Fig. 2). Se asignaron valores *fuzzy* a las expresiones cualitativas (Terano et ál. 1987). Después de los cálculos de importancia de los ecosistemas en cada microcuenca se clasificó la importancia de los bosques en cinco clases (muy alta, alta, media, baja, muy baja) de tamaños iguales más una clase nula. Los resultados se exportaron a un SIG para construir los mapas.

Resultados y discusión

La cobertura nacional del servicio de agua potable se estimó en 72,1%, de los cuales el 83,5% corresponde a usuarios de pozo profundo colectivo y el resto a usuarios de fuentes de agua superficial. Este resultado difiere de los publicados por el PND (2005) y la OMS (2004): 75,8 y 71%, respectivamente. Para 1998, Webster et ál. (2001) mencionaba una cobertura nacional del 63%, lo que representa un avance de nueve puntos porcentuales, aunque es claro que Nicaragua está lejos de cumplir lo establecido en los objetivos del milenio.

En la región Pacífico, los recursos hídricos superficiales son mínimos (FAO 2000, Webster et ál. 2001), por lo que el abastecimiento de agua potable está en función de las aguas subterráneas. Esto explica en parte la cantidad de usuarios de pozos colectivos profundos en la región. También hay que considerar que en esta región se ubica la mayor parte de la población del país (54%), las ciudades más grandes, la industria y la agricultura más desarrolladas, lo que conlleva a una mayor presión sobre el recurso hídrico subterráneo.

La región Atlántica presenta las deficiencias más marcadas en la cobertura del sector agua potable, a pesar de ser la zona con mayor disponibilidad de recursos hídricos. La baja densidad de población, la dispersión de los núcleos poblacionales y la falta de inversión en el sector agua potable dificultan la ampliación de la cobertura (CONAPAS 2005).

Los resultados muestran que, en términos generales, todos los departamentos del Pacífico son muy sensibles a la escasez de agua debido a la alta concentración poblacional y las

bajas precipitaciones. Estos resultados coinciden con INETER (2001), MARENA (2000) y Picado (2003) que reportan a la región Pacífico como de alta vulnerabilidad y susceptibilidad a la sequía meteorológica debido a la alta densidad de población y la poca disponibilidad del recurso agua. En la región Atlántica, los índices de sensibilidad a problemas de calidad de agua son altos, ya que la población tiene menos acceso a sistemas de tratamiento de agua. CONAPAS (2005) muestra que los mayores índices de enfermedades diarreicas agudas se dan en el Atlántico.

De acuerdo a los escenarios climáticos para el 2030, en la región Pacífico la vulnerabilidad actual y la disminución en la cantidad de lluvias incrementarán la vulnerabilidad por escasez de agua, seguida por la región Centro-Norte que aparece con vulnerabilidad moderada. La calidad del agua proveniente de los mantos freáticos disminuirá como consecuencia de la intensificación de la agricultura y el depósito de residuos domésticos (MARENA 2001). En la vertiente del Atlántico

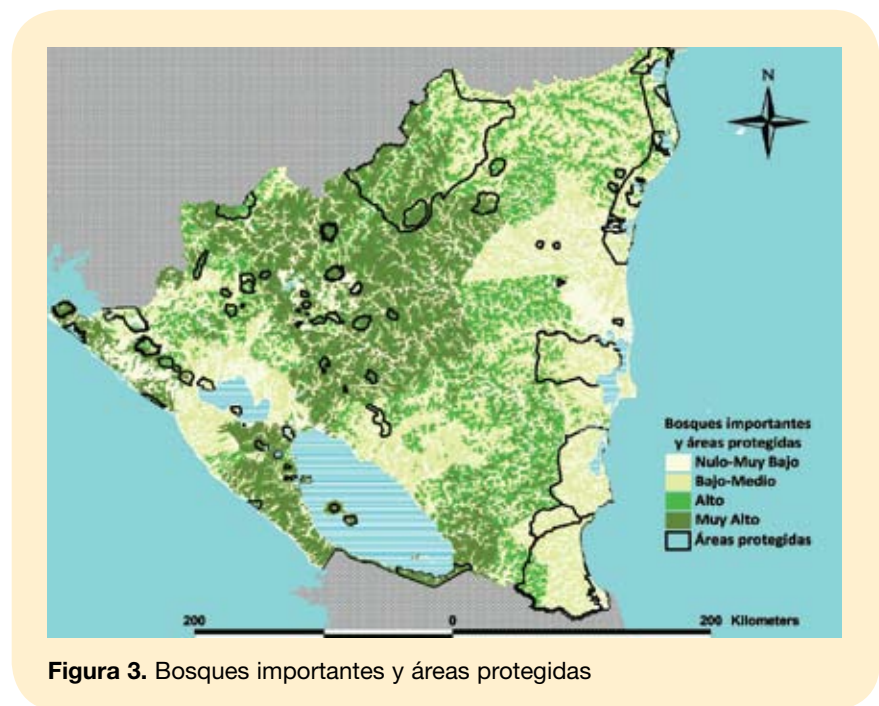


Figura 3. Bosques importantes y áreas protegidas

se localiza la mayor cantidad de bosques, pero los más importantes para el sector agua potable de Nicaragua son los de la vertiente Pacífico (Fig. 3). En las áreas donde la importancia de los ecosistemas es alta y muy alta, el bosque participa con el 46% de la provisión de SE; de hecho, este es el uso del suelo más importante en todo el país para el sector agua potable. En la región Pacífico, la alta presencia de usuarios que se benefician de los SE que prestan los bosques determina su importancia capital.

Los SAF - principalmente la producción de café - son importantes para el sector agua potable en áreas específicas de la región Centro-Norte y del Pacífico; en esas áreas, la provisión de servicios ecosistémicos depende de los SAF. El área de SAF identificada como de alta importancia cubre el 67% del total de los SAF (Fig. 4). Sin embargo, a nivel nacional las áreas importantes de SAF participan solamente con el 3,5% de la provisión de servicios ecosistémicos. De los bosques importantes o muy importantes para el sector agua potable, únicamente el 20% están bajo el esquema de áreas protegidas (Fig. 5). Esta situación pone en riesgo la permanencia de los bosques importantes para el sector agua potable, principalmente por el avance de la frontera agrícola y la tasa de deforestación en Nicaragua, estimada en 70 mil ha/año (FAO 2004).

Conclusiones

La región Pacífico tiende a ser la zona más vulnerable a problemas de calidad y cantidad de agua potable, por la conjunción de factores como alta densidad poblacional y baja precipitación.

La mayoría de los bosques importantes para el sector agua potable se ubican en las zonas de mayor densidad poblacional y vulnerabilidad alta, principalmente en cuencas de

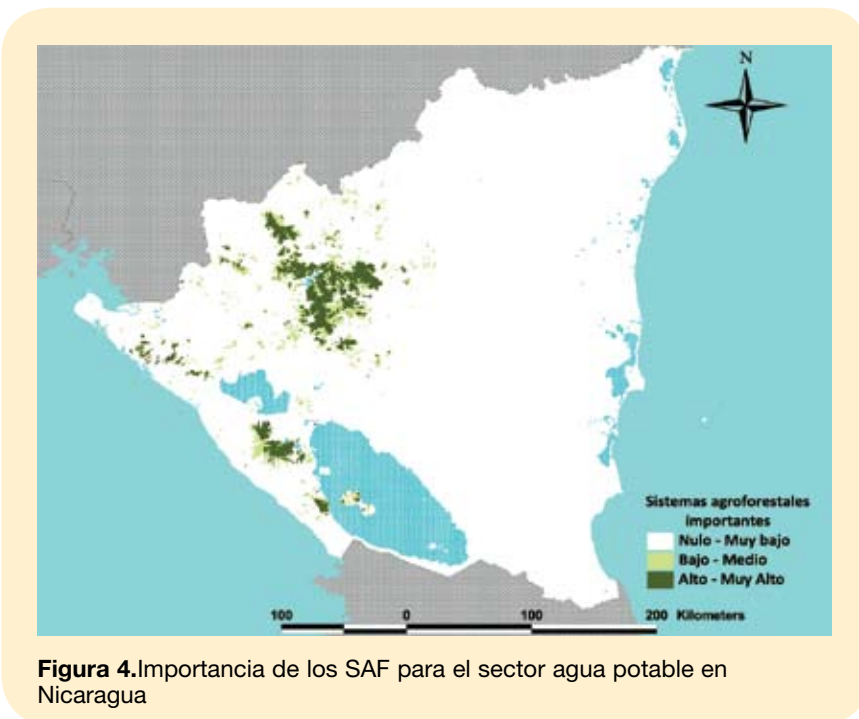


Figura 4. Importancia de los SAF para el sector agua potable en Nicaragua

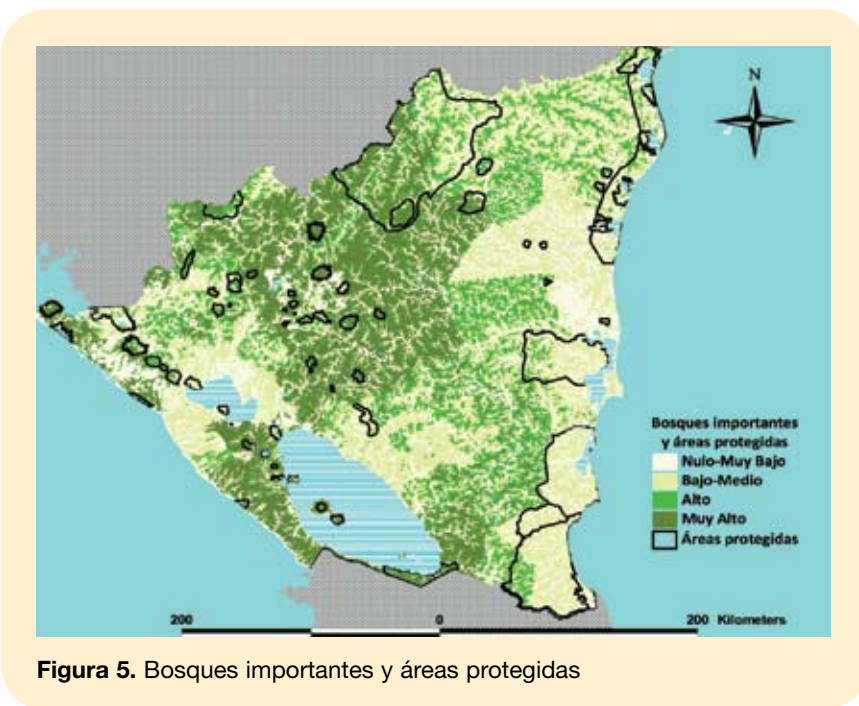


Figura 5. Bosques importantes y áreas protegidas

la región Pacífico. De no implementarse esquemas de manejo adaptativo de los bosques, estas cuencas sufrirán una fuerte presión por el recurso hídrico por parte de sectores industriales, agrícolas y los núcleos poblacionales.

Las áreas protegidas, por su baja cobertura, no juegan un papel importante en la conservación de los bosques importantes para el sector agua potable, ya que tan solo el 20% de estos se encuentran protegidos.

Literatura citada

- Acreman, MC; Lahmann, E. 1995. Water management and protected area. *In* Acreman, MC; Lahmann, E. (Eds). *Managing Water Resources*. Parks Special Issue 5(2): 1–23.
- Allen, A; Chapman, D. 2001. Impacts of afforestation on groundwater resources and quality. *Hydrogeology Journal*. Vol. 9:390–400.
- Bruijnzeel, LA. 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: A state of knowledge review. Paris, FR, IHP-UNESCO Humid Tropical Programme.
- _____. 2004. “Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?” *in*: *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol. 104:185–228.
- Cheng, JD, Lin, LL; Lu, HS. 2002. Influences of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan. *Forest Ecology and Management* 165(1):11–28.
- CONAPAS (Comisión Nacional de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario). 2005. Estrategia sectorial de agua potable y saneamiento en Nicaragua (2005–2015). Managua, NI. 164 p.
- Critchley, WRS; Bruijnzeel, LA 1996. Hydrological Impacts of conversion of moist tropical forest to agriculture. UNESCO, París, FR. 50 p.
- Daily, GC. 1997. Introduction: What are ecosystem services? *In* Daily, GC. (Ed.). *Nature’s services: Societal dependence on natural ecosystems*. Washington, DC, Island Press. p. 1–10.
- Dao, H; Peduzzi, P. 2004. Global evaluation of human risk and vulnerability to natural hazards. *Environfo* 2004 Vol. I: 435–446.
- Dissmeyer, GE. 2000. *Drinking Water from Forests and Grasslands A Synthesis of the Scientific Literature*. USDA Forest Service Southern Research Station, US. 250 p. (General Technical Report SRS-39).
- Enderlein, R; Bernardini, F. 2005. Nature for water: Ecosystem services and water management . *Natural Resources Forum* Vol. 29:253–255.
- FAO. 2000. *Informes sobre temas hídricos. El riego en América Latina y el Caribe en cifras*. Roma, IT. 365 p.
- _____. 2004. *Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020*. Informe Nacional Nicaragua. Roma, IT. 104 p.
- _____. 2004. *Payment schemes for environmental services in watershed*. Regional forum. Roma, IT. 95 p.
- FNUAP (Fondo de Población de las Naciones Unidas). 2001. *El estado de la población 2001: huellas e hitos, población y cambio del medio ambiente*. New York, US. 75 p.
- Gang-Cai, L; Guang-Long, T; Dong-Cai S; San-Yi, L; Shu-Zhen, L. 2004. Streamflow and Soil Moisture of Agroforestry and Grass Watersheds in Hilly Area. *Pedosphere* 14(2):263–268.
- Giambelluca, T. 2002 Hydrology of altered tropical forest. *Hydrological Processes* 16(8): 1665–1669.
- Guo, Z; Xiao, X; Lj, D. 2000. An assessment of ecosystem services: water flow regulation and hydroelectric power production. *Ecological Application* 10(3):925–936.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2006. VIII Censo de Población y IV de Vivienda. Managua, NI. 220 p.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2001. *Amenazas Naturales de Nicaragua*. Managua, NI. 288 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. *Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. Summary for Policymakers*. Cambridge University Press, New York, US. 18 p.
- Kaimowitz, D. 2004. Useful Myths and Intractable Truths: The Politics of the Link Between Forests and Water in Central America. *In* Bonell, M; Bruijnzeel, LA. (eds.). 2004. *Forests, Water and People in the Humid Tropics: Past, Present and Future Hydrological Research for Integrated Land and Water Management*. Cambridge University Press, New York, US. p. 86–98.
- MARENA (Ministerio de los Recursos Naturales, NI). 2000. *Escenarios Climáticos y Socioeconómicos de Nicaragua para el siglo XXI*. Managua, NI. 48 p.
- _____; SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental). 2003. *Estado del ambiente en Nicaragua. II Informe GEO*. Managua, NI. 189 p.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC, Island Press. 155 p.
- Navar, J; Synnott, JT. 2000. Surface runoff, soil erosion and land-use in North-eastern Mexico. *Terra* 18(3): 247–253.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2004. *Análisis sectorial del sector agua potable y saneamiento en Nicaragua. Resumen Ejecutivo*. Managua, NI. 31 p.
- Ong, C; Swallow, BM. 2003. *Water productivity in forestry and agroforestry. Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement* (eds J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden). Ciudad, País, Editorial. p. 218–228
- Picado, F. 2003. Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación de los recursos hídricos de Nicaragua ante el cambio climático. *In* Segunda Feria del Agua de Centroamérica y El Caribe: “Encuentro Regional de Actores sobre la GIRH para el Desarrollo Sostenible” (2003, Ciudad de Panamá, PA) Ciudad de Panamá, PA, Agua para la Vida.
- PND. 2005. *Plan Nacional de Desarrollo 2005–2009*. Gobierno de la República de Nicaragua. Managua, NI. 187 p.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2005. *El Desarrollo Humano en Nicaragua 2005: Lar regiones autónomas de la Costa Caribe, ¿Nicaragua asume su diversidad?*. Managua, NI: 365 p.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2006. *Informe Anual: una alianza mundial para el desarrollo*. Nueva York, US, ONU. 134 p.
- Postel, S; Thompson, BH. 2005. Watershed protection: Capturing the benefits of nature’s water supply services. *Natural Resources Forum* 29(2):98–108.
- Rai, SC; Sharma, E. 1998. Hydrology and nutrient flux in an agrarian watershed of the Sikkim Himalaya. *Journal of Soil and Water Conservation* 53(2):125–132.
- Suárez De Castro, F. 1980. *Conservación de suelos*. San José, CR, IICA. 315 p.
- Terano, T; Asai, K; Sugeno, M. 1987. *Fuzzy systems theory and its applications*. San Diego, CA, US, Ohmsha Ltd. 268 p.
- TNC (The Nature Conservancy). 2005. *Drenajes de Centroamérica, Geodatabase. versión 1.0. Región de Mesoamérica y Caribe*. Science Program, San José, CR.
- Webster, CT; Markley, B; Waite, L. 2001. *Evaluación de los recursos de agua en Nicaragua*. Alexandria, VA, Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. 137 p.