

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS DE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO SARAPIQUÍ, COSTA RICA

Karla Sánchez Campos; Francisco Jiménez; Eddy Romero; Sergio Velásquez y Mario Piedra
Apartado postal 3148-1000 Heredia, Costa Rica. ksanchez@geotropico.com

Resumen

En la cuenca del río Sarapiquí se identificaron procesos antropogénicos y naturales que afectan tanto la calidad como la cantidad aprovechable del recurso hídrico. Por medio del Análisis Multicriterio (AMC) y utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), se determinaron áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico, a través de criterios de prioridad en tres escenarios: calidad actual del agua (9 criterios); cantidad aprovechable de agua (4 criterios) y recuperación de la cobertura vegetal en las orillas de los ríos (9 criterios). El modelo de cantidad aprovechable de agua muestra una predominancia de áreas catalogadas como de Mediana y Baja prioridad con valores de 65,3 % y 33 %, respectivamente. No se identifican sitios con Muy Alta o Muy Baja prioridad; la prioridad Alta (1,7%) representa alrededor de 3500 ha. Al comparar los modelos para manejo de calidad actual del agua y el escenario de reforestación de riberas, las áreas catalogadas de Baja prioridad pasaron de 79 % a 81,1 % y las de Mediana prioridad pasaron de 20,5 % a 18,9 %.

Palabras claves: Cuenca hidrográfica, calidad del agua, cantidad aprovechable del agua, criterios de prioridad, contaminación de agua, Model Builder, Sistemas de Información Geográfica.

Introducción

La disponibilidad del recurso hídrico en calidad y cantidad puede determinar el potencial de crecimiento económico de un país, debido a la variedad de actividades de consumo y producción que de ella dependen. La cuenca del Río Sarapiquí es una de las de mayor importancia en Costa Rica con relación al aprovechamiento de sus recursos hídricos, utilizados ampliamente para la generación de energía eléctrica, consumo potable, pesca, vías de navegación y actividades ecoturísticas. Sin embargo, existen en esta cuenca problemas relacionados con el deterioro de los recursos naturales, tales como deforestación y fragmentación de bosques, cambio de uso del suelo e inadecuado aprovechamiento del agua.

Por ésta razón se considera prioritaria la generación de información y herramientas que permitan dirigir los escasos recursos financieros para fomentar un proceso de planificación del desarrollo de la cuenca. Acorde con esta necesidad, se realizó la presente investigación con el objetivo de desarrollar una metodología del Análisis Multicriterio (AMC) utilizando SIG, para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

Descripción del área de estudio

La cuenca se localiza en la subvertiente Norte del país (Vertiente Caribe) entre los 10° 05' y 10° 50' N y 83° 52' y 84° 20' O (Figura 1). Comprende áreas de las provincias de Heredia, Alajuela, San José y Limón, con una extensión de 2 025 km² (INEC, 2000), y un territorio con tres niveles perfectamente diferenciables (las cuencas alta, media y baja) desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Río San Juan, frontera con Nicaragua.

Se registran 51 comunidades y 71 asentamientos campesinos ubicados mayormente en la cuenca media (IDA, 2002). Posee con una población de 51.454 habitantes y el 59,4 % de los trabajadores se dedican a labores de agrícolas y ganaderas. El alfabetismo de los pobladores mayores de diez años es de 91,1 %.

La red hidrológica (703,6 km) está conformada por una corriente principal denominada Río Sarapiquí, dieciocho afluentes y unas dieciséis quebradas. Presenta nueve zonas de vida y su clima es tropical lluvioso, con una precipitación anual que va de 3 000 a 5 000 mm (ITCR, 2000).

El rango altitudinal de la cuenca comprende de los 2 700 hasta los 10 m.s.n.m (ITCR, 2000). Se caracteriza por presentar diversos tipos de relieve, planicies, faldas de cordillera, llanuras bajas, declives que van desde ondulados a accidentados, con valles y lomas, y un relieve montañoso con crestas y picos (Trivelato, 1997). La cobertura es predominante boscosa (54,7 % del área), sin embargo, 51,4 % de esta cobertura se encuentra dentro de las áreas silvestres protegidas, ubicados en la parte alta de la cuenca; los restantes son bosques fragmentados con diferentes niveles de intervención (ITCR 2000). Según Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), desde 1997 se han asignado pago de servicios ambientales (en sus tres modalidades) en 30.346 ha distribuidas en casi toda la cuenca.

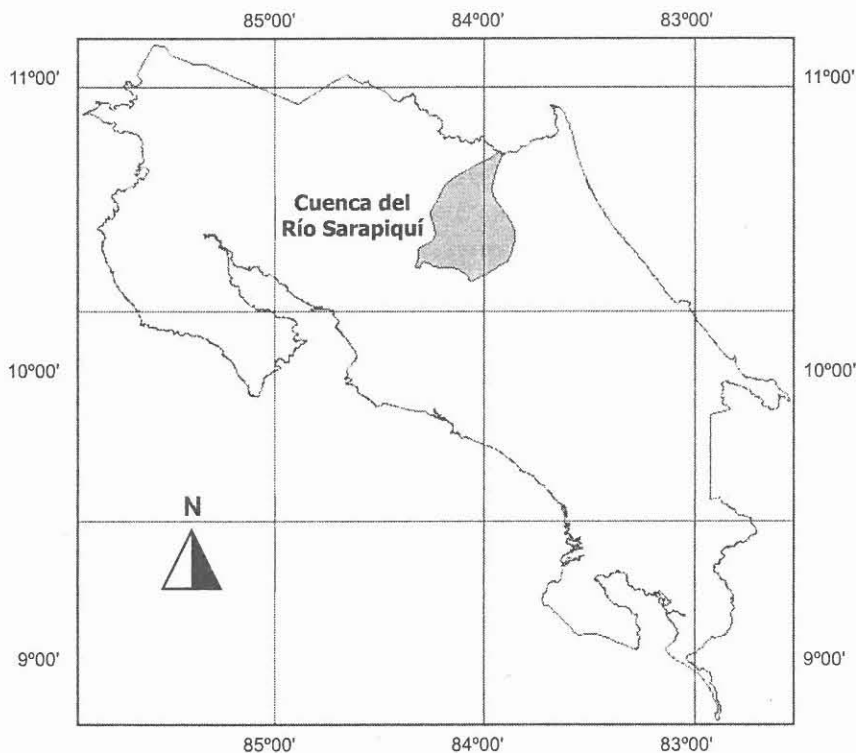


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

Materiales y métodos

Caracterización de la cuenca e identificación de los principales usuarios del recurso hídrico.

Se caracterizó detalladamente la cuenca en aspectos biofísicos y antropogénicos por medio de generación de información primaria y revisión de información secundaria. La información fue digitalizada utilizando las herramientas de SIG (ArcView, 3.2a). La mayoría de la información requirió de análisis de estadística descriptiva para su transformación y adaptación a la zona de interés.

La identificación y caracterización de los principales usuarios así como la estimación cualitativa del beneficio percibido, fue realizada tanto a nivel espacial (ubicación y áreas de influencia del uso) como a nivel temporal (identificación y caracterización de usuarios actuales y potenciales), a través de una entrevista cualitativa semi-estructurada, subdividida en dos secciones temáticas: la primera referente a la descripción de la actividad productiva; la segunda a la forma de uso del agua por cada tipo de usuario. Los usuarios

principales se agruparon por tipo de uso: consumo humano, agropecuarios (pecuarios, agrícolas y agroindustrias), transporte fluvial, actividad turística (hoteles y la navegación recreativa) y producción hidroenergética.

Priorización de zonas para el manejo del recurso hídrico por medio de AMC

Un listado preliminar de criterios de priorización fue expuesto, discutido y validado en un taller con expertos e interesados en el manejo de los recursos hídricos (líderes locales, representantes de instituciones gubernamentales y ONG´s, empresas privadas, administradores de recursos naturales e investigadores). El taller produjo un listado final de criterios, la definición conceptual de cada uno y el enfoque de priorización de áreas de manejo del agua: para calidad y para cantidad aprovechable en la cuenca. Los criterios fueron valorados por medio de opinión de los mismos expertos (consulta electrónica), usando de insumo la información detallada de cada criterio y el mecanismo de valoración dentro de cada criterio y entre todos los criterios. Se asignaron valores ordinales dentro de criterios en una escala de 1 a 5 (valores mayores indican mayor grado de prioridad de manejo). La valoración entre criterios consistió en la ponderación de los mismos en una escala porcentual, según su grado de influencia (Tabla 1).

Criterios	Valor porcentual de las prioridades de manejo del recurso hídrico	
	Calidad del agua	Cantidad del agua
Precipitación	10	35
Proximidad al río	20	
Profundidad de pozo	15	
Uso actual del suelo	10	
Densidad de población	5	
Proximidad del camino al río	20	
Meses secos	5	35
Textura del suelo	5	10
Pendiente	10	20

Tabla 1. Criterios de priorización de áreas y valores porcentuales entre criterios para el manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí (Costa Rica).

Los resultados de la valoración por expertos fueron estandarizados para someterlos al AMC a través del analista espacial (Spatial Analyst) por medio de las herramientas del Model Builder (MB) de ArcView 3.2a. Las capas de información iniciales corresponden a las bases de datos de cada criterio, transformados a formato raster. Se crearon dos proyectos independientes de análisis espacial: uno que considera la priorización de áreas de manejo de calidad del agua y otro para la cantidad aprovechable de la misma.

La Figura 2 muestra el diagrama de fases de trabajo con el MB. El procedimiento de modelaje inició con la introducción de la información (imágenes); posteriormente se crearon las categorías de valores por criterio y finalmente se introdujeron los atributos que describen los criterios de priorización.

Se construyó la tabla general de criterios de priorización con los resultados de la valoración dentro y entre ellos (la Tabla 2). El análisis concluyó con la ejecución del modelo propiamente, que relacionó la información espacial y la codificación de la tabla general criterios de priorización con sus respectivas valoraciones. El resultado del AMC fue la generación de los mapas y las bases de datos de dos proyectos: áreas de prioritarias de manejo de a) calidad del recurso hídrico y b) cantidad aprovechable del recurso hídrico.

Capas de información	(%)	Categorías	Atributos	Valores
Proximidad del río: La distancia de comunidades y actividades productivas a los ríos es un indicador del riesgo de contaminación por fuentes antropogénicas	20	1	0 - 50	5
		2	50 - 100	5
		3	100 - 300	4
		4	300 - 500	3
		5	500 - 9 757	2
		Sin datos	Sin datos	Restringido

Tabla 2. Resumen de la tabla general de valoración de criterios de priorización para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí (Costa Rica).

Adicionalmente, se generó un modelo de AMC en un escenario que considera como medida de manejo del recurso hídrico la reforestación de 200 m en ambos lados de las orillas de los ríos de la cuenca. Se creó en formato raster el buffer de las áreas reforestadas, el cual se sobrepuso sobre la capa de información del uso actual del suelo utilizada en la confección del modelo de áreas prioritarias de manejo de la calidad del recurso hídrico. La nueva capa de información de uso actual del suelo se reemplazó por la utilizada en la determinación del modelo de calidad del recurso hídrico, conservándose los ocho restantes criterios con sus respectivas valoraciones (considerando que la reforestación tendrá un efecto de cobertura similar al bosque secundario) y la tabla general. Se desplegó el modelo y se obtuvo un nuevo mapa de calidad del recurso hídrico bajo el escenario de recuperación de la cobertura vegetal de las orillas de los ríos de la cuenca.

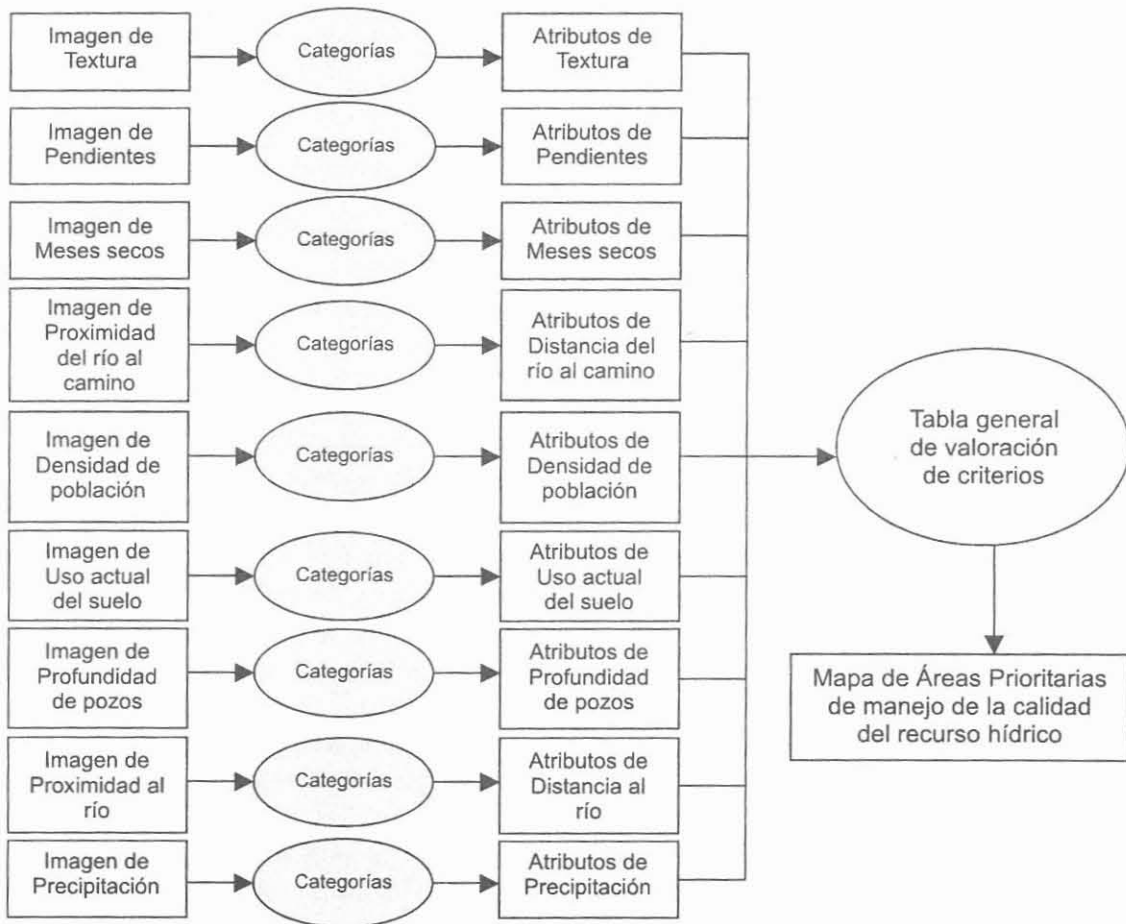


Figura 2. Diagrama del Model Builder para el análisis multicriterio de áreas prioritarias de manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

Resultados y discusión

Condición del recurso hídrico

El estado del recurso hídrico en la cuenca y la interrelación del recurso con las actividades de los usuarios, muestran marcadas diferencias a lo largo de la cuenca. Cada grupo de usuarios demanda requerimientos específicos sobre el recurso hídrico, y su utilización origina cambios en las condiciones del agua; esta situación es más evidente conforme se desciende en la cuenca. Las aguas del Río Sarapiquí son consideradas como no potables en cuanto a la calidad biológica (coliformes totales, fecales y potabilidad), debido al alto grado de contaminación bacteriana (ICE 2001a). Los usuarios del recurso hídrico coinciden en que el Río Sarapiquí ha experimentado cambios en poco tiempo, principalmente por la sedimentación en los cauces, la disminución de agua en pozos, quebradas y nacientes, y la deforestación de riberas. Las causas actuales y potenciales de degradación obedecen a la existencia de características biofísicas y antropogénicas particulares que afectan al agua complementariamente en dos aspectos: su calidad y su cantidad aprovechable.

Calidad del agua: Una condición particular del desarrollo antropogénico de la cuenca la constituye el alto grado de dependencia de algunas actividades sobre los cauces principales. El grado de acceso que tiene pobladores y turistas a las márgenes de los ríos es elevado en algunos sectores, debido a que sus aguas son utilizadas para múltiples propósitos. Esto se evidencia en la ubicación de la infraestructura vial y urbana a partir de la cuenca media con respecto al cauce del Río Sarapiquí, que en su recorrido va paralelo a la carretera principal y a escasos metros de zonas urbanísticas, sitios turísticos y sistemas productivos. En la cuenca no existen causas naturales de deterioro de la calidad del agua; las causas obedecen a agentes antropogénicos: vertido de basura doméstica, aguas residuales, agentes contaminantes de actividades agropecuarias, desechos agroindustriales y el transporte fluvial.

Cantidad aprovechable de agua: La abundancia del agua en la cuenca se ha visto perjudicada por causas naturales (meses secos y escorrentía superficial), por la pérdida de cobertura boscosa, la contaminación, la sedimentación y la presencia de embalses para la producción hidroeléctrica. Asimismo, en la cuenca no existe forma de administrar y regular el uso de cauces para la navegación y el turismo, lo que ha ocasionado controversias entre los usuarios.

Análisis de los modelo de priorización de áreas de manejo del recurso hídrico

Los resultados del modelo de priorización de áreas para el manejo de la calidad del agua muestran que la categoría de *Muy Alta prioridad* es inexistente y la de *Alta prioridad* alcanza apenas un 0,4%, que representa 810 ha del área total de la cuenca. Se encontró una predominancia de áreas catalogadas de *Mediana* y *Baja prioridad* (esta última representa el 79,0% del área) (Figura 1). La predominancia de cobertura forestal en la cuenca determinó bajos valores de riesgo sobre las condiciones de calidad del agua, según el criterio de priorización de *Uso actual del suelo*. Sin embargo, debe tomarse en consideración que la información base de cobertura fue generada en 1992 y que las visitas de campo corroboraron la desactualización de esta información; adicionalmente, su nivel de detalle no refleja la condición de discontinuidad o fragmentación del bosque remante en la cuenca. Por otro lado, las carreteras, las comunidades y los sistemas productivos desarrollados en las riberas representan focos de contaminación del recurso hídrico, por lo cual se asignó una alta ponderación (20%) a los criterios de priorización *Proximidad de caminos a ríos* y *Proximidad a ríos*. Este alto valor relativo influyó en la determinación de las zonas de Mediana prioridad, lo cual se observa en el patrón de distribución de estas áreas en la cuenca. Las escasas zonas de Alta prioridad corresponden predominantemente a localidades con pozos de baja profundidad, donde el riesgo de contaminación es mayor.

El modelo de priorización de áreas de manejo de la cantidad aprovechable del agua muestra una predominancia de áreas catalogadas como de *Mediana* (65,3 %) y *Baja* (33,0%) *prioridad*. El modelo no identifica sitios de *Muy Alta ni Muy Baja prioridad* de manejo y la categoría de *Alta prioridad* es de 1,7% que corresponde alrededor de 3 500 ha (Mapa 2). Las áreas con categorías de *Mediana prioridad* se ubican en la parte alta y la cuenca baja, debido a que son áreas que presentan las más bajas precipitaciones. La limitada disponibilidad de información para seleccionar criterios de priorización en este modelo tuvo como resultado la excesiva influencia del criterio de *Precipitación* (proceso de recarga de la cuenca, ponderada con 35%), lo cual presenta una fuerte limitación de este modelo, en cual deseablemente debería incorporar criterios relacionados con la oferta y demanda hídrica y la medición de caudales. La cuenca media presenta la mayor demanda de agua y mayor nivel de residuos líquidos, elementos que no pudieron ser incorporados como criterios para el modelo por la no disponibilidad de información. La cuenca alta presenta significativas zonas de *Alta prioridad* determinadas por la predominancia de fuertes pendientes y por influencia adicional de la menor precipitación y la mayor cantidad de meses secos.

Consideraciones de la metodología de priorización con AMC

La metodología desarrollada de AMC con herramientas de SIG, presenta características que le confieren practicidad para la identificación de áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico. Su aplicación en el presente estudio demostró fortalezas relacionadas con la flexibilidad y versatilidad en su desarrollo, la oportunidad de incorporación de elementos participativos y en la posibilidad de la manipulación de información secundaria y posterior consolidación con información primaria. Sin embargo, es necesario identificar las debilidades y necesidades de mejora en el abordaje de estudios de esta naturaleza con la metodología en cuestión.

Dependiendo del conocimiento que se tenga de la problemática de la cuenca, la disponibilidad de información, y la compatibilidad de ésta con los requerimientos del AMC por medio del MB, así será la efectividad en seleccionar los criterios de priorización y su valoración. Es indispensable analizar los criterios de acuerdo a las características particulares de la cuenca, además de trabajar con un número amplio de criterios, reduciendo la posible influencia que un criterio ejerza sobre los otros.

La amplia extensión del área de estudio impidió la posibilidad de generar información primaria en temas clave para definir prioridades de manejo, como son la capacidad de recarga acuífera y ubicación de algunos usuarios principales. Además, la escala y el nivel de detalle de alguna información secundaria (uso actual del suelo, textura del suelo y densidad de población), exigió un trato prudente en las bases de datos digitales, por lo que en ocasiones se debió modificar y adaptar la información para realizar el análisis espacial.

Los resultados de la investigación sugieren que el abordaje del manejo de áreas para asegurar la calidad del agua en la cuenca debe orientarse específicamente a la mitigación de los focos de contaminación a través de la corrección de prácticas productivas y a la educación ambiental de las comunidades aledañas a los cursos de agua, así como a la recuperación de la cobertura natural en las riberas de los drenajes de la cuenca media y baja. Por esta razón, se desarrolló el modelo bajo el escenario de reforestación de las riberas de los ríos para la priorización de áreas de manejo de la calidad futura del agua en la cuenca, que mostró como patrón una evidente recuperación de la condición de prioridad de la cuenca. En este modelo, la categoría de *Muy Alta prioridad* es inexistente, y las áreas críticas de *Alta, Baja y Mediana prioridad* fueron de 0,1%; 81,1% y 18,9% respectivamente del área total de la cuenca (Figura 3).

Conclusiones y recomendaciones

- La metodología de AMC desarrollada es flexible y versátil, pudiendo replicarse en otras cuencas haciendo los ajustes necesarios de acuerdo a condiciones biofísicas y antropogénicas del escenario en que se desarrolle.

- En el AMC es preferible la utilización de la mayor cantidad de criterios de priorización posibles para reducir la influencia de algún criterio en particular. Además, es conveniente hacer la valoración de criterios con base a las características de la cuenca en estudio, y la influencia directa que la cuenca desempeña en la conceptualización de cada uno de los criterios, para evitar errores de sobre valoración de criterios.
- La herramienta MB es práctica y de poca rigidez, y factible para la aplicación de AMC y para la identificación de áreas prioritarias. Se puede utilizar como herramienta de modelaje para la toma de decisión en estrategias de manejo y recuperación de las cuencas, así como herramienta de monitoreo, para evaluar el desempeño y resultados de su implementación. Además, puede realizarse con una base limitada de información secundaria, con posibilidad de ser complementada y actualizada a distintos grados de detalle, conforme se genere nueva información.
- Es conveniente la aplicación y validación de la metodología en una cuenca con menor extensión, donde se pueda generar información primaria y más precisa y se realice una eficiente verificación de campo (minimizar errores de digitación).
- Es deseable el trabajo con los usuarios por medio de herramientas participativas, donde se genere mayor interacción con los mismos, y que ayude a visualizar claramente sus condiciones y perspectivas. Así mismo, es preferible trabajar con un único taller de expertos donde se presenten los criterios preliminares y se generen nuevos criterios y la valoración de los mismos. Esto conduce a una discusión más abierta y aminora el tiempo y los costos.
- La identificación de áreas prioritarias en categorías jerárquicas brinda información de hacia dónde deben dirigirse los esfuerzos a corto, mediano y largo plazo para la recuperación del recurso hídrico. Asimismo, la aplicación de medidas de mitigación como el plan de reforestación de las riberas de los ríos puede tener considerables efectos en la recuperación de los niveles de prioridad de la calidad del recurso hídrico.
- Es necesario abordar los problemas respecto al manejo del recurso hídrico con un enfoque integral, reconociendo el carácter multisectorial de su aprovechamiento. Es conveniente la creación de autoridades descentralizadas que coordinen y fomenten esfuerzos para el manejo del agua, como son los programas de compensación de beneficios ambientales e internalización de costos ambientales por el manejo del servicio ambiental hídrico, que pueden desarrollarse bajo la operación a nivel de usuarios y proveedores del servicio hídrico como son las empresas hidroeléctricas, turísticas, agroindustrias y sistemas productivos, que pueden considerarse, como posibles generadoras de fondos para el manejo del recurso hídrico en la cuenca.

Referencias

Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). 2002. Mapa digital de Pago de Servicios Ambientales, para la cuenca del Río Sarapiquí, CR. 1 DC, 8 mm.

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). 2001. Aspectos aclaratorios a la solicitud del grupo Sociedad Civil Sarapiqueña respecto al Proyecto Hidroeléctrico Cariblanco. San José, CR. 56 p.

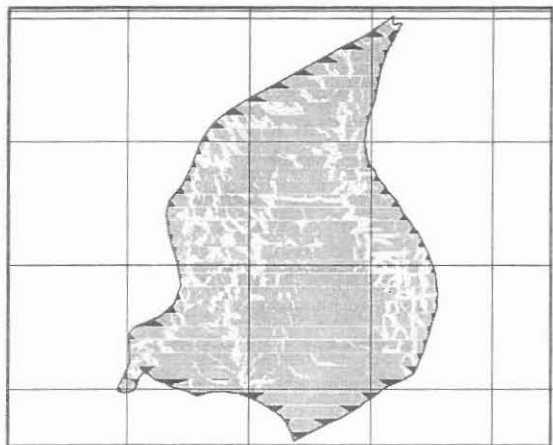
Instituto de Desarrollo Agrario (IDA). 2002. Mapa digital de los Asentamientos en la cuenca del Río Sarapiquí, CR. 1 DC, 8 mm.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). 2000. Censo de Vivienda y Población por provincia, cantón y distrito para la cuenca del Río Sarapiquí. Imprenta Nacional, San José, CR.

Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). 2000. Atlas digital de Costa Rica. 1 DC, 8 mm.

Trivelato B, M; Murillo, LF; Barboza, G; Cordero, A. 1997. Diálogo ambiental en comunidades rurales. Editores (Rodríguez, JM; Vargas, R.). OET, San José, CR. 72 pp.

Mapa 1. Áreas prioritarias para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.



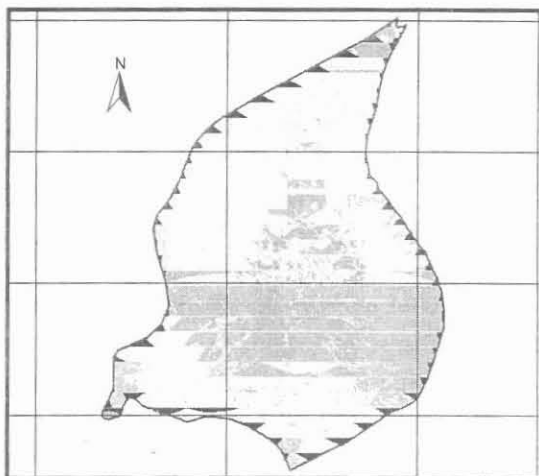
5 0 5 Kilometers

Leyenda
 Cuenca Río Sarapiquí
 Prioridad de manejo (Cantidad de agua)
 Muy Baja Prioridad
 Baja Prioridad
 Mediana Prioridad
 Alta Prioridad

Proyección: Lambert Costa Rica, Norte
 Preparado por: Ing. Karla Sánchez C. Cartografía Digital Ing. Karla Sánchez C.
 CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2002

Fuente: Tesis de Maestría, Ing. Karla Sánchez C. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Costa Rica, 2002

Mapa 2. Áreas prioritarias para el manejo de la cantidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

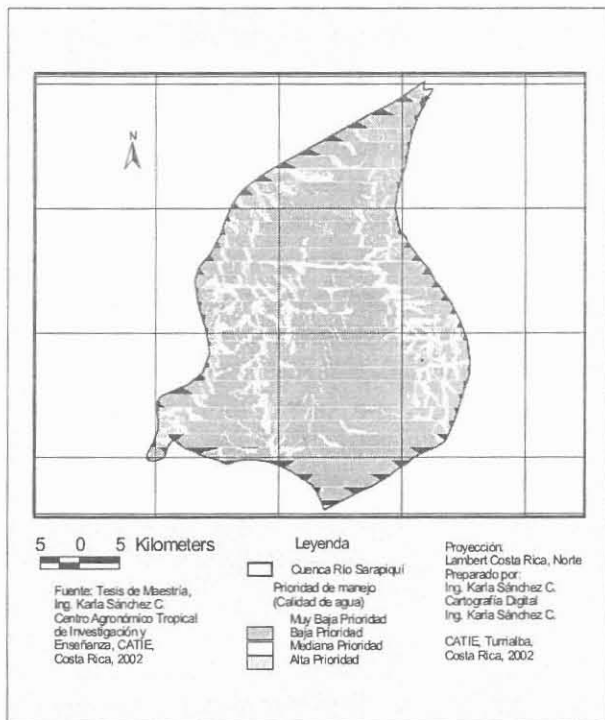


5 0 5 Kilometers

Leyenda
 Cuenca Río Sarapiquí
 Prioridad de manejo (Cantidad de agua)
 Baja Prioridad
 Mediana Prioridad
 Alta Prioridad

Proyección: Lambert Costa Rica, Norte
 Preparado por: Ing. Karla Sánchez C. Cartografía Digital Ing. Karla Sánchez C.
 CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2002

Fuente: Tesis de Maestría, Ing. Karla Sánchez C. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Costa Rica, 2002



5 0 5 Kilometers

Leyenda
 Cuenca Río Sarapiquí
 Prioridad de manejo (Cantidad de agua)
 Muy Baja Prioridad
 Baja Prioridad
 Mediana Prioridad
 Alta Prioridad

Proyección: Lambert Costa Rica, Norte
 Preparado por: Ing. Karla Sánchez C. Cartografía Digital Ing. Karla Sánchez C.
 CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2002

Fuente: Tesis de Maestría, Ing. Karla Sánchez C. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Costa Rica, 2002