

# 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**

*Geotropico. ksanchez@geotropico.com*

*ksanchez@catie.ac.cr*

**Francisco Jiménez**

*CATIE.fjimenez@catie.ac.cr*

**Sergio Velásquez**

*CATIE.svelaquez@catie.ac.cr*

**Mario Piedra**

*CIAT-CATIE.mpiedra@catie.ac.cr*

**Eddy Romero**

El manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí debe darse con un enfoque integral que reconozca el carácter multisectorial de su aprovechamiento.  
Catarata La Paz,  
Sarapiquí, Costa Rica.



Foto: Karla Sánchez Campos.

## 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 33,0%, 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 79,0% a 81,1% y las de *Mediana prioridad* pasaron de 20,5% a 18,9%.

**Palabras claves:** Cuencas hidrográficas, calidad del agua, disponibilidad del agua, contaminación de agua, Model Builder, Sistemas de Información Geográfica, recursos hídricos, Río Sarapiquí, Costa Rica.

## Summary

**Multicriteria analysis methodology for the identification of priority areas for water resources management in Sarapiquí River watershed, Costa Rica.** In the Sarapiquí River watershed, the processes that affect both water quality and availability were identified. Priority areas for management of water resources in the watershed were identified by means of priority criteria in three scenarios, and a Multicriteria Analysis Methodology with Geographic Information System (GIS) tools. The scenarios were: present quality of water (9 criteria), available water quantity (4 criteria) and riverside vegetal cover restoration, as a mitigation measure for water resource management (9 criteria).

The priority model used in available water quantity management showed a predominance of areas catalogued as *Medium* (65,3%) and *Low priority* classes (33,0%). No areas were identified as *Very Low* or *Very high priority* classes. High priority class represents 1,7% of the watershed area (3500 ha). Comparisons between models for water quality management and the scenario of riverside vegetal cover restoration show that the areas corresponding to *Low priority* class changed from 79,0% to 81,1% (2,1% more than the model without cover restoration); *Medium priority* class areas changed from 20,5% to 18,9% of total watershed area.

**Keywords:** Watershed, water quality, available water quantity, priority criteria, water pollution, Model Builder, Geographic Information Systems.

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 dependen de ella. La cuenca del río Sarapiquí es una de las de mayor importancia para Costa Rica en cuanto al aprovechamiento de sus recursos

hídricos, utilizados ampliamente para la generación de energía eléctrica, consumo, pesca, vías de navegación y actividades ecoturísticas. Sin embargo, la cuenca tiene problemas de deterioro de los recursos naturales, tales como deforestación y fragmentación de bosques, cambio de uso del suelo y aprovechamiento inadecuado del agua.

Por esta 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. Para satisfacer esta necesidad, se realizó la presente investigación con el objetivo de desarrollar una metodología de Análisis Multicriterio

(AMC) mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG), para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica.

## Metodología

### Descripción del área de estudio

La cuenca se localiza en la subvertiente Norte del país (Vertiente Caribe) entre los 10°05' y 10°50' de Latitud Norte y 83°52' y 84°20' de Longitud Oeste (Figura 1). Comprende áreas de las provincias de Heredia, Alajuela, San José y Limón, tiene una extensión de 2025 km<sup>2</sup> (INEC 2000) y tres niveles perfectamente diferenciables (cuenca alta, media y baja) desde su nacimiento hasta la desembocadura en el río San Juan, frontera con Nicaragua.

En la cuenca se registran 51 comunidades y 71 asentamientos campesinos, principalmente en la cuenca media (IDA 2002). La población es de 51 454 habitantes y el 59,4% de los trabajadores se dedican a labores 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, 18 afluentes y unas 16 quebradas. En la cuenca se reconocen nueve zonas de vida; el clima es tropical lluvioso, con una precipitación anual entre 3000 y 5000 mm (ITCR 2000).

El rango altitudinal de la cuenca va de 2700 hasta 10 msnm (ITCR 2000), con diversos tipos de relieve: planicies, faldas de cordillera, llanuras bajas, declives de ondulado a accidentado, valles y lomas y un relieve montañoso con crestas y picos (Trivelato *et al.* 1997). La cobertura predominante es el bosque (54,7% del área); 51,4% de esta cobertura se encuentra dentro de áreas silvestres protegidas en la parte alta de la cuenca; el resto son bosques fragmentados con diferentes niveles de intervención (ITCR 2000). Según FONAFIFO (2002), desde 1997 se

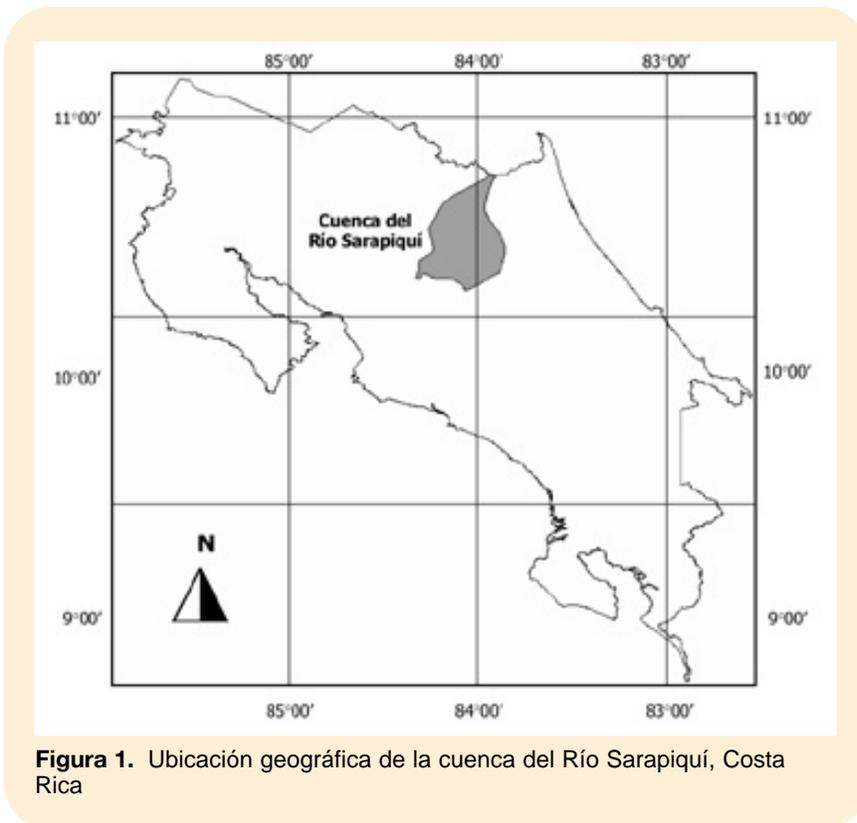


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica

han asignado pagos por servicios ambientales en 30 346 ha distribuidas en casi toda la cuenca.

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

Los aspectos biofísicos y antropogénicos de la cuenca se caracterizaron detalladamente por medio de la generación de información primaria y revisión de información secundaria. La información fue digitalizada utilizando las herramientas del SIG (ArcView 3.2a). La mayor parte de los datos requirieron de análisis estadístico descriptivo para su transformación y adaptación a la zona de interés.

La identificación y caracterizaron de los principales usuarios, así como la estimación cualitativa del beneficio percibido, se hicieron en el espacio (ubicación y áreas de influencia del uso) y en el tiempo (identificación y caracterización de usuarios actuales y potenciales). Para ello se empleó una entrevista cualitativa semi-

estructurada, subdividida en dos secciones temáticas: descripción de la actividad productiva y forma de uso del agua por tipos de usuarios. Los usuarios principales se agruparon por usos: consumo humano, agropecuario (pecuario, agrícola y agroindustrial), transporte fluvial, actividad turística (hoteles y navegación recreativa) y producción hidroenergética.

### Prioridad de zonas para el manejo del recurso hídrico por medio de AMC

Un listado preliminar de criterios de prioridad fue propuesto, 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, empresas privadas, administradores de recursos naturales e investigadores). Con el taller se obtuvo un listado final de criterios, la definición conceptual de cada uno y el enfoque de prioridad de áreas de manejo del agua: calidad

y cantidad aprovechable en la cuenca. Los criterios fueron valorados por medio de una encuesta de opinión a los mismos expertos (consulta electrónica), usando como insumo la información detallada de cada criterio y el mecanismo de valoración dentro y entre criterios. Cada criterio se valoró 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 (Cuadro 1).

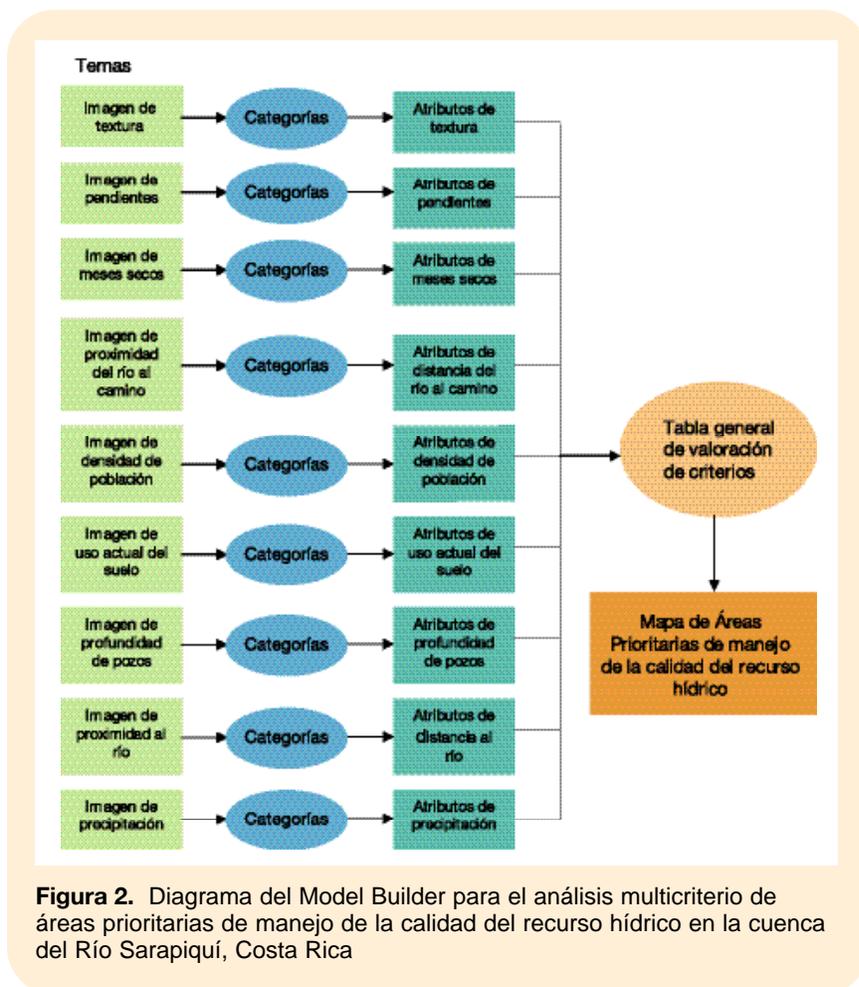
Los resultados de la valoración por expertos fueron estandarizados para someterlos al análisis multicriterio por medio del analista espacial (Spatial Analyst) con las herramientas del Model Builder (MB) de Arc-View 3.2a. Las capas de información iniciales corresponden a las bases de datos de cada criterio,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

La Figura 2 muestra el diagrama de fases de trabajo con el MB. El procedimiento de modelaje se inició con el ingreso de la información (imágenes); posteriormente se crearon las categorías de valores por criterio y finalmente se introdujeron los atributos que describen los criterios de prioridad. La tabla general de criterios de prioridad se construyó con los resultados de la valoración dentro y entre criterios (ver un extracto de la tabla en Cuadro 2). El análisis concluyó con la ejecución del modelo, el cual relacionó la información espacial y la codificación de la tabla general de criterios de prioridad con sus respectivas valoraciones. El resultado del AMC fue la generación de los mapas y las bases de datos para determinar las áreas prioritarias de manejo de a) calidad del recurso hídrico y b) cantidad aprovechable del recurso hídrico.

**Cuadro 1.**

Criterios de prioridad de áreas para el manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica

Criterios	Valor porcentual de la prioridad de manejo del agua	
	Calidad	Cantidad
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



**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

Adicionalmente, se generó un modelo de AMC en un escenario que considera como medida de manejo del recurso hídrico la reforesta-

ción de 200 m a ambos lados de las orillas de los ríos de la cuenca. En formato *raster* se creó la zona de amortiguamiento de las áreas refo-

### Cuadro 2.

Extracto de la tabla general de valoración de criterios de prioridad para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica

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

restadas, la cual se sobrepuso a 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 reemplazó a la utilizada en la determinación del modelo de calidad del recurso hídrico, pero se conservaron 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. El modelo se desplegó y se obtuvo un nuevo mapa de calidad del recurso hídrico bajo el escenario de recuperación de la cobertura vegetal en las orillas de los ríos de la cuenca.

### 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 muestra marcadas diferencias a lo largo de la cuenca. Cada grupo de usuarios tiene necesidades específicas en cuanto al recurso hídrico y su utilización origina cambios en las condiciones del agua; esta situación es más evidente conforme se desciende en la cuenca. El río Sarapiquí es considerado como no potable en cuanto a la calidad biológica (coliformes totales, fecales y potabilidad), debido al alto grado de contaminación bacteriana (ICE 2001). Los usuarios del recurso hídrico coinciden en que el río ha experi-

mentado cambios en poco tiempo, principalmente por la sedimentación en los cauces, la disminución de agua en pozos, quebradas y nacientes, y la deforestación de las riberas. Las causas actuales y potenciales de degradación obedecen a la existencia de características biofísicas y antropogénicas particulares que afectan tanto la calidad como la cantidad de agua aprovechable.

**Calidad del agua:** Una condición particular del desarrollo antropogénico de la cuenca es el alto grado de dependencia de algunas actividades sobre los cauces principales. El grado de acceso de pobladores y turistas a las márgenes de los ríos es elevado en algunos sectores, debido a que las aguas son utilizadas para múltiples propósitos. Esto se evidencia en la ubicación de la infraestructura vial y urbana a partir de la cuenca media, desde donde la carretera principal va paralela al cauce del río, 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 transporte fluvial.



Condición del río Sarapiquí en época lluviosa. Puerto Viejo de Sarapiquí, Costa Rica



Sistemas de producción porcina característicos de pequeños productores en la cuenca del Río Sarapiquí, San Miguel de Sarapiquí, Costa Rica

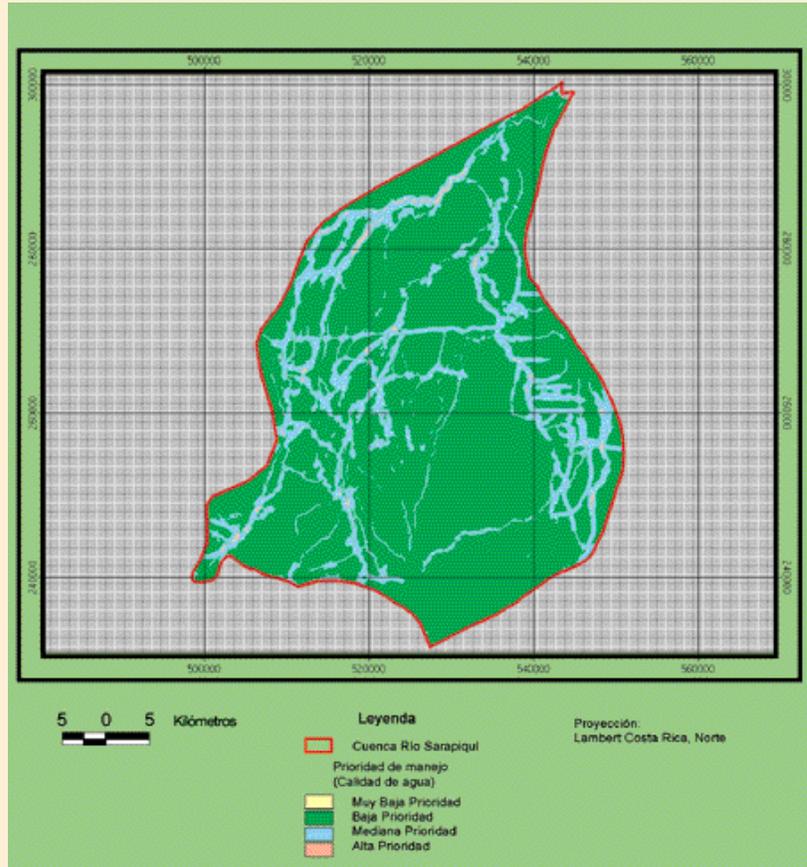
Fotos: Karla Sánchez Campos.

### Cantidad aprovechable de agua:

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

### Análisis de los modelos de prioridad de áreas de manejo del recurso hídrico

Los resultados del modelo de prioridad de áreas para el manejo de la calidad del agua muestran que la categoría *Muy Alta prioridad* es inexistente y la *Alta prioridad* alcanza apenas un 0,4%, que representa 810 ha del área total de la cuenca. Las áreas predominantes fueron las de *Mediana y Baja prioridad* (esta última para el 79,0% del área) (Figura 2). La predominancia de cobertura forestal en la cuenca determinó bajos valores de riesgo sobre las condiciones de calidad del agua, según el criterio de prioridad de Uso actual del suelo. Sin embargo, debe tomarse en consideración que la información base de cobertura se generó en 1992 y que las visitas de campo corroboraron la desactualización de la información; adicionalmente, el 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 significan focos de contaminación del recurso hídrico, por lo cual se asignó una alta ponderación (20%) a los criterios de prioridad *Proximidad de caminos a ríos* y *Proximidad de los centros de población a ríos*. Este alto valor relativo influyó en la determinación de las zonas de *Mediana prioridad*, lo cual se observa en el

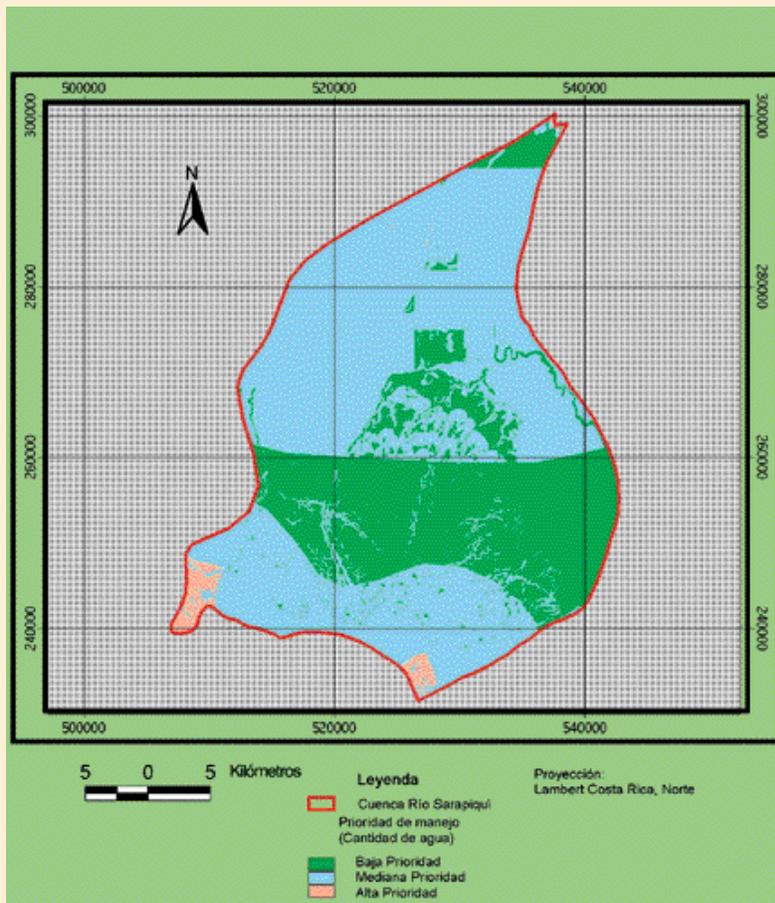


**Figura 2.** Áreas prioritarias para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica. Fuente: Sánchez (2002)

patrón de distribución de estas áreas en la cuenca. Las escasas zonas de *Alta prioridad* corresponden, más que todo, a localidades con pozos de baja profundidad, donde el riesgo de contaminación es mayor.

El modelo de prioridad 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 a alrededor de 3500 ha (Figura 3). Las áreas de *Mediana prioridad* se ubican en la cuenca alta y baja, debido a que en esas áreas la precipitación es menor. La limitada disponibilidad de información para seleccio-

nar criterios de prioridad en este modelo tuvo como resultado la excesiva influencia del criterio *Precipitación* (proceso de recarga de la cuenca, ponderado con 35%); esta es una fuerte limitación del modelo, el 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 pues no se contó con la información necesaria. La cuenca alta presenta significativas zonas de *Alta prioridad* determinadas por la predominancia de fuertes pendientes y por la influencia adicional de menor precipitación y mayor cantidad de meses secos.



**Figura 3.** Áreas prioritarias para el manejo de la cantidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica  
Fuente: Sánchez (2002)

### Consideraciones de la metodología de prioridad con AMC

La metodología de AMC desarrollada con herramientas de SIG tiene características que le confieren practicidad para la identificación de áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico. Su aplicación en este estudio demostró fortalezas relacionadas con la flexibilidad y versatilidad de su desarrollo, la oportunidad de incorporar elementos participativos y la posibilidad de manipular la información secundaria para consolidarla con información primaria. Sin embargo, es necesario identificar sus debilidades y necesidades de mejoramiento en el abordaje de estudios de esta naturaleza.

Según el conocimiento que se tenga de la problemática de la cuenca, la disponibilidad de información y su compatibilidad con los requerimientos del AMC por medio del MB, así será la efectividad de los criterios de prioridad seleccionados y su valoración. Es indispensable analizar los criterios de acuerdo con las características particulares de la cuenca; además, es conveniente trabajar con un número amplio de criterios para reducir la posible influencia que un criterio ejerza sobre los otros.

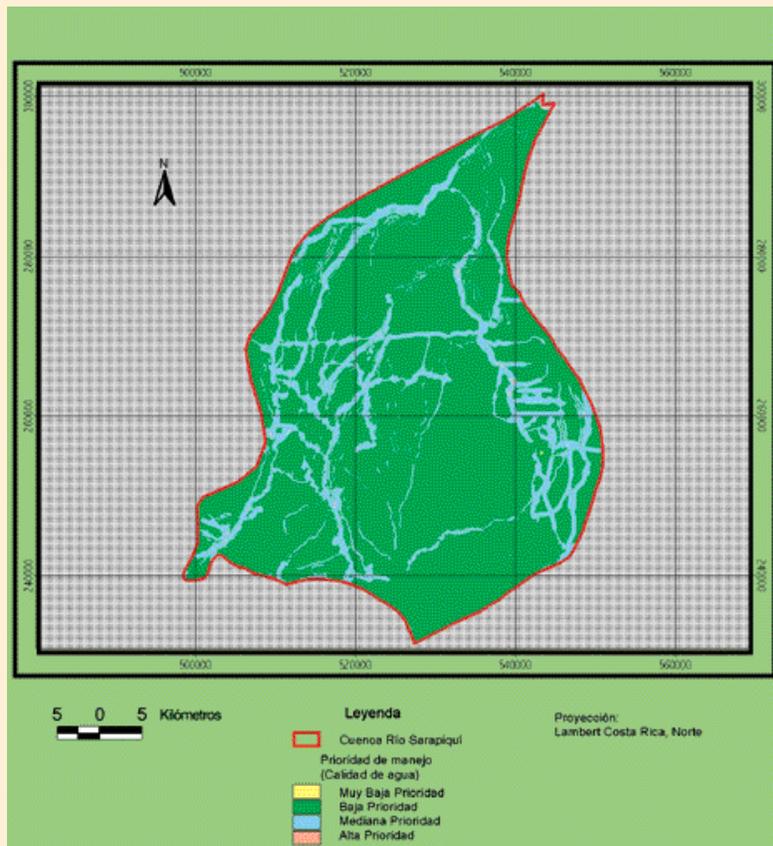
La amplia extensión del área de estudio no permitió generar información primaria en temas claves para definir prioridades de manejo, como la capacidad de recarga acuífera y ubicación de usuarios principales.

Además, la escala y el nivel de detalle de alguna información secundaria (uso actual del suelo, textura del suelo y densidad de población) exigieron 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 mediante la corrección de prácticas productivas y educación ambiental a las comunidades aledañas a los cursos de agua, así como la recuperación de la cobertura natural en las riberas de los drenajes de la cuenca media y baja. Por esta razón, el modelo se desarrolló bajo el escenario de reforestación de las riberas de los ríos para la prioridad *áreas de manejo de la calidad futura del agua*, la cual mostró como patrón una evidente recuperación de las condiciones de la cuenca. En este modelo, la categoría de *Muy Alta prioridad* es inexistente, y las áreas críticas de *Alta, Mediana y Baja prioridad* fueron de 0,1%; 18,9% y 81,1%, respectivamente, del área total de la cuenca (Figura 4).

### Conclusiones y recomendaciones

- En el AMC es recomendable contar con la mayor cantidad de criterios de prioridad posibles para reducir la influencia de algún criterio en particular. Además, es conveniente hacer la valoración de criterios con base en las características de la cuenca y en la influencia directa que la cuenca ejerce en la conceptualización de cada uno de los criterios, para evitar que se sobrevalore algún criterio.
- La herramienta MB es práctica, flexible y factible para la aplicación de AMC y para la identificación de áreas prioritarias. Se puede utilizar como herramienta de modelaje pa-



**Figura 4.** Áreas prioritarias para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, bajo escenario de recuperación de cobertura boscosa en 200 m de las riberas de los ríos  
Fuente: Sánchez (2002)

ra la toma de decisiones en estrategias de manejo y recuperación de la cuencas, así como herramienta de monitoreo para evaluar el desempeño y resultados de su implementación. Además, puede usarse

con una base limitada de información secundaria, complementada y actualizada conforme se genere nueva información.

- Se recomienda aplicar y validar la metodología en una cuenca de

menor extensión, donde se pueda generar información primaria más precisa y verificación de campo más eficiente.

- 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. 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 y posibles soluciones en cuanto al manejo del recurso hídrico con un enfoque integral que reconozca el carácter multisectorial de su aprovechamiento. Es deseable contar con autoridades descentralizadas que coordinen y fomenten esfuerzos para el manejo del agua, como los programas de compensación por beneficios ambientales y la internalización de costos ambientales por el manejo del servicio ambiental hídrico. Tales programas pueden desarrollarse con la colaboración de usuarios y proveedores del servicio hídrico, como las empresas hidroeléctricas, turísticas, agroindustrias y sistemas productivos que son posibles generadores de fondos para el manejo del recurso hídrico en la cuenca.

## Literatura citada

- FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, CR). 2002. Mapa digital de pago de servicios ambientales, para la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica. 1 DC, 8 mm.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, CR). 2001. Aspectos aclaratorios a la solicitud del grupo Sociedad Civil Sarapiqueña respecto al Proyecto Hidroeléctrico Cariblanco. San José, Costa Rica. 56 p.
- IDA (Instituto de Desarrollo Agrario, CR). 2002. Mapa digital de los asentamientos en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica. 1 DC, 8 mm.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, CR). 2000. Censo de vivienda y población por provincia, cantón y distrito para la cuenca del Río Sarapiquí. San José, Costa Rica, Imprenta Nacional
- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2000. Atlas digital de Costa Rica. 1 DC, 8 mm.
- Sánchez C, K. 2002. Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 149 p.
- Trivelato, BM; Murillo, LF; Barboza, G; Cordero, A. 1997. Diálogo ambiental en comunidades rurales. San José, Costa Rica, OET. 72 p.