

DELIMITACIÓN EMPÍRICA DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA EL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN COSTA RICA

Christian Birkel Dostal*
christian.birkel@hotmail.com

Fecha de recepción: 06 febrero 2007 - Fecha de aceptación: 03 mayo 2007

Resumen

Este trabajo presenta una metodología empírica, para delimitar zonas prioritarias para las estrategias que se deben implementar en un plan de manejo para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico. La metodología aplicada se basa en el concepto de la presión humana sobre el recurso hídrico propuesta por la Unión Europea (2000) y Eisele et al. (2003) para determinar una zonificación de áreas prioritarias de acuerdo al uso actual de la tierra, pendientes, uso de agua, hidrogeología, ámbito legal y densidad de la población. Se desarrolla una aplicación toda el Área de conservación Tortuguero, presentando una priorización de áreas para la planificación del aprovechamiento de agua (alta prioridad 42.3 % - moderada prioridad 54 % - baja prioridad 2.7 %).

Palabras clave: Manejo de cuencas, recurso hídrico, zonas prioritarias, sostenibilidad.

Abstract

This work presents a methodology to empirically delineate prioritization zones in tropical watershed management approaches to guarantee the sustainability of water resources. The methodology applied is based on the concept of the human pressure on water resources according to the European Union (2000) and Eisele et al. (2003) to identify zones of major importance evaluated by the following criteria: Actual land use, slope, water use, hydrogeology, state of the environmental law and density of population. An application is developed for the whole Tortuguero Conservation Area presenting a prioritization of zones adequate for the planification of the water consumption in the study area (high priority 42.3 % - moderate priority 54 % - low priority 2.7 %).

Keywords: Watershed management, prioritization zones, sustainability, water resources.

Introducción

La protección del recurso hídrico es un tema ampliamente justificado para garantizar el abastecimiento autosuficiente de agua potable de buena calidad y cantidad, quiere decir que no es necesario importar agua originada en otras

regiones. Sí se pone en peligro la utilidad del recurso hay que implementar medidas para evitar el deterioro o empeoramiento. La planificación del recurso hídrico se puede entender como un proceso que consiste principalmente en la identificación del objetivo o problema en la zona de estudio, su caracterización por medio del desarrollo de herramientas, la implementación de estrategias y finalmente, la toma de decisiones (UE, 2000).

* Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica

La primera medida para evitar el deterioro del agua debe ser la aplicación del concepto de cuenca, aún cuando se trate de un límite administrativo como sitio de estudio, ya que la cuenca hidrográfica como unidad sistémica da una vista global de la dinámica del recurso hídrico y permite detectar las fuentes puntuales y difusas de contaminación y los posibles conflictos.

En el Área de conservación Tortuguero constituye un límite administrativo introducido por el Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE) para la protección. En este espacio protegido la disponibilidad natural del recurso en términos de cantidad se debe considerar suficiente, aún bajo del régimen actual de aprovechamiento sin embargo, el mayor problema con el recurso agua tiene que ver con su calidad (ProDUS, 2006 y Barrantes, 2006). Este escenario es válido para muchas regiones de Costa Rica y del medio tropical (UNDP, 2006 y FANCA, 2004).

Fallas (2006) aplicando la metodología DRASTIC, el cual estima la vulnerabilidad de acuíferos en un SIG considerando las variables: Depth to water – profundidad de la tabla freática, net Recharge – recarga real, Aquifer media – textura del acuífero, Soil media – textura del suelo, Topography - topografía, Impact of vadose zone – impacto de la zona vadosa, y hydraulic Conductivity – conductividad hidráulica), estima la vulnerabilidad de las aguas subterráneas en el área de conservación Tortuguero y la califica como muy alta, en la zona protectora del acuífero Pococí-Guácimo, como alta en la parte media de la moderada en la zona baja de la misma área de conservación. Otros estudios confirman una contaminación de leve a severa (ASIREA, 2006) en cuencas que afectan el recurso hídrico dentro del Área de conservación Tortuguero. Mora (1997) habla de la cuenca Parismina - Reventazón como la segunda más contaminada de todo el país en términos de: coliformes fecales, turbidez, sólidos disueltos, pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y conductividad y aduce esta contaminación:

“las descargas de desechos industriales, aguas negras de origen doméstico, agroquímicos y a la limpieza de la represa Cachí”, que provoca el transporte muy rápido de una gran cantidad de sedimentos, alterando la hidrodinámica natural del río, lo cual, afecta los diferentes usos del agua:

potabilización, consumo humano, irrigación, acuicultura y recreación (Mora, 1997).”

La segunda medida debe ser la zonificación de áreas según diferentes criterios para evaluar su importancia ambiental para la protección del recurso hídrico. El desarrollo teórico y práctico del mapa de zonas prioritarias puede ser de gran utilidad para la implementación de estrategias, la elaboración de un plan de manejo sostenible del recurso hídrico y luego, la toma de decisiones, sobre todo cuando no existen los datos necesarios para elaborar estudios detallados sobre el aprovechamiento total del agua subterránea y agua superficial, así como la vulnerabilidad cuantificada de dicho recurso. Además, la metodología de las zonas prioritarias se considera aplicable para el planteamiento de medidas en escalas geográficas relativamente grandes (> 1.000 km²).

Área de estudio

El Área de conservación Tortuguero presenta un límite dado y administrado por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE); en este espacio geográfico se tiene como meta conservar y proteger el medio ambiente, en este sector Caribe de Costa Rica. Comprende un área total de 3.061 km² perteneciente a los distritos de Pococí, Guácimo y Sarapiquí y se extiende hasta la frontera por Nicaragua en el norte. La región contiene 1.255 km² de zonas protegidas entre ellas el Parque Nacional Tortuguero y un extenso sistema de humedales situado en las zonas bajas del delta del Río San Juan.

Las precipitaciones promedio anuales se sitúan alrededor de los 4.000 mm para toda la región (IMN, 2006), la alta permeabilidad de los suelos en la parte alta del Área de conservación Tortuguero según ProDUS (2006) alcanzan hasta 1.500 mm / hora en los bosques primarios y una hidrogeología que se caracteriza por acuíferos de alta capacidad y una recarga potencial de hasta 43.000 km³ / año en la parte alta abarcando el Área de conservación Tortuguero garantizan en la actualidad una buena disponibilidad cuantitativa de agua para el aprovechamiento.

La figura 1 muestra las cuencas hidrográficas que drenan la zona y como estas comprenden un área mucho más amplio que el límite del Área

de conservación Tortuguero. Este aspecto es de enorme importancia considerarlo en el desarrollo de estrategias para la protección del agua.

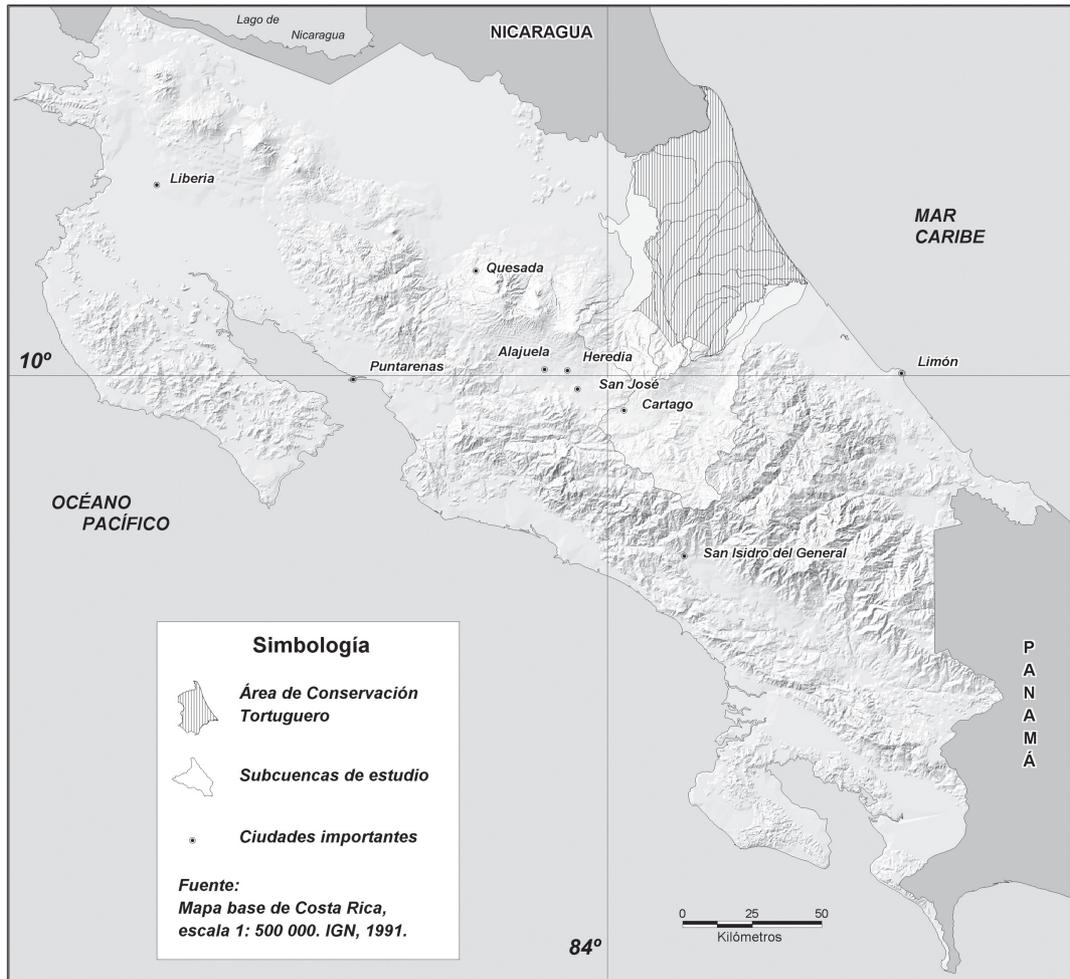


Figura 1 El concepto de cuenca y la ubicación del ACTo.

Metodología

La metodología aplicada en el estudio fue adaptada y a partir de la usada por la Unión Europea (2000) y Eisele, Steinbrich, Hildebrand, Leibundgut (2003). La figura 2 muestra el marco conceptual para la priorización de áreas, basada en el concepto de la presión ejercida sobre el recurso natural, la cual se divide en tres grupos de parámetros: la

presión sobre el estado natural, la presión sobre el recurso hídrico y la calidad morfológica.

Cada grupo de parámetros contiene varios índices, como el índice de la densidad de población y índice de uso actual de la tierra que suman el estado de la naturalidad. Dichos índices se clasifican según el sistema propuesto de uno hasta siete, o se aplica un ajuste al sitio de estudio, basado en la metodología original.

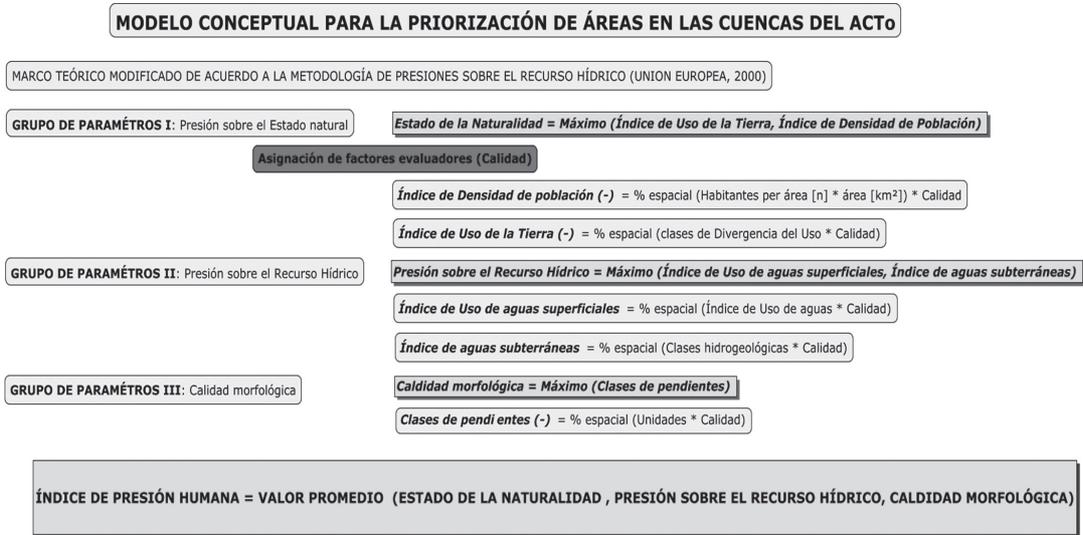


Figura. 2 Modelo conceptual para la priorización de áreas de acuerdo a UE (2000).

Dichos parámetros forman el Índice de presión que es la prioridad en una zona o sector de estudio; un ejemplo es el siguiente cuadro.

Cuadro 1
Sistema de clasificación de la presión sobre el recurso hídrico de acuerdo a Eisele et al. (2003)

Nivel	Presión	Prioridad
I	Sin presión	Máxima prioridad
II	Poca presión	Alta prioridad
III	Presión leve-moderada	Moderada prioridad
IV	Presión moderada	Baja prioridad
V	Presión moderada-alta	Moderada prioridad
VI	Alta presión	Alta prioridad
VII	Presión extrema	Máxima prioridad

La clase I indica “sin presión” y se puede considerar de máxima prioridad para la conservación y protección del recurso hídrico, ya que las características del sistema, lo califican sin intervención; este caso puede ser un bosque primario. De tal manera, la clase VII refleja la presión extrema contraria por su intervención total, un ejemplo son las zonas industriales ó comerciales, objeto de máxima prioridad para la restauración. El cuadro 2 presenta la clasificación para el ejercicio de la densidad de población. Una densidad muy baja, o una muy alta se toman en cuenta como máxima prioridad para medidas de protección y de restauración.

De la misma manera debe ser considerado para la clasificación del recurso agua: las pendientes, según criterios geomorfológicos,

Cuadro 2
Clasificación de la Densidad de población (Eisele et al., 2004)

Densidad población (H/ km ²)	0 - 50	50 - 100	101 - 250	251 - 500	501 - 750	750 - 1000	> 1000
Clases de presión	1	2	3	4	5	6	7

el uso de agua según sea doméstico, agropecuario, industrial u otros según cantidades estimados de extracción, el uso actual de la tierra de acuerdo según criterios ecohidrológicos

y la hidrogeología según la capacidad potencial de recarga. Los cuadros 3, 4 y 5 presentan la clasificación que hemos aplicado al estudio de caso.

Cuadro 3
Clasificación del Uso de la Tierra (Eisele et al., 2004 y Mauch, 1992)

Clases Uso	Subclases Uso	Eco-hidro características	Clasificación de presión
Urbano		Aceleración de caudales, contaminación	7
Bosque	primario	Efecto regulador al balance hídrico, pocas pérdidas de nutrientes	1
	secundario	Efecto regulador al balance hídrico, leves pérdidas de nutrientes	2
Cuerpos de agua	Lagunas, ríos, etc.	Ecológicamente valioso, almacén de nutrientes	1
Humedales		Ecológicamente valioso, almacén de nutrientes	1
Pastos		< Infiltración, pérdidas elevadas de nutrientes	4
Vegetación en transición	Charal, Tacotal	> Infiltración, pérdidas elevadas de nutrientes	3
Agricultura	Piña	Erosión, contaminación	6
	Banano	Erosión, contaminación	5
	Palmito	Erosión, contaminación	5
	Yuca	Erosión, contaminación	5
	Forestal	> Infiltración, pérdidas elevadas de nutrientes	3
	Flores, Ornamentales	Erosión, contaminación	6
	Cultivo permanente	< Infiltración, pérdidas elevadas de nutrientes, erosión	4
Reforestación		Efecto regulador al balance Hídrico, leves pérdidas de nutrientes	2
Suelo desnudo		Erosión, contaminación	6
Uso mixto		< Infiltración, pérdidas elevadas de nutrientes, erosión	4

Cuadro 4
Clasificación de pendientes

Clases de pendientes (%)	0 - 3	3 - 8	8 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60	> 60
Clases de presión	1	2	3	4	5	6	7

Cuadro 5
Clasificación de características hidrogeológicas (según ProDUS, 2006 – Recarga potencial estimada y capacidad de almacenamiento)

Clases hidrogeológicas	Zona de recarga	Acuífero con alto potencial de almacenamiento	Acuífero con medio potencial de almacenamiento	Acuífero con bajo potencial de almacenamiento, Zona de descarga
Clases de presión	1	2	3	4

Para lograr el índice de la presión o el mapa de las zonas prioritarias se utiliza la siguiente cartografía ya existente. Los mapas de densidad de población por distrito, basado en el uso actual de la tierra 2006, el modelo digital de elevación (MDE) y su derivado de pendientes, el de uso de aguas, trabajo de campo y datos de SETENA y el de la hidrogeología (modificado según ProDUS, 2006), los cuales, clasificaron según la metodología anteriormente descrita. El subíndice *estado de la naturalidad* está definido por la densidad de población y uso de la tierra 2006. El uso del agua y el mapa hidrogeológico forman el *Índice hidrológico* y el mapa de pendientes clasificadas y agrupadas constituye el *Índice de calidad morfológica*.

Resultados

El mapa de zonas prioritarias resulta de una superposición discriminada y clasificada por diferentes aspectos que ejercen cierta presión sobre el recurso hídrico (modificado de acuerdo a UE, 2000). La figura 3 muestra el procedimiento automatizado con la extensión

“Modelbuilder” en ArcView 3.3 (ESRI, 2000). Toda la información digital posteriormente presentada (Figura. 3) se trabajó con una cuadrícula (“raster”) de fina resolución espacial (10 x 10 m) para garantizar una pérdida mínima de información.

La superposición de los tres índices se expresa finalmente en el mapa de las zonas prioritarias por subcuencas, que contiene también la información legal por fines comparativos, establecidas en la Ley forestal y en la Ley de aguas para ilustrar el régimen de protección actual (Figura. 4). El mapa de las zonas prioritarias (Figura. 4) presenta una escala de 2 a 5, lo que significa que no se encuentran zonas de máxima categoría (1, 6 y 7 – Cuadro 1) en el resultado del modelo conceptual.

Las clases de máxima prioridad no están consideradas por el cálculo ponderado. La categoría de alta prioridad, la clase 2 cubre 1.292 km², es decir el 42.3 % del área total del ACTo, (Cuadro 6); se presenta principalmente en las regiones de humedales y bosques, en donde algunos sectores están en régimen de protección (Parque Nacional Tortuguero, Corredor Biológico Tortuguero, etc.).

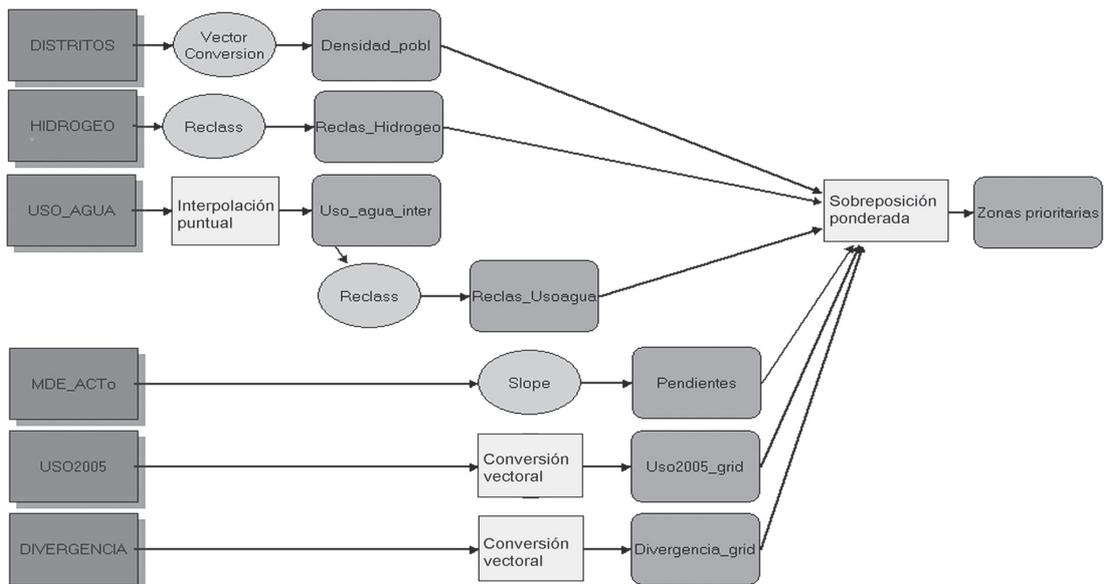


Figura. 3 Modelo conceptual en SIG, Superposición y elaboración mapa 1

Cuadro 6
Prioridades en el ACTo.

PRIORIDAD	CÓDIGO	ÁREA (km ²)	PERIMETRO (km)	% DEL TOTAL ÁREA ACTo
ALTA	2	1292.32	5065.67	42.3
MODERADA	3 y 5	1651.96	5462.31	54
BAJA	4	78.41	685.87	2.7

En la figura 4 se representan las áreas protegidas y su respectiva categoría de manejo ambiental según la legislación para la protección del medio ambiente y del recurso hídrico en particular. En el Área de conservación Tortuguero se encuentran parques nacionales, corredores biológicos, refugios nacionales, zonas protectoras, reservas forestales, humedales y los límites de protección del recurso hídrico, establecidos por la ley forestal y la ley de agua.

En general, alrededor de los manantiales y nacientes hay que respetar una zona de 100 m de radio sin alguna actividad humana y alrededor de los acueductos para el abastecimiento

público un radio de al menos 10 m. En zonas rurales, la zona riparia de los ríos debe permanecer con cobertura boscosa natural hasta 15 m de distancia, en pendientes superiores a 40 % y el límite se extiende hasta 50 m de distancia vertical. Los ríos de las zonas urbanas deberían estar protegidos al menos con un tramo de 10 m de bosque en sus márgenes y los dueños de propiedades surcadas por un río están obligados a reforestar dichas zonas amortiguadoras en el caso de la tala de árboles (CEDARENA, sin fecha de publicación y 2004). El área de conservación Tortuguero en sus diversas categorías de manejo cubre un 1.362,1 km².

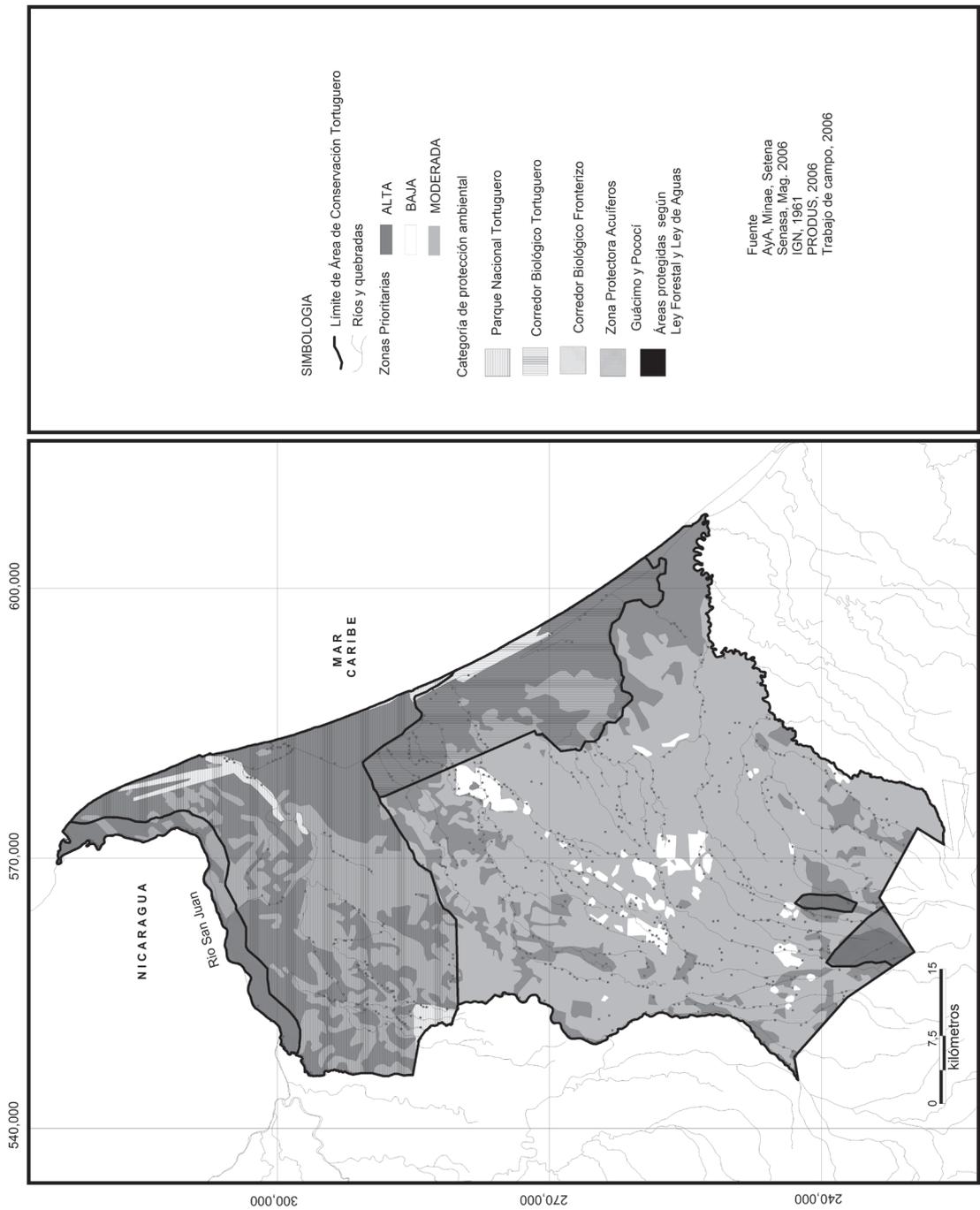


Fig. 4 Área de Conservación Tortuguero: Mapa de zonas prioritarias y ámbito legal.

La herramienta final representada por la figura 4 refleja las zonas prioritarias, el ámbito legal en Costa Rica y el concepto de cuenca que se pueden considerar los elementos necesarios de intervención cuando se trata de gestionar el recurso hídrico. Al estudiar el mapa en detalle se pueden observar regiones de diferente prioridad según la clasificación propuesta como por ejemplo la alta importancia para la protección en las zonas altas y bajas del ACTo y de los cuerpos de agua (nacientes, ríos, etc.).

Conclusiones

La toma de una decisión final sobre las zonas de intervención a nivel de conservación y restauración puede ser completada, utilizando esta base de datos e información que permite tener un criterio de gran fortaleza. Una ventaja de esta metodología es su fácil aplicación y ajuste a otras regiones y escalas geográficas del país, desde la meso $> 100 \text{ km}^2$ - hasta la macro escala $> 1.000 \text{ km}^2$, siguiendo el concepto de la regionalización.

La metodología de las zonas prioritarias de acuerdo a la UE (2000) permite manejar un concepto modular, que se puede entender como un sistema ajustable y variable al objetivo del estudio según la necesidad y la disponibilidad de los datos. Hay que decir que este método posee una resolución espacial demasiado general (una cuadrícula de $10 \times 10 \text{ m}$ resulta en células de 100 m^2) para estudios a micro escala ($< 10 \text{ km}^2$), que requieren otro nivel de más detalle y muchas veces una información especializada (p.e. la vulnerabilidad de un pozo) y casi siempre un levantamiento de datos por medio de trabajo de campo exhaustivo.

Esta metodología empírica, fue desarrollada particularmente para aquellas zonas donde los datos son escasos y sociables en el espacio y en el tiempo. Según la disponibilidad de tiempo y recursos económicos se puede aumentar progresivamente, el nivel cuantitativo hasta la implementación de un balance hídrico de las aguas superficiales y subterráneas tomando en cuenta la importación / exportación de aguas, es decir, en términos hidrológicos se puede entender para una

desviación significativa de agua del sistema cuenca a otra, como originalmente propuso la Unión Europea. Este método es aplicable cuando se trata de límites administrativos, como en el caso del Área de Conservación Tortuguero ACTo, aunque es recomendable y necesario implementar el concepto del sistema natural de drenaje o cuenca hidrográfica para mantener un punto de vista global sobre la problemática estudiada del recurso hídrico, como por ejemplo en el caso del deterioro de la calidad de agua.

Por medio de la integración de las categorías de protección ambiental según la legislación actual en el mapa final de las zonas prioritarias se puede observar la brecha existente entre la situación ambiental actual (p.e. la deforestación de las zonas riparias) y la exigencia por ley (zona riparia boscosa de al menos 10 m), que sirve para tomar medidas que pueden llegar incluso a los entes institucionales.

Agradecimientos

El autor quiere agradecer a Denis Salas González, Luis Guillermo Brenes Quesada y a Jean Pierre Bergoeing por la cartografía digital y los aportes valiosos a este trabajo.

Bibliografía

- ASIREA. 2006. Estrategia para la protección del recurso hídrico en el ACTo. I Informe del proyecto con COBODES.
- Barrantes, G. 2006. Disponibilidad del recurso hídrico y sus implicaciones para el desarrollo en Costa Rica. En: Undécimo Informe sobre el Estado de La Nación en Desarrollo Humano Sostenible.
- Brenes, L. G. 2006. Estrategia integrada para el manejo sostenible del recurso hídrico del acto a partir de un enfoque de cuenca. Consultaría para COBODES-ASIREA.
- Castro, R.; E. Monge; C. Rocha y H. Rodríguez. 2004. Gestión local y participativa del

- recurso hídrico en Costa Rica, San José. Costa Rica.
- CEDARENA (Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales, sin fecha de publicar). Guía para la protección del Recurso Hídrico, Folleto públicamente facilitado por www.cedarena.org/hidrico (2006).
- CEDARENA. 2004. Herramientas para la protección del recurso hídrico, San José. Costa Rica.
- Colegio Profesional de Ingenieros y Arquitectos. 2003. Código de Construcción. San José. Costa Rica.
- Environmental Protection Agency (EPA) of the United States (Agencia para la protección del medio ambiente de los Estados Unidos). 2006. www.epa.org
- Environmental Systems Research Institute (ESRI – Instituto para investigaciones de sistemas ambientales). 2000. Modelbuilder for ArcView Spatial Analyst 2. An ESRI White paper. California. USA. www.esri/support.com
- Dyck, S y G. Peschke. 1995. Grundlagen der Hydrologie – Hidrología básica. Verlag für Bauwesen, Berlin. Alemania. ISBN 3-345-00130-6.
- Unión Europea. 2000. Directive of the European Parliament and the European Council for the creation of a framework for measures of the union in the area of water policy. Official publications of the European Union, L327.
- Eisele, M.; A. Steinbrich; A. Hildebrand y C. Leibundgut. 2003. The significance of hydrological criteria for the assessment of the ecological quality in river basins. Tesis para obtener el grado doctoral de la Universidad de Friburgo, Alemania (sin publicar).
- Fallas, J. 2006. Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en Costa Rica: Una aproximación utilizando el modelo DRASTIC y Sistemas de Información Geográfica. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. http://www.icomvis.una.ac.cr/telesig/pdf/vulnera_agua_sub.pdf
- Hauer, R. F. y G. A. Lamberti. 1996. Methods in stream ecology. Academic Press. Londres. Reino Unido. ISBN 0-12-332905-1.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). 2006. Datos climáticos para el ACTo.
- Kolbe, H. 2000. Landnutzung und Wasserschutz: Der Einfluss von Stickstoff-Bilanzierung, Nmin – Untersuchung und Nitratauswaschung sowie Rückschlüsse für die Bewirtschaftung von Wasserschutzgebieten in Deutschland. WLW, Wissenschaftliches Lektorat und Verlag. Leipzig. Alemania.
- Ley de Aguas No 276 del 27 de agosto de 1942.
- Ley forestal No 7575 del 13 de febrero de 1996.
- Mauch E. 1992. Ein Verfahren zur Gesamtökologischen Bewertung der Gewässer. En: Friedrich G. Y J. Lacombe J. Ökologische Bewertung von Fließgewässern. Limnologie aktuell. Vol. 3, Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. Alemania.
- Ministerio de Educación Pública – Departamento de estadística. 2006. Datos de matrícula. San José, Costa Rica.
- Mora, D. 1997. Contaminación fecal del Río Reventazón Periodo 1994-1995, Rev. Costarric. Salud pública, V.6, No 10, ISSN 1409-1429. San José. Costa Rica.
- Municipalidad Guácimo. 2004. Plan Regulador del Cantón Guácimo.

Proyecto PROCUENCA de la cuenca del Río San Juan. 2006. <http://www.oas.org/sanjuan>

Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS) de la Universidad de Costa Rica. 2006. Estudio hidrogeológico en el cantón de Pococí y las partes altas al sur del cantón de Guácimo, alrededores de la Zona Protegida de Pococí y Guácimo. Consultoría para COBODES.

Red Centroamericana de Acción del Agua (FANCA). 2004. Las Juntas de Agua en Centroamérica – Valoración de la Gestión local del recurso hídrico, Notas del III Encuentro Regional de FANCA en El Salvador.

Richter, B. D.; J. V. Baumgartner.; R. Wigington y D. P. Braun. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37, p. 231-249.

Sánchez, K. 2004. Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. *Comunicación técnica de Recursos Naturales y Ambiente*, 2004, p. 88-95.

UNDP (United Nations Development Programme – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2006. *Sharing Innovative Experiences*, Volume 11, UNDP Publications, ISSN: 1728-4171.