

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**

---

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN  
ESCUELA DE POSGRADUADOS**

0 MAY 2003  
RECIBIDO  
Rica

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

**Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Posgrado, Programa  
de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico  
Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito parcial para optar  
al grado de:**

**Magister Scientiae**

**Por**

**KARLA SÁNCHEZ CAMPOS**

**Turrialba, Costa Rica**

**2002**

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

*MAGISTER SCIENTIAE*

**FIRMANTES:**

---

Francisco Jiménez, Ph.D.  
**Consejero Principal**

---

Mario Piedra, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**

---

Eddy Romero, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

---

Sergio Velásquez, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

---

Ali Moslemi, Ph.D.  
**Director Programa de Educación y  
Decano de la Escuela de Posgrado**

---

Karla Sánchez Campos  
**Candidata**

## **Dedicatoria**

A mi esposo Marco; porque su deseo de superación es el empuje de nuestro matrimonio. Gracias chichí, por el amor inmenso...por su paciencia, dedicación y el apoyo que me brinda día a día.

A TTCHD...por ser la parte alegre y relajada de nuestro matrimonio.

A mis papás, por su amor, confianza, sacrificio y apoyo en cada una de mis aventuras. Gracias pa y ma, por no dormirse hasta no rezar por mí...por no dejarme salir de la casa hasta no persignarme.

A Vanessa, por dejarme seguir cada uno de sus pasos, haciendo el camino más libre y firme para mí. Gracias nana, por ser más que una hermana.

## **Agradecimientos**

A Francisco Jiménez, mi consejero principal, por su paciencia y apoyo. Gracias por brindarme la mano desde el primer día en que cruce la puerta de su oficina.

A mis consejeros, Sergio Velásquez, Eddy Romero y Mario Piedra, por la contribución en el desarrollo de la investigación. Gracias por la paciencia y disposición que siempre me manifestaron.

A la Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional (ASDI), por el apoyo financiero que facilitó la realización de esta investigación.

A todas las instituciones gubernamentales y no gubernamentales (FONAFIFO, UNA, ITCR, ICE, OET, SENARA, MAG, IDA, AyA, IGN entre otros), por facilitar la información que se requería para el desarrollo de la investigación.

A Christian Brenes, por colaborar en la confección de la base de datos en SIG.

A mis hermanos, Randall, Brians y Johan, por estar a mi lado en todo momento. A Isa y a mis bichitos preciosos, Gabriel y Sebastián.

A la familia Otárola Guerrero, por la entrega y cariño para con nosotros.

A mis amigos y sus familias, André, Beatriz, Jaimito, los trágaros (Román, Clarita y chepito), Milena, Hernán y Cami, Tanita, Perlita, Ángela, Karencita y su retoño, Hilda, Cris, Tanganxuhan, Lorena, Marcela Durán, Paola, Claudia Restrepo, William, Giovanni el tico, Carlitos Barreto, y Jesús. Gracias compas, por hacer que el paso por el CATIE sea un recuerdo inolvidable para la familia OS.

A los que han sido más amigos que funcionarios, Juancito (biblioteca), Azalea Salguero, Ligia Pérez, Macho Guayabo, El zurdo, Ricardo Campos, Yossethe Mata, Adrián y Pablo (vigilancia) y a las compas de aeróbicos, en especial a Rocío.

A los habitantes de la cuenca del Río Sarapiquí, por brindarme el apoyo para la realización de esta investigación. A Ronald (pollo), por su colaboración incondicional y por el toque alegre en las giras de campo.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Caracterización del problema .....	11
1.2 Importancia de la investigación.....	12
1.3 Objetivos .....	14
1.3.1 General .....	14
1.3.2 Específicos.....	14
1.4 Hipótesis.....	15
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	16
2.1 La cuenca del Río Sarapiquí.....	16
2.1.1 Características biofísicas .....	16
2.1.2 Aspectos socioeconómicos .....	16
2.2 Ciclo hidrológico .....	17
2.3 La cuenca hidrográfica como unidad de planificación para la protección de los recursos naturales .....	20
2.4 El sistema de Pago de Servicios Ambientales como herramienta para la conservación de los recursos hídricos .....	22
2.4.1 Sistema de Pago de Servicios Ambientales.....	22
2.4.2 Servicio ambiental de protección del recurso hídrico.....	24
2.4.3 Experiencias de internalización de beneficios por conservación del recurso hídrico .....	26
2.4.4 Análisis Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica para toma de evaluar problemas ambientales .....	30
2.4.4.1 Metodologías para el análisis de procesos en cuencas hidrográficas utilizando SIG .....	31
2.4.4.2 Metodologías para el análisis de áreas críticas en cuencas hidrográficas utilizando SIG.....	32
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1 Descripción del área de estudio.....	35
3.2 Desarrollo de la metodología .....	35
3.2.1 Caracterización de la cuenca e identificación de los principales usuarios del recurso hídrico en la cuenca .....	35
3.2.2 Priorización de zonas para el manejo del recurso hídrico.....	39
4. RESULTADOS.....	45
4.1 Caracterización de la cuenca del Río Sarapiquí .....	45
4.1.1 Características biofísicas .....	45

4.1.2	Características hidrológicas .....	50
4.1.3	Características edáficas.....	52
4.1.4	Características socioeconómicas .....	58
4.2	Caracterización de los usuarios de la cuenca del Río Sarapiquí.....	66
4.2.1	Consumo humano .....	70
4.2.2	Sistemas agropecuarios .....	70
4.2.3	Transporte fluvial .....	75
4.2.4	Actividad turística.....	76
4.2.5	Producción hidroenergética .....	79
4.3	Percepción de los usuarios con respecto al recurso hídrico de la cuenca .....	80
4.3.1	Estado del recurso hídrico.....	80
4.3.2	Acciones para la recuperación del recurso hídrico.....	81
4.3.3	Alternativas para la protección y recuperación del recurso hídrico.....	82
4.4	Priorización de áreas de manejo del recurso hídrico .....	83
4.4.1	Enfoque de análisis de priorización de áreas de manejo del recurso hídrico.....	83
4.4.1.1	Síntesis de la condición del recurso hídrico .....	83
4.4.1.2	Influencia de los usuarios del recurso hídrico y su relación con la calidad y cantidad del agua .....	84
4.4.1.3	Definición y validación de criterios de priorización en la cuenca del Río Sarapiquí. ....	87
4.4.2	Descripción y valoración de los criterios de priorización de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí.....	89
4.4.3	Modelo de análisis espacial para definición de áreas prioritarias .....	94
4.4.4	Análisis de resultados del modelo de priorización de áreas de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí.....	98
4.4.4.1	Nivel de priorización para manejo de calidad del recurso hídrico.....	98
4.4.4.2	Nivel de priorización para manejo de cantidad del recurso hídrico.....	102
4.4.4.3	Nivel de priorización para manejo de calidad del recurso hídrico: escenario de recuperación de cobertura boscosa en riberas.....	105
4.4.5	Consideraciones de la metodología de priorización de áreas de manejo del recurso hídrico .....	108
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
	Conclusiones.....	111
	Recomendaciones.....	113
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	116
7.	ANEXOS .....	123

## LISTA DE ANEXOS

**Anexo 1.** Mapas de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Anexo 2.** Entrevista realizada a los principales usuarios del recurso hídrico de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Anexo 3.** Consulta a expertos para la priorización de áreas de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Anexo 4.** Descripción del tipo de suelo en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Anexo 5.** Descripción de las clases de capacidad de uso del suelo para la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Anexo 6.** Nombres de las comunidades y asentamientos en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Anexo 7.** Los principales acueductos rurales, según el tipo de acueducto y número de abonados en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Anexo 8a.** 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.

**Anexo 8b.** Tabla general de valoración de criterios de priorización para el manejo de la cantidad aprovechable del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

## LISTA DE CUADROS

**Cuadro 1.** Aplicación del pago de servicios ambientales para el período comprendido entre 1997 y 2001 para Costa Rica.

**Cuadro 2.** Montos de pago por compensación de beneficios de la protección del agua reconocidos por los diferentes convenios establecidos.

**Cuadro 3.** Variables biofísicas y antropogénicas utilizadas en la descripción de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Cuadro 4a.** Criterios de priorización de zonas para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Cuadro 4a.** Criterios de priorización de zonas para el manejo de la cantidad aprovechable del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Cuadro 5.** Fases, etapas y participantes de la metodología de priorización de áreas para el manejo de la calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.



**Cuadro 6.** Zonas de vida según Holdridge presentes en la cuenca del Río Sarapiquí, distribuidas según su presencia relativa.

**Cuadro 7.** Áreas de conservación y las áreas silvestres protegidas ubicadas en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Cuadro 8.** Formaciones geológicas más representativas de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Cuadro 9.** Distribución relativa de pendientes del suelo en el área de la cuenca la cuenca media y baja del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Cuadro 10.** Distribución relativa del área según los diferentes usos del suelo para 1992, en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Cuadro 11.** Área y población de los distritos de la cuenca del Río Sarapiquí, con sus respectivos cantones y provincias de Costa Rica.

**Cuadro 12.** Distribución de la población trabajadora según ocupaciones en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica (n = 16 015).

**Cuadro 13.** Distribución de la población trabajadora según rama de actividad en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica (n = 16 015).

**Cuadro 14.** Nivel académico de los habitantes mayor de cinco años de edad, de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica (n = 45 119).

**Cuadro 15.** Tipo de seguro de los habitantes trabajadores de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica (n = 12 395).

**Cuadro 16.** Descripción de las características de utilización del recurso hídrico por parte de los principales usuarios de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Cuadro 17.** Propuestas de criterios de priorización de áreas de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Cuadro 18.** Comparación entre el estado actual de las áreas prioritarias para la calidad del recurso hídrico y el escenario de reforestación de las riberas de los ríos, en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica (valores en porcentajes).

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Esquema del ciclo hidrológico de un ecosistemas forestal.

**Figura 2.** Ubicación geográfica de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 3.** Distribución relativa de la precipitación en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 4.** Distribución relativa del número de meses secos en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 5.** Distribución relativa de los tipos de suelo en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 6.** Distribución relativa de las clases de capacidad de uso del suelo, en la cuenca media y baja del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 7.** Distribución relativa de la textura del suelo en la cuenca media y baja de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 8.** Estructura de edades de los habitantes de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 9.** Distribución de pago de servicios ambientales para la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 10.** Distribución de tamaños de las fincas pecuarias en la cuenca alta del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 11.** Diversificación de los sistemas pecuarios de producción, en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 12.** Diagrama de áreas de priorización para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 13.** Diagrama de áreas de priorización para el manejo de la cantidad aprovechable del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 14.** Distribución relativa de las áreas prioritarias para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 15.** Distribución relativa de las áreas prioritarias para el manejo de la cantidad aprovechable del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 16.** Distribución relativa de las áreas prioritarias para el manejo de la calidad del recurso hídrico, el escenario de reforestación de las riberas de los ríos en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Figura 17.** Diagrama de la metodología de priorización de áreas de manejo en calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

## **LISTA DE MAPAS**

**Mapa 1.** Relieve y precipitación en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Mapa 2.** Áreas de conservación, áreas protegidas y proyectos hidroeléctricos en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Mapa 3.** Bosque, no bosque y pagos de servicios ambientales en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Mapa 4.** Tipos de suelo en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Mapa 5.** Carreteras, ríos y poblados en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Mapa 6.** Distritos, asentamientos y pozos en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Mapa 7.** Áreas prioritarias para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Mapa 8.** Áreas prioritarias para el manejo de la cantidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**Mapa 9.** Áreas prioritarias para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, bajo escenario de recuperación de cobertura en 200 m de las riberas de los ríos.

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, CR, CATIE.

**Palabras claves:** Análisis multicriterio, áreas prioritarias, cuencas hidrográficas, recurso hídrico, calidad del agua, cantidad aprovechable del agua, criterios de priorización, consulta a expertos, contaminación de agua, Model Builder, Sistemas de Información Geográfica.

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue desarrollar una metodología de análisis multicriterio que utilice Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica, con el fin de aportar elementos que ayuden a la conservación del agua, utilizada ampliamente en esta cuenca para fines hidroenergéticos, consumo humano y turísticos, entre otros.

Se realizó la priorización de áreas para el manejo del recurso hídrico mediante la aplicación de la metodología de análisis multicriterio por medio del analista espacial de Arc View 3.2a, con la herramienta de modelaje Model Builder. La metodología consistió de varias etapas, iniciando con una caracterización biofísica y antropogénica de la cuenca y la creación y validación de una base de datos digital. Se identificaron y caracterizaron los principales usuarios del recurso hídrico (consumo humano, sistemas agropecuarios, transportistas fluviales, actividades turísticas y producción hidroenergética) a nivel espacial y temporal. Se definieron criterios de priorización en tres escenarios: para el manejo de calidad del agua (9), para la cantidad aprovechable del agua (4) y para la recuperación de la cobertura vegetal de las orillas de los ríos de la cuenca del Río Sarapiquí, como medida de manejo del recurso hídrico (9). Se utilizó la consulta a expertos y actores locales para definir estos criterios. Como producto final, se obtuvo la cartografía digital y su respectiva base de datos para las áreas priorizadas para los tres escenarios de manejo del recurso hídrico para la cuenca del Río Sarapiquí.

La caracterización de la condición del recurso hídrico mostró la existencia de factores que afectan tanto la cantidad como la calidad del mismo. El estado del recurso varía dependiendo de su ubicación en la cuenca, pero se observa una alta dependencia del uso

del agua de algunas actividades antropogénicas, así como un inadecuado o inexistente manejo de las aguas residuales.

Los resultados del modelo de priorización de áreas de manejo de la cantidad aprovechable del agua, muestran una predominancia de áreas catalogadas como de *Mediana* y de *Baja prioridad* con prioridad 65,3% y 33,0% respectivamente. El modelo no identifica sitios con *Muy Alta* o *Muy Baja prioridad*. La categoría de *Alta prioridad* es baja (1,7%), representando al alrededor de 3 500 ha con dentro de la cuenca. La limitada disponibilidad de información determinó la predominancia de un criterio, el de precipitación. Por otro lado, el modelo de priorización de áreas para el manejo de la calidad del recurso hídrico refleja predominancia de zonas catalogadas de *Baja prioridad* (79%) y *Mediana prioridad* (21%). Esto refleja el carácter puntual de las fuentes de contaminación de las aguas de la cuenca.

Al modelar los resultados de la aplicación de un plan de reforestación de las riberas de los ríos, se observa una evidente recuperación de la calidad del recurso hídrico. La categoría de *Muy Alta prioridad* es inexistente en este modelo, pero las áreas *Alta prioridad*, pasaron de un 0,4% (810 ha del área total de la cuenca), para el escenario de calidad del actual del agua, a un 0,1% para el escenario de reforestación de las riberas de los ríos, representando 607,5 ha de recuperación de las condiciones de calidad de agua. Las áreas catalogadas de *Baja prioridad* son predominantes en ambos modelos, la cual paso de 79,0% a 81,1% (aumento en 2,1%) y el área con prioridad *mediana* paso de 20,5% a 18,9% (disminuyo en 1,6% del modelo actual al de recuperación).

Sánchez C, K. 2002. Multicriteria analysis methodology for the identification of priority areas for water resources management in Sarapiquí River watershed, Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.

**Key Words:** Multicriteria analysis, priority areas, watershed, water resources, water quality, available water quantity, priority criteria, expert opinion, water pollution, Model Builder, Geographic Information System.

## **ABSTRACT**

This research focuses on the development of a Multicriteria Analysis Methodology with Geographic Information System (GIS) to identify priority areas for management of water resources in Sarapiquí River watershed, Costa Rica, in order to support initiatives for the enhancement of water conservation, a very important resource of this watershed for hydroelectric production, human consumption and tourism.

A Multicriteria Analysis Methodology was designed for identifying critical areas for water resources management, using the tool Model Builder, a spatial analyst application of Arc View 3.2a. The method has the following step-by-step procedures, initiating with an anthropogenic and biophysical characterization of the watershed, followed by the development and validation of a digital data base. Main users of water resources were identified (human consumption, livestock systems, fluvial navigators, tourism and hydroelectric production) in spatial and temporary levels. Priority criteria were designed in three scenarios: quality water management (9 criteria), available water quantity management (4 criteria) and shore vegetal cover restoration of rivers on Sarapiquí watershed, used as a mitigation measure for water resource management (9 criteria). Expert opinion and stakeholders consulting were used for the selection criteria. Digital cartography and digital data base for priority areas for three scenarios of water resources management on Sarapiquí watershed were obtained in this process.

Characterization of water resources condition showed existence of factors that affect both water quantity and quality. Water characteristics depend on spatial conditions, and were observed a high dependence of water use for anthropogenic activities and inadequate or inexistence residual water management.

The priority model used in water quantity management showed predominance of areas catalogued in *Medium* and *Low priority* classes, with values of 65,3% y 33,0% of total

area, respectively. No areas were identified as *Very Low* or *Very high priority* classes. *High priority* class represents 1,7% of the total area (3 500 ha in Sarapiquí watershed). Limited information caused a very strong effect of a single criteria (precipitation) in this model. On the other hand, priority areas model for water quality management reflects predominance of areas with *Low priority* (79%) and *Medium priority* (21%) on the watershed, explained by the specific stand character of pollution sources on the watershed.

The results obtained by the priority areas model for water quality management in the scenario of shore vegetal cover restoration of rivers on Sarapiquí watershed, reflect an important effect on restoration of water quality. *Very high priority* class is not presented in this model, and *High priority* class changed from 0,4% (810 ha) of total watershed area in the scenario without cover restoration, to 0,1% (607,5 ha) in the scenario with cover restoration. Zones in *Low priority* class are present in both models (water quality with and without cover restoration), that changed from 79,0% to 81,1% (2,1% more than model without cover restoration) and *Medium priority* class areas changed from 20,5% to 18,9% of total watershed area (1,6% less than model without cover restoration).

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Caracterización del problema**

La disponibilidad del recurso hídrico en calidad y cantidad pueden determinar el potencial de crecimiento económico de un país, debido a la variedad de actividades, tanto de consumo y producción que dependen de ella. En Costa Rica es especialmente importante este recurso debido a la alta dependencia de la generación hidroeléctrica como abastecedor de energía (71% de la energía generada proviene de plantas hidroeléctricas) (ICE 2001a). Asimismo es de suma importancia para garantizar el flujo normal de agua para uso doméstico, industrial y productivo, manteniendo los niveles de calidad requeridos. Aunque existe una oferta de agua adecuada, la continuidad de la misma depende del mantenimiento de las condiciones de sus fuentes de origen; de forma tal que se evite los problemas que en la actualidad sufren países, principalmente europeos, de carencia y encarecimiento del agua, por los costos de tratamiento y purificación (MIDEPLAN 1998).

A nivel mundial existen graves problemas de escasez hídrica, debido al aumento de la demanda por este recurso, y se calcula que para el año 2025, dos tercios de la población mundial se verán afectados por la escasez de agua (falta de acceso o uso de sistemas inapropiados) (Barrantes et al. 1999). Esto exige una planificación y una ordenación integrada de los recursos hídricos que abarque todos los tipos de masa interrelacionadas de agua dulce, tanto superficiales como subterráneas, y tener en cuenta los aspectos de la cantidad, distribución en el tiempo, calidad de agua, así como actores involucrados e interesados en la gestión del recurso (Espinoza et al. 1999).

En Costa Rica, el crecimiento demográfico, la industrialización, el urbanismo y el desarrollo agropecuario intensivo están incrementando la demanda de agua y la presión sobre los recursos naturales que la protegen, tales como el bosque. Las dificultades en la aplicación de una política de ordenamiento y aprovechamiento racional del agua se evidencia también ante el aumento de los problemas de degradación del recurso hídrico, como son los siguientes:

- La disposición de desechos sólidos, industriales y de aguas negras sin tratamiento en los ríos, que afecta también la riqueza pesquera, natural y escénica;
- La sedimentación de los embalses y modificación en la intensidad de los caudales provocados por la deforestación;



- La disminución del volumen y contaminación de acuíferos, así como la salinización de aguas y contaminación de las aguas subterráneas en las ciudades costeras.

La política nacional en el campo de los recursos hídricos, está dirigida a la planificación del uso del agua para el desarrollo nacional, fundamentalmente por medio del establecimiento de un Plan Nacional de Ordenamiento del Recurso Hídrico y la creación del Departamento de Aguas, en el Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE). Asimismo, programas orientados a la conservación de los recursos forestales, tales como el sistema de Pago de Servicios Ambientales (PSA), apoyan los esfuerzos para evitar el deterioro de los recursos hídricos y para mantener y compensar financieramente los beneficios que su protección brinda a la sociedad.

## **1.2 Importancia de la investigación**

En Costa Rica, el agua es recurso abundante; sin embargo en la última década se han presentado problemas asociados a su disponibilidad para el consumo humano. En promedio, el país recibe 3 305 mm de lluvia (un mínimo alrededor de 1 000 mm y un máximo de 8 000 mm), lo que representa un volumen de 160,35 km<sup>3</sup> de lluvia por año. A su vez esta lluvia genera un escorrenría media anual de 2 255 mm, que equivalen a 108,12 km<sup>3</sup> de agua; y a unos 27 000 m<sup>3</sup> por persona anualmente. El agua subterránea (pozos y nacientes), constituye la principal fuente de agua para consumo humano a nivel nacional (Estado de la Nación y Vargas, citado por Fallas 2002). Se ha hecho necesario proteger los recursos hídricos del país, para lo cual se cuenta con la legislación y procedimientos técnicos; sin embargo, en la práctica se ha avanzado poco en la cartografía de los principales mantos acuíferos del país, y por ende, también en las medidas aplicadas para la protección (Fallas 2002).

La cuenca del Río Sarapiquí es una de las de mayor importancia en el país en cuanto a lo que a recursos forestales e hídricos se refiere. Su amplia variación altitudinal (10 - 2 700 msnm) genera una alta biodiversidad de ecosistemas y especies. Su parte intermedia (500 - 100 msnm) posee la vegetación más rica del país (más de 5 000 especies de plantas vasculares), y se reportan nueve diferentes zonas de vida de acuerdo con el sistema de clasificación de Holdridge (1978). El recurso hídrico de esta cuenca es utilizado ampliamente para la generación de energía eléctrica (actualmente existen dos plantas de generación estatal y cinco plantas de generación privada). Asimismo, el agua es utilizada para consumo potable, pesca, vías de navegación, y para actividades ecoturísticas, entre otras. La importancia de estos recursos han motivado la

creación de áreas silvestres protegidas dentro de la cuenca, que ahora representan alrededor del 28,1% de su extensión total.

Sin embargo, existen en esta cuenca problemas relacionados con el deterioro de los recursos forestales e hídricos, tales como deforestación y fragmentación de bosques, cambio de uso del suelo e inadecuado aprovechamiento de los recursos hídricos. Esta situación hace necesario la generación de información y herramientas que permitan dirigir los escasos recursos financieros para un posterior proceso de planificación del desarrollo de la cuenca.

Dentro de este contexto, el presente estudio se enfoca hacia el desarrollo de una metodología para determinar zonas prioritarias para el manejo del recurso hídrico dentro de la cuenca del Río Sarapiquí, las cuales pueden servir de base para retribuir de manera más eficiente, financieramente, a los propietarios de bosques y sistemas productivos que utilizan tecnologías adecuadas por el beneficio que brindan en el manejo de la cuenca, asegurando así la continuidad y sostenibilidad del uso del agua.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 General**

El objetivo general de la presente investigación es:

- Desarrollar una metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí.

#### **1.3.2 Específicos**

Los objetivos específicos que se persiguen en el presente estudio son:

- Identificar y caracterizar los principales usuarios y beneficiarios directos del recurso hídrico dentro de la cuenca.
- Proponer y validar los criterios que permitan la identificación de áreas prioritarias en la cuenca para el manejo del recurso hídrico.
- Efectuar la priorización de áreas de manejo para la calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí a través del modelaje digital.

## 1.4 Hipótesis

Las hipótesis de la investigación aquí planteada son:

- Es posible identificar los principales criterios o elementos que determinan diferentes grados de prioridad dentro de la cuenca para el manejo, por su importancia en el mantenimiento de los recursos hídricos.
- Las características del uso de la tierra y de los usuarios del agua en la cuenca del Río Sarapiquí, provocan la alteración de los procesos hidrológicos en diferentes grados, por lo que es fundamental establecer prioridades en las acciones requeridas para su manejo.
- Las características biofísicas y socioeconómicas de la cuenca del Río Sarapiquí, son favorables para proponer sistemas de compensación para el manejo del recurso hídrico.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 La cuenca del Río Sarapiquí**

#### **2.1.1 Características biofísicas**

La cuenca del Río Sarapiquí se ubica en la Subvertiente Atlántica Norte y comprende un territorio con tres niveles perfectamente diferenciables (las cuencas alta, media y baja) que se ubican en varios cantones de las provincias de Heredia, Alajuela, San José y Limón. El rango altitudinal que abarca la cuenca es desde los 2 700 msnm, hasta los 10 msnm (desembocadura en el Río San Juan), y tiene un área de 2 025 km<sup>2</sup>.

La cuenca presenta nueve zonas de vida y su clima es tropical lluvioso en general. La cuenca se caracteriza por su gran pluviosidad, abrupta geomorfología en su parte alta y una extensión de su territorio bajo algún régimen de protección, como son; parques nacionales, reservas biológicas privadas, reservas biológicas estatales, zonas de reservas forestales y zonas de protección humana (ICE 2001a), en donde existe un alto contenido de biodiversidad, representada por: 521 especies vegetales diferentes (246 árboles, 113 hierbas, 92 arbustos, 33 helechos, 18 bejucos-lianas y 14 palmas), 194 especies de aves, 36 mamíferos, 17 peces y 36 anfibios y reptiles.

#### **2.1.2 Aspectos socioeconómicos**

La población estimada en la cuenca es de 51 454 habitantes (INEC 2000). Dentro de la cuenca se desarrollan actividades agropecuarias, agroindustriales, comerciales y el turismo, por lo que la cuenca mantiene un complejo esquema de uso del suelo, tales como: lagunas / embalses, urbanístico, terrenos rocosos, bosque intervenido, charral / tacotal, pasto, bosque secundario, bosque natural, pastos y agricultura, cultivos anuales y cultivos permanentes.

La cuenca presenta caudales de navegación de importancia, que permiten el transporte de las comunidades de río abajo; los habitantes dependen gran parte del año de este transporte para su sobrevivencia. La vía fluvial conecta con San Juan del Sur y San Juan del Norte (Nicaragua), Tortuguero y Limón, permitiendo la actividad ecoturística que transporta alrededor de 50 000 turistas al año, proveyendo recursos económicos a los pobladores de la cuenca (Asamblea Legislativa 2000). Asimismo, las características de relieve e hidrología de la cuenca le confieren un elevado potencial para la producción

hidroenergética. Actualmente existen en la parte alta y media de la cuenca cinco plantas hidroeléctricas privadas y dos plantas hidroeléctricas estatales.

## 2.2 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico muestra los estados, procesos y magnitudes de cada uno de los componentes que caracterizan el movimiento del agua desde los océanos hasta la atmósfera, la tierra y la vuelta a los océanos; y por lo tanto constituye el marco conceptual para analizar la interacción suelo - agua - vegetación. Desde la perspectiva espacial las interacciones deben analizarse utilizando la cuenca hidrográfica como unidad de gestión. Una cuenca hidrográfica, desde el punto de vista físico se define como el área delimitada por la divisoria topográfica de las aguas que drenan hacia un mismo punto. En este sentido una cuenca hidrográfica representa una superficie de tierra donde todos los materiales como aguas, sedimentos, materia orgánica, residuos de procesos drenan hacia un mismo sitio específico del río (Barrantes *et al.* 1999).

El ciclo hidrológico es uno de los ciclos bioquímicos básicos y constituye un factor esencial en el funcionamiento de todo ecosistema. Su estrecha relación con la cobertura vegetal del planeta, y en especial con los bosques, lleva a pensar que la masiva deforestación de las últimas décadas podían alterar seriamente su funcionamiento. Hoy en día se sabe que el clima y la vegetación coexisten en un equilibrio dinámico y que este puede ser alterado por grandes perturbaciones en cualquiera de los componentes (Delgado 2001).

De acuerdo con Delgado (2001), Imbach (1989) y Jiménez (1986), el ciclo hidrológico (Figura 1) se refiere a la circulación del agua en la biosfera a través de fenómenos como precipitación, evaporación, transpiración e infiltración. El agua evapora de los océanos y la superficie de la Tierra, es llevada por la circulación de la atmósfera en forma de vapor de agua, precipitación (Pr) como lluvia o nieve y está asociado a la posición geográfica de la región, la circulación planetaria de las masas de nubes y aire, temperatura, vegetación, y otros factores.

Una parte del agua que ingresa al ecosistema (por medio de la precipitación), atraviesa directamente el dosel y llegar al suelo (Pd), la otra es retenida por el dosel de la vegetación, la cual se evapora (Intercepción (In)), en función de la temperatura, viento y radiación solar. Otra parte escurre por las hojas y los tallos hasta llegar por gravedad a la superficie de la capa de mantillo del suelo (Go), y junto a la Pd pueden infiltrarse en

el suelo y desde ahí pueden seguir uno o más de los siguientes caminos: a) permanecer en el suelo, variando su contenido de humedad (HS) esta representa la reserva donde las plantas absorben la cantidad necesaria para sus ciclos energéticos y nutrimentales, b) ser absorbida por la raíces de las plantas (Ab) y luego transpirada (Tr), c) moverse en forma lateral como escorrentia superficial (Es), d) moverse verticalmente en dirección descendente saliendo del sistema como agua de percolación (Pe), al sobrepasar la capacidad de campo del suelo. Con esta última opción se lixivian elementos nutritivos (LM). La ecuación del balance hídrico del suelo se puede formular de la siguiente manera:

$$Pr = In + Tr + Es + Pe + HS$$

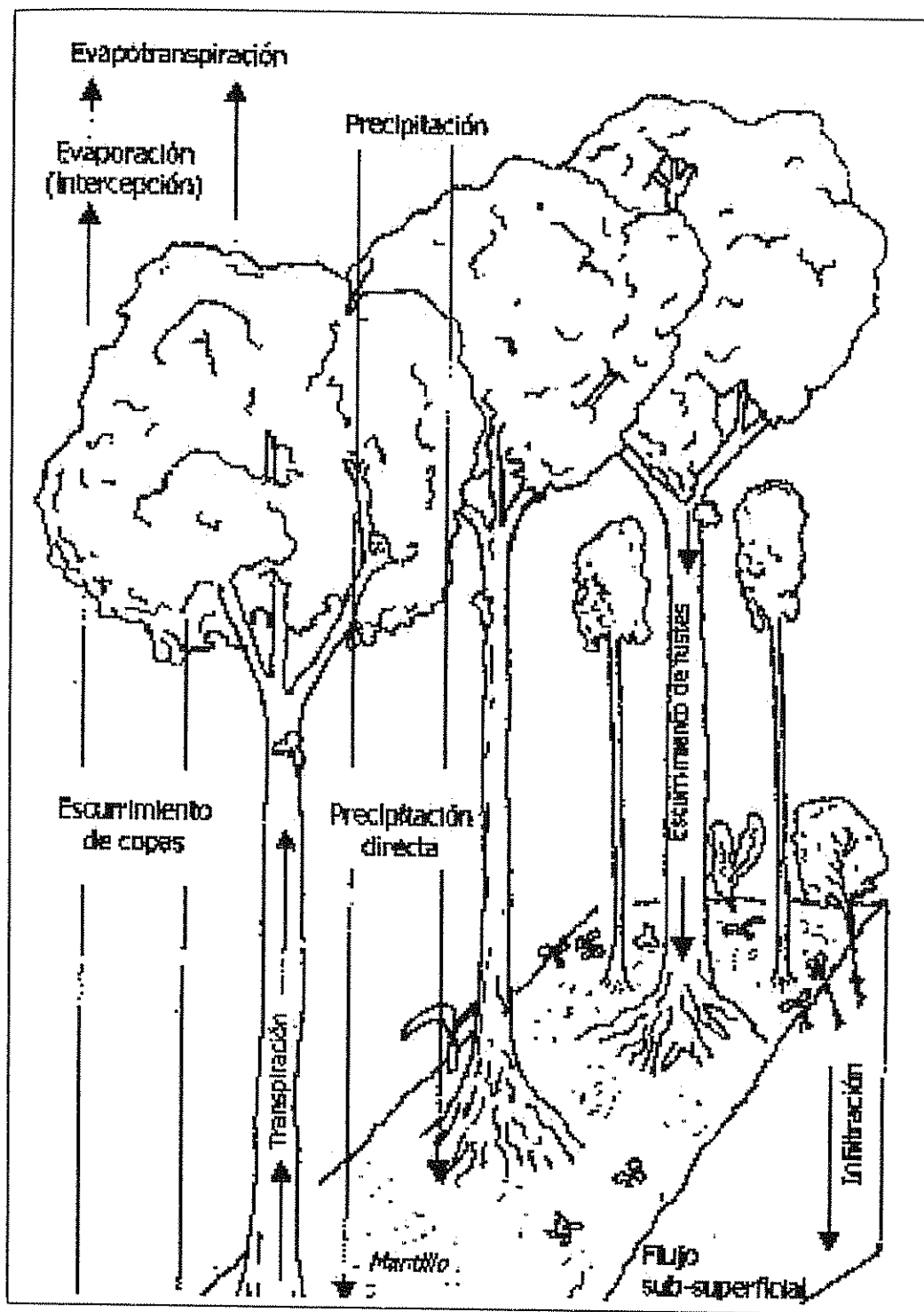
El balance hídrico es resultado de interacciones entre:

i) Las fuentes de ingreso de agua al sistema (lluvia o irrigación) y ii) Las fuentes de pérdida de agua por lixiviación, evapotranspiración y escorrentía (Fassbender 1993).

En su paso a través del suelo, el agua transporta nutrimentos, pesticidas y otras sustancias que son lavados fuera de la zona radical. Los nutrimentos aniónicos como los nitratos, cloruros y sulfatos y las bases como el calcio, potasio y magnesio son los más fácilmente lixiviados en el suelo (Jiménez 1986).

Como el agua al precipitada puede evaporarse, transpirarse, fluir superficialmente hacia los ríos y lagos, o infiltrarse en el suelo. El tipo de subsuelo y de cobertura vegetal sobre la superficie tiene un papel clave. Dependiendo de estos factores, el proceso de infiltración (que puede tomar varias horas hasta meses), permite mantener la humedad en los suelos, la recarga de fuentes de agua subterránea (acuíferos), y los flujos subterráneos (flujo sub - superficial y flujo base) que también alimentan los ríos y lagos (Rosa *et al.* 1999).

**Figura 1.** Esquema del ciclo hidrológico de un ecosistemas forestal. Adaptado de Bruijnzeel (1990).





### **2.3 La cuenca hidrográfica como unidad de planificación para la protección de los recursos naturales**

El suministro de agua disponible para uso humano es finito, pues el agua proporcionada por la naturaleza también lo es. La mayor parte del agua de la Tierra, 97,5% es agua salada. Del 2,5% restante, agua dulce, casi el 70% esta bloqueada en témpanos y glaciales polares, y un 29% se almacenan en las profundidades de la Tierra. Esto deja casi 1% (del 2,5%) en ríos, lagos, pantanos, suelo, embalses, la atmósfera y en organismos vivos.

La mayor parte de sistemas o ecosistemas de agua dulce disponible para abastecer las diferentes necesidades humanas, están organizadas en cuencas hidrográficas, constituyéndose en la unidad natural para monitorear los cambios ambientales y para controlar el uso del agua y de la tierra, en un equilibrio con las necesidades ambientales, sociales y económicas (Espinoza *et al.* 1999). Muchos de los impactos en las cuencas están relacionadas con las actividades humanas, lo que provocan cambios en los procesos hidrológicos. En este caso es importante la introducción del concepto de cuenca hidrográfica.

Según lo mencionado por (Ramakrishna 1997, Faustino 1988, Campos 1987 y Remeineras 1975), una cuenca hidrográfica es un área natural (superficie topográfica) en la que el agua proveniente de la precipitación drena directa o indirectamente, al mar o a un lago interior. Esta agua es drenada en su totalidad por un colector principal de agua y sus afluentes y por un área colectora de las aguas, donde están contenidos los recursos naturales básicos para las múltiples actividades humanas, donde todos los recursos mantienen una continua y particular interacción con el aprovechamiento y desarrollo productivo del ser humano.

Las cuencas hidrográficas se separan unas de otras por líneas de compartimiento de agua, según las líneas de cresta que bordean las cuencas. Los límites de la cuenca o "divisoria de aguas" se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río. Además de área, tienen una tercera dimensión: profundidad, entendiéndose como tal aquella comprendida entre el dosel de la cobertura vegetal, exteriormente y los estratos geológicos que limitan la cuenca hacia abajo. La cuenca se constituye así en una unidad ecológica natural para monitorear los cambios ambientales y para controlar el uso del agua y de la tierra de manera equilibrada.

En términos formales, la cuenca, microcuenca o subcuenca son las unidades de planificación y análisis en los que se debe tener en cuenta que los procesos de intervención humana tiene repercusiones y que las condiciones de uso de la tierra no solo tienen que ver con el manejo. De ahí que el manejo de una cuenca comienza por la rehabilitación a nivel de campo incorporando la educación ambiental a todos los niveles para facilitar las actividades de manejo sostenible (Ramakrishna 1997).

Cada cuenca hidrográfica, presenta condiciones particulares en relación a la interacción existente entre factores biofísicos (agua, suelo), biológicos (flora y fauna), y antropocéntricos (socioeconómicos culturales e institucionales), que están todos interrelacionados y en equilibrio entre y dentro de si. De tal manera que al afectarse uno de ellos, se produce un desbalance que pone en peligro todo el sistema, constituyen el paso principal para una mayor comprensión del estado actual de las cuencas y emitir recomendaciones acertadas, basado en el aprovechamiento, conservación y protección de los recursos naturales.

Quesada (1990) y Faustino (1987) argumentan que en la mayoría de las cuencas hidrográficas de los países de América Tropical se evidencia la falta de un adecuado manejo de los recursos naturales. Esto es el resultado de una planificación deficiente en el uso de la tierra que ha generado una serie de impactos negativos en el ambiente natural. La alteración de las cuencas también generan cambios en los eventos extremos, especialmente en lo que a sequías e inundaciones se refiere.

Algunos aspectos relevantes a tomar en cuenta en una cuenca para su manejo y desarrollo son las siguientes: la fragilidad que presenta debido a su vulnerabilidad causada por la degradación o por la intensidad de uso; el relativo aislamiento físico lo que causa un difícil acceso; poseen una población y oportunidades marginales; es un complejo de factores y oportunidades con variada escala lo que da diversidad como fuente para la sostenibilidad; tiene oportunidades especiales que implican condiciones ventajosas para el desarrollo de ciertas actividades; los habitantes del área de una cuenca tienen la capacidad de adaptarse a las nuevas actividades o proyectos (Ramakrishna 1997).

## **2.4 El sistema de Pago de Servicios Ambientales como herramienta para la conservación de los recursos hídricos**

### **2.4.1 Sistema de Pago de Servicios Ambientales**

La valoración y Pago de Servicios Ambientales (PSA) o externalidades del bosque es de los aspectos de mayor relevancia en la discusiones del ámbito internacional y local en los últimos años. El esquema de PSA que utiliza Costa Rica se fundamenta en los acuerdos de la Convención de Río de 1992, donde nuestro país se compromete a ratificar dichos acuerdos y los plasma en la Ley Forestal No. 7575 promulgada el 16 de abril de 1996, que tiene como punto de partida el reconocimiento de los servicios ambientales que prestan los bosques y las plantaciones forestales.

En términos generales, el concepto de PSA se fundamenta en el principio de que los propietarios de bosque y plantaciones forestales recibirán pagos para compensar por los beneficios que estos bosques y plantaciones brindan a la sociedad costarricense en particular y la humanidad en general. Los aspectos favorables que se le pueden atribuir al sistema de PSA, se puede resumir de la siguiente manera (FONAFIFO 2000):

- Brinda competitividad al bosque ante otras actividades (agricultura y ganadería) al reconocer la mayoría de los servicios que ofrece, dejando de considerarlo sólo como productor de madera;
- Reconoce el pago por un servicio que presta la naturaleza a precios de mercado;
- Sustituye las subvenciones originadas en el presupuesto nacional, trasladándose de un sistema deficitario a un sistema que podría ser superavitario;
- Crea una estructura administrativa que canaliza los recursos financieros destinados al pago de este servicio;
- Es coherente con el marco establecido por el Programa de Ajuste Estructural (PAE) del Fondo Monetario Internacional, que en 1995 decidió eliminar la totalidad de las subvenciones públicas incluidas en ellas las relacionadas al ámbito forestal;
- Es acorde con la declaratoria de Río sobre el Ambiente y Desarrollo, que establece la obligación de las autoridades nacionales de fomentar la internalización de los costos ambientales y de adoptar en principio de quien contamina debe cargar con los costos de la contaminación;
- El sistema hace de Costa Rica uno de los primeros países en comenzar a mitigar sus propias emisiones de gases de efecto invernadero a través del impuesto a los hidrocarburos orientados a la reforestación, manejo y conservación de los bosques.

Los servicios ambientales que contempla la Ley Forestal generan beneficios en diferentes niveles. Existe un beneficio local, que podría ser el beneficio del dueño de un bosque; un beneficio a nivel del país; y un beneficio en el ámbito mundial, que lo internaliza más la sociedad mundial. La Ley 7575 reconoce la existencia de cuatro servicios ambientales:

- Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (reducción, secuestro, fijación, absorción y almacenamiento de carbono);
- Protección de la biodiversidad, para conservarla y uso sostenible, incluyendo usos científicos, farmacéuticos, investigación y mejoramiento genético;
- Protección de ecosistemas, formas de vida y belleza escénica natural para fines turístico y usos científicos;
- Protección del recurso hídrico para uso urbano, rural o hidroeléctrico.

Asimismo, la ley 7575 y su reglamento establecieron los mecanismos de financiamiento del PSA: el tercio del impuesto a los hidrocarburos, certificados de carbono, protección de agua y protección biodiversidad y belleza escénica. Además, creó la Oficina Nacional Forestal y el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), ente encargado de captar financiamiento para el PSA que brindan los bosques y las plantaciones forestales y de financiar a pequeños y medianos productores, actividades que generen servicios ambientales (Artículo 46. Ley No. 7575).

El PSA que desarrolla FONAFIFO, presenta diferentes categorías de compensación. A partir del año 1997, se ha cubierto un área de 260 239,7 ha distribuidas en todo el país en las diferentes modalidades (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Aplicación del pago de servicios ambientales para el período comprendido entre 1997 y 2001 para Costa Rica.

<b>Modalidad</b>	<b>Área (ha)</b>
Protección de Bosque	220 652,4
Reforestación	15 748,1
Manejo sostenible del bosque	22 817,0
Plantaciones establecidas	1 022,2
<b>Total</b>	<b>260 239,7</b>

El FONAFIFO, es un órgano de desconcentración máxima, dentro de la estructura de la Administración Forestal del Estado, y fue creado con los siguiente objetivo: financiar para beneficio de pequeños y medianos productores, mediante crédito u otros

mecanismos de fomento del manejo del bosque intervenido o no, los procesos de forestación, reforestación, viveros forestales, sistemas agroforestales, recuperación de áreas desnudas y los cambios tecnológicos en aprovechamiento e industrialización de los recursos forestales. También captarán financiamiento para el PSA que brindan los bosques y las plantaciones forestales (FONAFIFO 2000).

Anualmente se oficializa mediante decreto ejecutivo, una serie de criterios de priorización para la selección de los sitios que se beneficiarán del PSA, por área de conservación. Este instrumento jurídico incluye además el área total que se financiará por modalidad y el monto por hectárea que se pagará. De esta misma manera, se actualiza el Manual de Procedimientos para el PSA, el cual se publica en diario oficial La Gaceta, mediante resolución administrativa. El Estado costarricense aplica el PSA por medio del Ministerio de Hacienda que es el ente encargado de recaudar los recursos, y el Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE), que le corresponde ejecutar el reconocimiento a los propietarios de bosques y plantaciones por los Servicios Ambientales (SA) que ellos generan, mediante del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) que es el encargado de determinar las áreas prioritarias donde se aplicará el pago, recepción y trámite de solicitudes planteadas por los interesados y la aprobación del pago, por medio de las áreas de conservación y FONAFIFO que capta y administra los fondos provenientes del Ministerio de Hacienda y otras fuentes de financiamiento.

Algunos estudios demuestran que la mayor parte de la sociedad costarricense está dispuesta a internalizar los costos por el mantenimiento de las funciones ecológicas y SA que los ecosistemas forestales ofrecen (Ortiz y Campos, citado por Campos et al. 2001). De acuerdo a éstos, la mayoría de los costarricenses están de acuerdo en pagar por los servicios ambientales de los bosques, y los servicios mejor valorados por la población son la protección del agua, seguida por la protección de la biodiversidad y la mitigación de gases efecto invernadero y la belleza escénica con un 35%, 25%, 20% y 20%, respectivamente. A la vez, la población considera que la protección del agua es un servicio que le beneficia directamente, mientras que los otros son beneficios indirectos.

#### **2.4.2 Servicio ambiental de protección del recurso hídrico**

La protección del recurso hídrico se presenta como uno de los servicios ambientales más importantes por su indiscutible valor estratégico para la sociedad. El servicios ambientales hídrico se refiere a la capacidad de los ecosistemas boscosos para capturar

agua y mantener la oferta hídrica a la sociedad. La identificación y cuantificación del servicio ambiental hídrico requiere de la cuantificación de indicadores físico - ecológicos de las ventajas de la presencia del bosque, para realizar el cálculo de los valores monetarios correspondientes (Barrantes *et al.* 1999).

Según diversos autores (Bruijnzeel 1990, Stadtmüller 1994 y Hamilton *et al.* 1986), el bosque en una cuenca hidrográfica produce los siguientes beneficios con respecto al recurso hídrico:

- Intercepta cantidades significativas de la precipitación bruta, provocando que el insumo agua sea menor que en otras coberturas vegetales;
- Muestra una alta tasa de evapotranspiración, hay más pérdida de agua;
- Protege eficientemente el suelo contra la erosión superficial, y en menor grado contra la erosión en masa (deslizamientos poco profundos);
- Normalmente garantiza los más altos requerimientos de la calidad de agua.

Por otro lado, si las inversiones no se producen y los bosques en dichas cuencas desaparecen, se estaría produciendo una serie de impactos ambientales negativos tales como los que se mencionan a continuación:

- Mayor erosión del suelo y, dependiendo de los procesos de remoción de sedimentos, aumento de la tasa de sedimentación, disminuyendo la calidad del agua y reduciendo la vida útil de las inversiones en embalses y en las plantas hidroeléctricas;
- Las avenidas máximas pueden aumentar, sobre todo si en los terrenos se aumenta la escorrentía superficial. Esto puede provocar impactos locales importantes como las crecidas y las inundaciones;
- La escorrentía base (flujo de agua en la estación seca), puede aumentar o disminuir dependiendo el efecto neto de cambios en la infiltración y la evapotranspiración.

Debido a tales razones, el Estado estableció adicionalmente la posibilidad de realizar cobros a manera de tarifas a los usuarios del recurso agua, con el fin de realizar pagos a los propietarios de terrenos estratégicos en las zonas de recarga de acuíferos y de protección hídrica (Ley de Biodiversidad No. 7788) (Zeledón 1999).

Este proceso es indispensable para reconocer al bosque como un ente importante que beneficia a la sociedad a través de un flujo continuo y permanente de agua, lo cual requiere del análisis de la sociedad para identificar su voluntad, no sólo de reconocer el

servicio ambiental como tal, sino también fijarle un precio y pagarlo (Barrantes *et al.* 1999).

La existencia de instituciones monopólicas que suministran servicios de agua potable y electricidad, aumenta la capacidad de trasladar el pago de las medidas de conservación a los usuarios mediante su incorporación en las respectivas tarifas. Es importante mencionar que las diferencias establecidas en los montos a pagar por las empresas se deben a condiciones de oferta y demanda del mercado, generadas por condiciones específicas que las empresas han establecido, las cuales se resumen adelante.

### **2.4.3 Experiencias de internalización de beneficios por conservación del recurso hídrico**

La Ley Forestal establece el reconocimiento del servicio ambiental, sin embargo su cobro no es de carácter obligatorio. Aprovechando las potestades que le da la legislación actual y adelantándose a eventos futuros en materia de legislación, el FONAFIFO ha realizado varias alianzas estratégicas con empresas privadas que se han dado a la tarea de establecer convenios y contratos y que actualmente están pagando por cada hectárea compensada dentro de su área de influencia. Esto ha generado una importante experiencia en el país, donde se tiene una gama de montos y formas de ser considerados en la estructura de costos que las empresas tiene, que ha sido la base para ir mejorando los mecanismos establecidos (Cuadro 2).

El primer acuerdo, para el PSA, para protección del agua para generación de energía, fue suscrito en 1997 entre FUNDECOR (actúa como promotor y regente de los proyectos) y la Empresa Energía Global S.A. Este convenio incluye como partes al FONAFIFO y SINAC, y en donde la Empresa se comprometió a apoyar la conservación de los bosques en las cuencas de los Ríos San Fernando y Volcán.

La empresa consideró en su decisión los resultados de estudios de FUNDECOR que indicaban que la cuenca hidrográfica, en 1986, tenía 2 107 ha de bosque primario, 192 ha de bosque intervenido y 78 ha bajo otros usos y, que según imágenes satelitales, en el período 1986 - 1992 hubo una deforestación de 350 ha. Las proyecciones de deforestación para el periodo de 1992 - 1998 indicaban una tasa anual de 11,4% sobre 365 ha consideradas de mayor riesgo, 6,7% anual sobre 610 ha consideradas de mediano riesgo y 3,8% anual sobre 499 ha de menor riesgo (Espinoza *et al.* 1999).

En el área de la Cordillera Volcánica Central, el proyecto hidroeléctrico Don Pedro (subsidiaria de Energía Global) utiliza las aguas del Río San Fernando, afluente del Río Sarapiquí, generando alrededor de 14 MW. La cuenca del Río San Fernando es una cuenca típica, en su mayoría en propiedad privada, ubicada en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Braulio Carrillo. Tiene aproximadamente 2 400 ha. Entre 1986 y 1992, la microcuenca sufrió una fuerte deforestación (350 ha), lo que significó una tasa de deforestación superior al 6% en tan sólo seis años. La amenaza de deforestación implicaba una amenaza al proyecto, motivando la creación del convenio, en donde la empresa se compromete a retribuir al Estado (FONAFIFO) \$10 ha / año por un total aproximado de 400 ha en la cuenca en del Río San Fernando y 2 093 ha en la cuenca del Río Volcán, en aquellas zonas donde el Estado demuestre protección de bosque gracias al PSA. Esto representa la cobertura del un 25% de los costos que tiene el Estado para hacer el PSA en esta cuenca. Durante la vigencia del proyecto se ha pagado un área de 904,6 ha (Tattenbach 1998).

**Cuadro 2.** Montos de pago por compensación de beneficios de la protección del agua reconocidos por los diferentes convenios establecidos.

<b>Empresa u organismo</b>	<b>Cuenca o región</b>	<b>Área total financiada (ha)</b>	<b>Montos reconocido (\$ ha / año)</b>
Energía Global	Río Volcán	2 493	10
	Río San Fernando	1 818	10
Hidroeléctrica Platanar	Río Platanar	1 400	- 15 por tierras tituladas - 30 por tierras no tituladas, más costos de regencia y 5% para FONAFIFO
Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL)	Río Aranjuez Río La Balsa Lago Coter	11 900	53 (40 para el dueño, el resto cubre costos de regencia y FONAFIFO)
Global Environmental Facility (GEF)	Corredores Biológicos identificados	100 000	10
Cervecería Costa Rica	Río Segundo	1 000	45 más costos de regencia y 5% para FONAFIFO

**Fuente:** Campos *et al.* (2001).



Otro caso de mención es el realizado con la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), en noviembre de 1998 (Contrato de Compra y Venta de Servicios Ambientales, FONAFIFO, MINAE, CNFL). Este es un Convenio marco de donde se establece los fundamentos para la compra - venta de PSA, en las áreas de interés de la CNFL. Este convenio se suscribió bajo los siguientes términos:

- Se fomentan las actividades de manejo, protección de bosques y reforestación, que contribuyan a la protección del recurso hídrico;
- La CNFL, retribuirá a FONAFIFO \$5 / ha / año, que deben ser utilizados en la promoción y seguimiento de los proyectos en el área de interés;
- Se establece un precio por hectárea de \$40 / ha / año, compensadas mediante manejo, conservación, reforestación y regeneración;
- El MINAE se compromete a dar prioridad a las áreas incluidas en este convenio para el PSA.

El objetivo del convenio es promover el PSA para proteger o recuperar áreas de bosques y plantar árboles en un área de 5 000 ha durante un plazo de cinco años. Por su parte, FONAFIFO se compromete a que una vez suscritos los contratos con los beneficiarios, debe presentarse un informe a la CNFL que contenga lo siguiente:

- Lista de beneficiarios, ubicación de las fincas y área pagada;
- Mapa de ubicación de las fincas pagadas utilizando el Sistema de Información Geográfica propiedad de FONAFIFO;
- Copia de los contratos de cada uno de los propietarios;
- La CNFL una vez recibido el informe trasladará a FONAFIFO el pago de los \$40 / ha / año durante los cinco años de vigencia de los contratos. Para la promoción y seguimiento de los proyectos pagados la CNFL transferirá \$5 000 en forma anual para el control y seguimiento de los proyectos (correspondiente a 1 000 ha / año);
- Los servicios ambientales reconocidos por la CNFL rigen a partir de 1997, por lo que el mes de febrero de 1997 FONAFIFO ha pagado servicios ambientales por un área de 687,5 ha, bajo las diferentes modalidades.

Otra experiencia es la desarrollada por la Compañía Hidroeléctrica Platanar, que lleva a cabo un proyecto hidroeléctrico utilizando las aguas del río del mismo nombre, ubicado en el Cantón de San Carlos, Provincia de Alajuela, región donde FUNDECOR desarrolla parte de sus actividades en manejo, reforestación y conservación de bosques. Entre estas instituciones y el FONAFIFO firmaron un convenio que se fundamenta en los siguientes términos:

- FUNDECOR se compromete a gestionar ante el FONAFIFO y el SINAC, el pago en forma prioritaria de los SA, a los propietarios de fincas ubicadas dentro de la cuenca;
- FUNDECOR certificará a los propietarios de bosques y plantaciones forestales otorgando sello verde obtenido a través del programa Qualifor de la Societe Generale de Surveillance (SGS);
- FUNDECOR contratará los servicios de la Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos (CODEFORSA), u otra similar a ésta, para elaborar los estudios forestales que serán presentados al SINAC;
- Platanar se compromete a pagar \$15 / ha / año para que reciba el PSA. Este aporte se realizará FUNDECOR, quien lo trasladará a FONAFIFO cuando se apruebe el PSA y los proyectos cuenten con la regencia y el sello verde de FUNDECOR;
- Platanar pagará un monto mensual de \$1 000 a FUNDECOR, para que los utilice en la promoción e identificación de los propietarios y en el pago por la realización de estudios técnicos.

Un caso interesante e importante de rescatar es la experiencia generada por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. (ESPH S.A.), con jurisdicción de servicio eléctrico y suministro de servicios de agua potable, en la provincia de Heredia que ha incorporado en la tarifa de prestación del servicio de agua potable, el pago de la denominada tarifa hídrica, destinada a la conservación y regeneración de bosque para la protección del agua en el área de jurisdicción, equivalente al pago de \$2,20 / m<sup>3</sup> (tipo de cambio 388 colones por 1 dólar en el día de hoy) consumido por agua potable por el cliente (38 000 abonados). Es la única experiencia del Estado costarricense que ha trasladado el PSA al usuario vía tarifa; si bien es viable rescatar que la leyes como la Ley Orgánica del Ambiente o la Ley de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), disponen los principios para retribuir al recurso hídrico a través del cobro por servicios ambientales que les presta el bosque, no se ha implementado en la tarifa del agua el cobro por el valor del agua, ni el PSA en forma obligatoria (Zeledón 2001).

De esta manera, la sociedad costarricense ya tendría los mecanismos para proteger y reforestar sus bosques así como los mecanismos de internalizar los costos y los beneficios en estas partes. Estos son ejemplos interesantes porque demuestra que en el largo plazo la sostenibilidad de bosques en propiedad privada va a depender mucho de que el Estado desarrolle los mecanismos que operativicen el cobro y PSA. Esto es importante, pues hablamos de mercados incipientes; de allí que el Estado va a tener un papel importante, regulando, creando las instituciones, poniendo las reglas del juego, entre otros.

#### **2.4.4. Análisis Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica para toma de evaluar problemas ambientales**

En muchos países los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son utilizado en diversos campos de evaluación, sobre todo en la conservación de los recursos naturales y la planificación urbana, para el manejo de información espacial y no espacial. Entre los diversos campos donde se utiliza SIG están: manejo e inventario de los recursos forestales, recursos biofísicos, recursos no renovables y recursos hídricos. También se utiliza en la elaboración de mapas sobre capacidad del uso del suelo, en el mapeo sobre los desastres naturales y en el ámbito de los aspectos urbanos y rurales (Solano, citado por González 2001).

El objetivo de la utilización de SIG es la ubicación espacial del problema de estudio, un sistema de recolección de datos, información organizada, actualizada e instantánea, representación gráfica del problema y permitir modelos complejos. Estos sistemas tienen diferentes funciones, desde capturar datos, cargar y almacenar datos de mapas referenciados geográficamente, para posterior uso de los mismos, analizar y modelar (manipular, sobreponer, medir, calcular y recuperar) los datos espaciales hasta obtener resultados, despliegue de nuevos mapas o resultados en forma tabular (Méndez 2001).

En el caso del manejo de los recursos naturales el SIG tiene una amplia variedad de usos. Estos usos pueden ir desde las etapas iniciales de planificación hasta las etapas de control y seguimiento. La utilización de SIG es importante como herramienta básica para la obtención de datos espaciales, sin embargo, su utilidad se ve limitada por: 1) existencia y disponibilidad de información requerida; 2) capacidad de los programas y equipos, y 3) habilidad y experiencia de quien lo maneja (González 2001). En la actualidad, su aplicación también se ha extendido hacia el desarrollo de herramientas para el Análisis Multicriterio para toma de decisiones, incluyendo el área ambiental.

El análisis multicriterio se ha convertido en una técnica valiosa para lidiar con condiciones multivariadas complejas, en un amplio rango de campos de toma de decisión para el manejo de recursos. Actualmente se experimentan con varias metodologías de análisis con SIG para diversas aplicaciones, desde evaluación de políticas públicas de manejo hasta modelajes de procesos físicos. A pesar de que las técnicas de análisis multicriterio utilizando SIG pueden ser desarrolladas desde manera mecánica y rutinaria, el proceso completo involucra toma de decisiones basadas en

valores de juicio, información que debe ser aportada por diferentes actores interesados en el tema que se este evaluando (Van der Merwe y Lohrentz 2001).

La base de cualquier evaluación multicriterio es la identificación y selección de un apropiado grupo de indicadores. Estos indicadores constituyen el vehículo primario con el cual se determina la condición de un recurso o se juzga su estado de sostenibilidad. La selección de indicadores es inevitablemente una tarea difícil, pues la mayoría de ellos tienden a ser ambiguos. El recomendable que diferentes expertos e involucrados participen en la selección de estos indicadores, para lo cual existen diferentes técnicas: entrevistas , encuestas, talleres, grupos focales entre otras (Mendoza *et al.* 2002).

Un aspecto crítico de tomar en cuenta al utilizar SIG para Análisis Multicriterio, es que puede estar influenciada por la precisión de las fuentes de información a utilizar. Se debe de considerar que no todas las informaciones concuerdan con la realidad, así como también se puede cometer errores a la hora de ubicar datos espaciales digitalmente, obteniéndose resultados errados en algunos casos. Investigaciones realizados por Gerther (2000), demuestran que en estudios de recursos naturales con fuentes de datos SIG, el análisis de imágenes conllevan diferentes fuentes de errores, tales como errores de mapeo, de modelaje, decisión y de medida, siendo el mayor relevancia el error de mapeo.

#### **2.4.4.1 Metodologías para el análisis de procesos en cuencas hidrográficas utilizando SIG**

1. Cordero (1998) desarrolló un modelo cartográfico para determinar las áreas de asignación óptima para el PSA basándose en criterios de presencia de cobertura boscosa, tenencia de la tierra y capacidad de uso de la tierra, así como para determinar áreas prioritarias para el PSA con el fin de hacer más eficiente la asignación de fondos por parte del Estado. Estos modelos fueron desarrollados utilizando herramientas de SIG, con las cuales se combinaron los factores mencionados anteriormente para así determinar las actividades que se pueden promover con el PSA en sus diferentes modalidades: manejo de bosque, reforestación o protección. La priorización del áreas para el PSA fue realizada con criterios adicionales de presencia de Áreas Silvestres Protegidas y Zonas de Recarga Acuífera, y todas las variables fueron ponderadas de acuerdo a su importancia, según resultados de consultas a expertos.

2. Fallas (2002) desarrolló un mapa de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea de Costa Rica, utilizando el modelo de análisis DRASTIC, creada inicialmente por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. La utilización del modelo requirió un trabajo de consulta de expertos por el método Delphi, evaluando las principales variables hidrogeológicas que inciden en la susceptibilidad natural a la contaminación del agua subterránea.

El modelo DRASTIC fue implementado utilizando cartografía digital y el programa ArcView GIS y la extensión Analista Espacial. El modelo generó un índice o puntuación que indica la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas. El estudio se realizó a nivel nacional y por lo tanto el objetivo principal fue delinear aquellas zonas donde el recurso agua subterránea podría ser más susceptible a la contaminación. Este autor encontró que un 25,5% del territorio costarricense posee una vulnerabilidad moderada en tanto que el 51,5% posee una vulnerabilidad alta y un 22,3% una vulnerabilidad muy alta. Asimismo, el autor recalca que no existe información confiable ni actualizada sobre la extensión de los principales acuíferos del país y por tanto la información generada debe considerarse preliminar.

3. Buch (2001) evaluó la vulnerabilidad y el riesgo en la subcuenca Matanzas, en Guatemala, con el objetivo de identificar niveles y áreas con mayor grado de vulnerabilidad y riesgo a desastres, y proponer los mecanismos adecuados para la implementar planes de reducción y mitigación de la vulnerabilidad. En las evaluaciones se emplearon indicadores de vulnerabilidad y amenazas, los cuales se integraron adaptando el programa ALES (Automated Land Evaluation System). Se identificaron y seleccionaron las comunidades 101 comunidades presentes en la subcuenca, de acuerdo a su nivel de riesgo y vulnerabilidad a desastres naturales. Se identificaron también los indicadores de mayor influencia, tanto de carácter social como ambiental. Estos fueron: el nivel educativo, vías de comunicación e intensidad del uso de la tierra.

#### **2.4.4.2 Metodologías para el análisis de áreas críticas en cuencas hidrográficas utilizando SIG**

Para la planificación física de una cuenca, el SIG puede evaluar distintos escenarios, que corresponden a zonas de interés con relación a uno o más fenómenos; además, ayuda a la definición de zonas críticas, caracterizando y cuantificando los recursos naturales existentes en una determinada cuenca. Aquí se pueden contestar interrogantes como: tipo de cobertura, áreas aproximada de cada tipo de cobertura, tipo de suelo y uso

actual, conflictos de uso, riesgo de erosión, red de drenajes, potencial de colonización (Velásquez, citado por González 2001).

Una de las razones básicas por el que se toman las decisiones para manejar las cuencas, es la situación ambiental y los problemas de las áreas críticas. Según Faustino (1996), un área crítica corresponde a situaciones en las cuales existen alteraciones significativas, graves, conflictivas, urgentes de atender, que disminuyen condiciones para el desarrollo social, económico o ambiental, por ejemplo:

- Áreas deforestadas, con quema y erosión, en proceso de aridificación;
- Áreas de sobreuso del suelo, de vocación forestal bajo uso hortícola;
- Distribución de la tierra, generando minifundio y latifundio;
- Tenencia de la tierra, por usuarios sin propiedad;
- Laderas con baja producción y degradación del suelo;
- Zonas de inundación frecuente y problemas de drenaje;
- Áreas con suelos ácidos y superficiales;
- Zonas de pobreza y condiciones marginales;
- Deficiente calidad y cantidad de agua para la población;
- Deficiente calidad y cantidad de agua para las actividades económicas.

La identificación de áreas críticas en una unidad geográfica determinada, presupone un proceso de jerarquización de las mismas, de acuerdo a criterios biofísicos, socioeconómicos e institucionales, a fin de lograr la definición de estas áreas para su respectivo tratamiento; posibilitando la intervención del ser humano, considerando como elemento protagonista del manejo de los recursos naturales y de la tierra. Unos ejemplos sobre estudios efectuados recientemente sobre áreas críticas son:

1. Cabrera (1987), propuso identificar en la cuenca superior del Río Chixoy aquellas áreas consideradas como críticas desde el punto de vista biofísico (causas naturales y antrópicas), cuyo impacto negativo signifique sitios de alto potencial de aporte de sedimentos aguas abajo, mediante reconocimiento de campo, determinación de la capacidad de uso de la tierra y la degradación específica (coeficiente de Fournier). Los resultados fueron adecuados y eficientes para la cuenca, pero la aplicación del coeficiente de Fournier no fue representativo para toda la zona de estudio. En la metodología no se utilizaron variables socioeconómicas.

2. Sáenz (1995), propuso una nueva metodología para identificar áreas críticas de forma rápida en la cuenca del Río Pacuare, utilizando SIG como herramienta clave. Su metodología tenía un carácter básicamente cualitativo, e integró datos biofísicos con datos socioeconómicos. Sus resultados dieron que el diseño metodológico fue suficiente para identificar diferentes niveles de riesgo de degradación, como características cualitativas indicadoras de criticidad.
3. Medina (1995), identificó áreas críticas mediante el uso de SIG en la cuenca del Río Purires, Costa Rica, realizando sobreposiciones de los mapas de uso actual y capacidad de uso. Después determinó los costos de reforestación de las áreas críticas de la parte alta de esta cuenca.
4. Arce (1989), priorizó las cuencas hidrográficas en Guatemala, para el propósito de planificación del desarrollo. Consistió en una agregación condensada de 15 variable biofísicas y 9 variables socioeconómicas las cuales, se combinaron mediante adición de sus respectivos valores transformados a una misma escala referencial y ponderados según su importancia que cada variable tuviera para la priorización. Los valores índices de prioridad obtenidos, se agruparon según su grado de similitud en niveles de prioridad mediante un análisis de cluter.

Se realizaron un análisis de sensibilidad de los resultados y la compatibilización de las unidades regionales establecidas con cuencas regiones propuestas (mediante la técnica de sobreposición de mapas). Como resultado, se identifican las variables más importantes en cada cuenca hidrográfica, se jerarquizan todas las cuencas hidrográficas mayores del país y se determinan 4 niveles de prioridad, identificando las cuencas Samalá, Achiguate y María Linda de las 38 que tiene el país como las cuencas de más alta prioridad, y las cuencas Mopán - Belice, Tikal - Hondo, Moho, San Pedro, Izabal - Río Dulce, Olopa, Temas y Paso Hondo, como las cuencas de más baja prioridad.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del área de estudio

El estudio se desarrolló en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica, la cual se localiza en la Subvertiente Norte del país, en las coordenadas comprendidas entre los 10° 05' y 10° 50' de Latitud Norte y los 83° 52' y 84° 20' de Longitud Oeste. Sus límites geográficos son: la Llanura de Tortuguero, confluencia de los Ríos Sucio y General, los Volcanes Cacho Negro, Barva y Poás, los Cerros de Palmira, Pelón, Volcán Viejo, El Avión y Chaparrón y la Llanura de San Carlos. La cuenca tiene un área de 2 025 km<sup>2</sup> hasta su desembocadura en el Río San Juan, en la frontera con Nicaragua (Figura 2).

#### 3.2 Desarrollo de la metodología

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

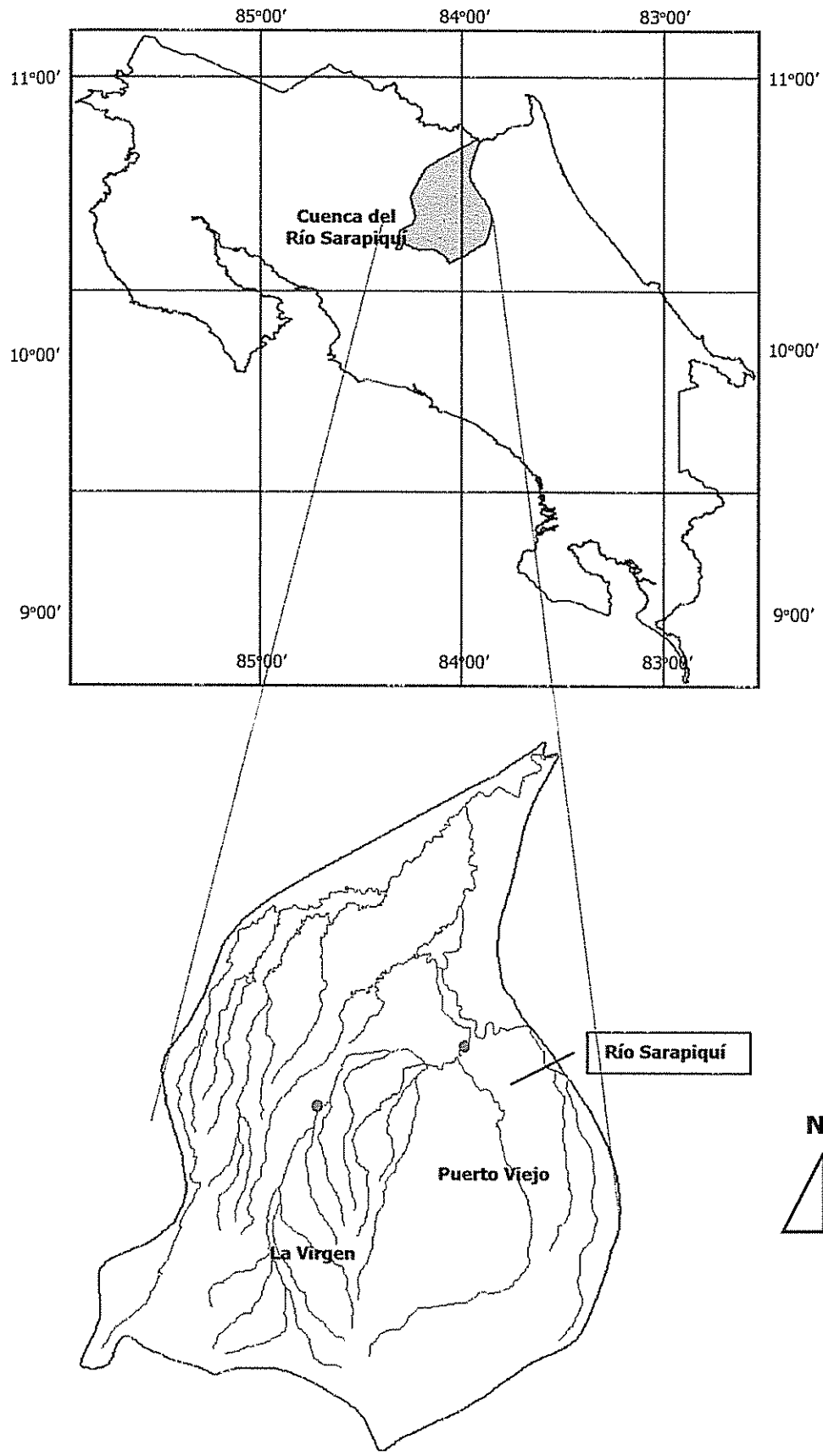
###### i. Caracterización de la cuenca

Se efectuó una descripción detallada de la cuenca como punto de partida del desarrollo del estudio. Esta descripción incluyó tanto aspectos biofísicos como antropogénicos. El detalle de las variables a incluidas en cada grupo de evaluación se presenta en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Variables biofísicas y antropogénicas utilizadas en la descripción de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

Biofísicas	Socioeconómicas	Productivas
Precipitación	Población	Consumo humano
Número de meses secos	Empleo / actividad productiva	Sistemas agropecuarios <ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción pecuaria</li> <li>• Producción agrícola</li> <li>• Producción agroindustrial</li> </ul>
Altitud	Vivienda	Transporte fluvial
Paisaje	Educación	Actividad turística
Zonas de vida	Salud	Hidroenergía
Flora y fauna	Infraestructura vial	
Zonas protegidas	Recursos arqueológicos	
Características hidrológicas	Pago de servicios ambientales	
Características edáficas	Presencia institucional	
	Problemática local	





**Figura 2.** Ubicación geográfica de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

El proceso de generación de esta información incluyó:

- ***Revisión y consulta de información secundaria***

Esta información fue generada por diferentes entes, tales como: el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Organización de Estudios Tropicales (OET), Instituto de Desarrollo Agrario (IDA), Instituto Geográfico Nacional (IGN), Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (AyA), y el Sistema Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) entre otros. La información obtenida de estas fuentes fueron tanto en formato digital como impresa.

- ***Transformación de información digital y desarrollo de base de datos***

Toda la información secundaria recolectada fue transformada a formato digital utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para esto fue necesario utilizar las herramientas del ArcView 3.2a, que permitiesen adaptar y adecuar la información al área que comprende la cuenca del Río Sarapiquí.

La mayoría de la información (sistemas pecuarios, uso del suelo, áreas de conservación, tipo de suelo, áreas protegidas, textura, pendientes, longitud de las carreteras y ríos, asentamientos, precipitación, zonas de vida, meses secos y el pago de servicios ambientales en la cuenca del Río Sarapiquí) requirió de análisis de estadística descriptiva para su transformación y adaptación al área de la cuenca. Esto incluyó medidas de tendencia central y variabilidad e histogramas. Asimismo, se generaron archivos digitales para algunas variables específicas de la cuenca: asentamientos humanos, textura de suelo y pendientes de la cuenca.

En lo referente a la información socioeconómica, se requirió un análisis más detallado, debido a que la información fue obtenida del pasado Censo Nacional (2000), y está disponible solo en un formato de poco proceso, y a nivel de distritos políticos. Esta información se transfirió a una base de datos digital a través de la ponderación de las áreas de los distritos pertenecientes a la cuenca del Río Sarapiquí. Las variables socioeconómicas que sufrieron este proceso fueron: número de habitantes totales de la cuenca, número de habitantes de zonas urbanas y rurales, población económicamente

activa, abastecimiento de agua, número total de trabajadores y los diversos oficios, actividades productivas, y datos relacionados con vivienda, educación y salud.

- ***Validación de la información por fuentes primarias***

Se visitaron áreas claves a lo largo de la cuenca, con el fin de verificar la información recopilada de fuentes secundarias. La información generada mediante las visitas y las fuentes secundarias fue procesada para formar la base de datos digital de la cuenca para la investigación. Con ésta fue posible combinar las diferentes variables para definir los criterios de priorización de áreas de manejo del recurso hídrico en la cuenca, proceso que se detalla más adelante.

## **ii. Identificación y caracterización de usuarios del recurso hídrico**

El objetivo de esta etapa del trabajo fue la determinación y caracterización de los principales usuarios del recurso hídrico en la cuenca de estudio, así como de la estimación cualitativa del beneficio percibido del manejo del recurso hídrico.

La identificación de usuarios fue realizada a dos niveles:

- **Nivel espacial:** se determinó la ubicación de los principales usuarios y las áreas de influencia del uso del recurso dado por el usuario.
- **Nivel temporal:** se identificaron y caracterizaron los usuarios actuales y potenciales del recurso hídrico.

Esta labor se realizó a través de la revisión de la información generada en el punto anterior, y la visita a cada sitio. Los grupos de usuarios identificados en la cuenca fueron: acueductos rurales, sistemas agropecuarios (pecuarios, agrícolas), agroindustrias, hoteles, transporte fluvial, navegación recreativa y producción hidroenergética.

La recopilación de información de los usuarios del agua en la cuenca se realizó a través de una entrevista cualitativa semi estructurada (Anexo 2). Esta entrevista consta de dos secciones temáticas: la primera es referente a la descripción de la actividad productiva, y es específica para cada usuario; la segunda sección es referida a la forma de uso del recurso hídrico por cada tipo de usuario. Los usuarios identificados se entrevistaron para su caracterización, tomando en los cuenta las siguientes aspectos del uso hídrico en la cuenca:

- Tipo de usuario y actividad que realiza
- Tipo de uso del recurso hídrico (consuntivo o no consuntivo, comercial o público);
- Época de uso (permanente o estacional);
- Zona de influencia de uso (puntual o extensiva);
- Forma de administración (estatal, privada, concesión).

La información resultante de las entrevistas fue utilizada para comparar y caracterizar nuevamente los usuarios, identificándose una agrupación de los usuarios diferente en la cuenca: consumo humano, agropecuarios (pecuarios, agrícolas y agroindustrias), transporte fluvial, actividad turística (hoteles y la navegación recreativa) y producción hidroenergética. La agrupación de los usuarios dependió tanto del tipo de uso, como del nivel de intensidad del mismo y de la relación con el manejo del recurso hídrico que garantizará los requerimientos necesarios de uso para los otros beneficiarios del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí.

### **3.2.2 Priorización de zonas para el manejo del recurso hídrico**

Se definieron los criterios de priorización de zonas para el manejo en calidad y cantidad del recurso hídrico de la cuenca del Río Sarapiquí. Estos criterios fueron determinados tanto por aspectos biofísicos como por aspectos sociales, económicos, de administración de recursos, entre otros. El proceso de determinación de criterios consistió de dos etapas.

En la etapa inicial, la investigadora elaboró una propuesta preliminar de criterios de priorización, basada en la revisión y colecta de información de la etapa anterior de la metodología (base de datos y reconocimiento de la cuenca), y a su criterio experto. Posteriormente, en la segunda etapa, estos criterios fueron sujetos a consulta con diversos actores e interesados en el manejo del recurso hídrico de la cuenca, a través de dos herramientas: el taller de expertos y posteriormente la consulta electrónica. En ambos casos, se utilizaron como fuentes de consulta a representantes de diversos sectores relacionados con el recurso hídrico, tales como: líderes locales, representantes de instituciones gubernamentales y no gubernamentales, funcionarios de empresas privadas, administradores de recursos naturales de la zona, e investigadores con experiencia en la zona.

El objetivo del taller de expertos fue la validación de los criterios propuestos por la investigadora, la propuesta de nuevos criterios y la definición conceptual de los criterios.

Al finalizar esta etapa se determinaron nueve criterios de priorización para la calidad del recurso hídrico y cuatro criterios para la cantidad del recurso hídrico para la cuenca del Río Sarapiquí (Cuadro 4a y 4b).

**Cuadro 4a.** Criterios de priorización de zonas para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

1. Precipitación (mm)	6. Proximidad del camino al río (m)
2. Proximidad al río (m)	7. Meses secos (#)
3. Profundidad de pozo (m)	8. Textura del suelo
4. Uso actual del suelo	9. Pendiente (%)
5. Densidad de población (hab / km <sup>2</sup> )	

**Cuadro 4b.** Criterios de priorización de zonas para el manejo de la cantidad aprovechable del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

1. Precipitación (mm)
2. Meses secos (#)
3. Textura del suelo
4. Pendiente (%)

Asimismo, se utilizó el criterio de los expertos (por medio de consulta electrónica) para realizar un análisis multicriterio, donde se valoraron los criterios de priorización por medio de dos vías, es decir, las asignación de categorías de valor dentro de cada criterio, y la ponderación entre criterios (Anexo 3). La valoración dentro de cada criterio se realizó con número enteros donde, el valor más bajo indica menor importancia en el manejo del recurso hídrico, en relación a un valor que determina mayor atención en el manejo del mismo recurso. Cada criterio posee su propia escala de priorización (del 1 al 5), siempre tomando en cuenta que la valoración va en forma creciente de importancia de manejo del recurso hídrico, tanto para la calidad como la cantidad aprovechable.

Asimismo, como el modelo utilizado en el análisis fue a través de una doble vía, se requirió de la ponderación entre los mismos criterios. Se le asignó un valor del 1 al 100 según la importancia de los mismo, donde el valor más alto responde al criterio más importante y así sucesivamente con los restante criterios hasta sumar un total de 100.

La información de la consulta electrónica a los expertos para la valoración entre y dentro de los criterios de priorización para la calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico de la cuenca, se sometió a un análisis multicriterios por parte de la investigadora

obteniéndose una lista general de criterios con sus respectivas valoraciones, para posteriormente ser sometida a un análisis espacial por medio de las herramientas del Model Builder.

Con los criterios definidos, validados y valorados, se procedió a utilizarlos como parte del análisis de definición de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico dentro de la cuenca del Río Sarapiquí, a través del análisis multicriterios con el uso de herramientas de modelaje de ArcView. Los mapas digitales utilizados y transformados para la calidad del recurso hídrico fueron nueve: precipitación, proximidad al río, profundidad de pozo, uso actual del suelo, densidad de población, proximidad del camino al río, meses secos, textura y pendiente. Los utilizados para la cantidad aprovechable del recurso hídrico fueron cuatro: precipitación, meses secos, textura y pendiente.

La herramienta utilizada fue el Model Builder, que forma parte de las herramientas de análisis espacial (Spatial Analyst) de ArcView 3.2a. Primeramente, fue necesario transformar las capas de información iniciales de formato vectorial a *raster* ó *cuadrícula*, utilizando la operación "convert to grid" dentro del programa ArcView. En esta etapa se definieron los niveles de resolución de las imágenes (píxeles de 25 x 25 m).

Una vez construidas las capas de información en 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 que considera la cantidad aprovechable del agua. En cada proyecto se construyó un diagrama que especifica la guía de trabajo para el análisis a través del Model Builder (Figura 12 y 13).

El procedimiento de modelaje con Model Builder contó con varias etapas especificadas a continuación:

- Introducción de cada capa de información a manera de imágenes (nueve en la calidad y cuatro en la cantidad) en el modelo digital;
- Creación de las categorías de valoración para cada capa de información (criterios), que corresponden a los niveles dentro de cada criterio;
- Introducción de los atributos que describen cada capa de información;
- Construcción de la tabla general de criterios de priorización, donde se incorporaron los resultados de la valoración dentro de criterios y la ponderación entre criterios de la consulta a expertos para todos los criterios o capas de información (Anexo 8a y 8b);

- Se corrió el modelo propiamente, que relacionó la información espacial y la codificación de la tabla general de criterios de priorización con sus respectivas valoraciones, tanto para el proyecto de calidad, como para cantidad del recurso hídrico.

El resultado del análisis espacial con Model Builder fue la generación de dos mapas y sus respectivas bases de datos de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico de la cuenca del Río Sarapiquí: un mapa con las áreas prioritarias de manejo de la calidad del recurso hídrico y otro con las áreas prioritarias de manejo de la cantidad aprovechable del recurso hídrico.

Se generó un escenario (con su respectiva base de datos) de recuperación de la cobertura vegetal de las orillas de los ríos de la cuenca del Río Sarapiquí, como medida de manejo. Se creó el buffer de las áreas reforestadas partiendo del supuesto que en los próximos años se reforestarán (200 m) en ambos lados de la orillas de todos los ríos y se sobrepuso sobre la capa de información del uso actual del suelo utilizada en la confección del mapa de áreas prioritarias para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí (Mapa 7). La nueva capa de información se reemplazó por la utilizada en la determinación de las áreas prioritarias de manejo de la calidad del recurso hídrico (Figura 18), conservándose los demás criterios de priorización con sus respectivas valoraciones. Se determinó que la reforestación tendrá un efecto de cobertura similar al bosque secundario, por tanto se mantuvo la misma tabla general de criterios en el diagrama de calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí (Anexo 8a). 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 del Río Sarapiquí.

La caracterización de la cuenca y de los usuarios, complementada con la priorización de áreas de manejo de recurso hídrico, tanto de calidad como cantidad y el de calidad del recurso hídrico bajo el escenario de recuperación de la cobertura vegetal de las orillas de los ríos, se resumen en el cuadro 5. Esta información permitirá en estudios posteriores a este, identificar mecanismos de compensación a los pobladores de la cuenca por la labor que se realice en beneficio del manejo y protección de la cuenca del Río Sarapiquí.

**Cuadro 5.** Fases, etapas y participantes de la metodología de priorización de áreas para el manejo de la calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

Fase	Etapas	Participantes
I. Selección de la cuenca	Preparación del anteproyecto de investigación	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) e Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)
II. Caracterización de la cuenca del Río Sarapiquí	Revisión y consulta de información secundaria	CATIE, Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE), Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Organización de Estudios tropicales (OET), Instituto de Desarrollo Agrario (IDA), Instituto Geográfico Nacional (IGN), Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (AyA), Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR), y Sistema Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA)
	Aspectos biofísicos	ITCR, ICE, MAG, CATIE y SENARA
	Aspectos antropogénicos	INEC, ICE, CATIE, FONAFIFO, OET, FUNDECOR, Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), Asociación ANDAR de Costa Rica, Centro Nacional de Acción Pastoral (CENAP), Ministerio de Educación Pública (MEP) y Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS)
	Validación de la información por fuentes primarias	CATIE, ICE, FUNDECOR, municipalidad de Puerto Viejo de Sarapiquí, sistemas de producción y pobladores de la cuenca
III. Identificación y caracterización de los principales usuarios del recurso hídrico	Agropecuarios (pecuarios, agrícolas y agroindustriales)	Entrevistas a 25 sistemas de producción pecuario, 15 sistemas de producción agrícola y 9 agroindustrias (Beneficio de CoopeSarapiquí, Naranja o Tropicales S.A., Frutas Tropicales, El Ángel, Santa Clara, Corsicana, Tropi Frost, Hacienda La Linda, y Vivero forestal de Manuel Hernández)
	Transporte fluvial	Entrevistas a 10 transportistas fluviales



	Consumo humano	Entrevistas a 4 acueductos rurales (Puerto Viejo, San Miguel, Horquetas y La Virgen de Sarapiquí) y AYA
	Producción hidroenergética	Entrevista al ICE (hidroeléctricas Toro I y II e hidroeléctrica Cariblanco) y P. H. Don Pedro S. A. y P. H. Doña Julia R. L.
	Actividad turística (hoteles y navegación recreativa)	Entrevista a 15 hoteles (La Quinta Sarapiquí Country Inn, Bosque de la Paz Lodge, El Bambú, Gavián Sarapiquí River Lodge, Sueño Azul Resort, Rara Avis Lodge, Selva Verde Lodge, La Paz Watershed, Ara Ambigua, Tirimbina Rainforest Center, La Finca Lodge, Centro Neotrópico Sarapiquí, Estación Biológica La Selva, Cabina Tía Rosita y Cabina Jenny) Entrevista a 5 operadores turísticos (Ríos Tropicales, Aventuras Naturales, Costa Rica Expedition, Aguas Bravas y Sarapiquí Out Door Center)
IV. Definición de criterios de priorización de manejo del recurso hídrico	Propuesta preliminar de criterios de priorización	Investigadora
V. Priorización de áreas para el manejo de la calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico	Consulta a expertos para la validación y valoración de criterios de priorización (taller y consulta electrónica)	1 economista ambiental (CATIE), 2 líderes locales de San Miguel de Sarapiquí y Puerto Viejo, presidente de la Cámara Turística de Sarapiquí (CATUSA), 1 representante del departamento de cuencas del ICE en Sarapiquí, 2 geólogos (CATIE e INEC), 1 especialista en sistemas de información geográfica (CATIE), director ejecutivo Centro Científico Tropical (CCT), director de investigaciones y planificación de FUNDECOR, 1 representante de FONAFIFO, 1 hidrólogo de la UNA, y 1 representante del SENARA
	Modelaje en sistemas de información geográfica, por medio del análisis multicriterios, con las herramientas del Model Builder	Investigadora y asesores

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Caracterización de la cuenca del Río Sarapiquí**

La cuenca del Río Sarapiquí se localiza en la subvertiente Norte del país, Vertiente Caribe, entre los 10° 05' y 10° 50' de Latitud Norte y los 83° 52' y 84° 20' de Longitud Oeste. Limita con las Llanuras de Tortuguero y San Carlos, confluencia de los Ríos Sucio y General, los Volcanes Cacho Negro, Barva, Poás, y los Cerros de Palmira, Pelón, Volcán Viejo, El Avión y Chaparrón. Se ubica dentro de las hojas cartográficas: Cutris, Trinidad, Chaparrón, Chirripó Atlántico, Aguas Zarcas, Río Cuarto, Río Sucio, Quesada, Poás, Guápiles y Barva, en la escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN 1966).

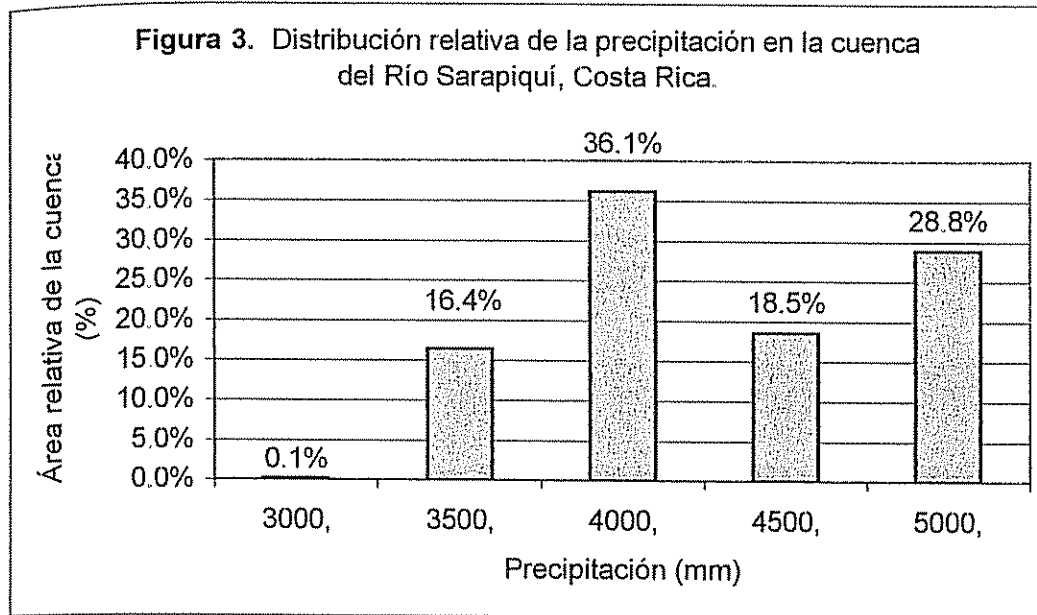
Esta cuenca, tiene una extensión de 2 025 km<sup>2</sup>, desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Río San Juan, frontera con Nicaragua. Cubre aproximadamente el 3,96% del territorio nacional. El rango altitudinal que abarca la cuenca es desde los 2 700 msnm hasta los 10 msnm (desembocadura en el Río San Juan). Cuenta con una población de 51 454 habitantes.

#### **4.1.1 Características biofísicas**

##### **i. Precipitación**

La cuenca del Río Sarapiquí, se caracteriza porque su clima es tropical lluvioso, sin una marcada variación estacional. En ella se presentan nueve meses de intensa precipitación (mayo a febrero), con variaciones en el total anual que van desde los 3 000 mm a 5 000 mm. La temperatura promedio de la cuenca se encuentra entre los 25 y 30 °C.

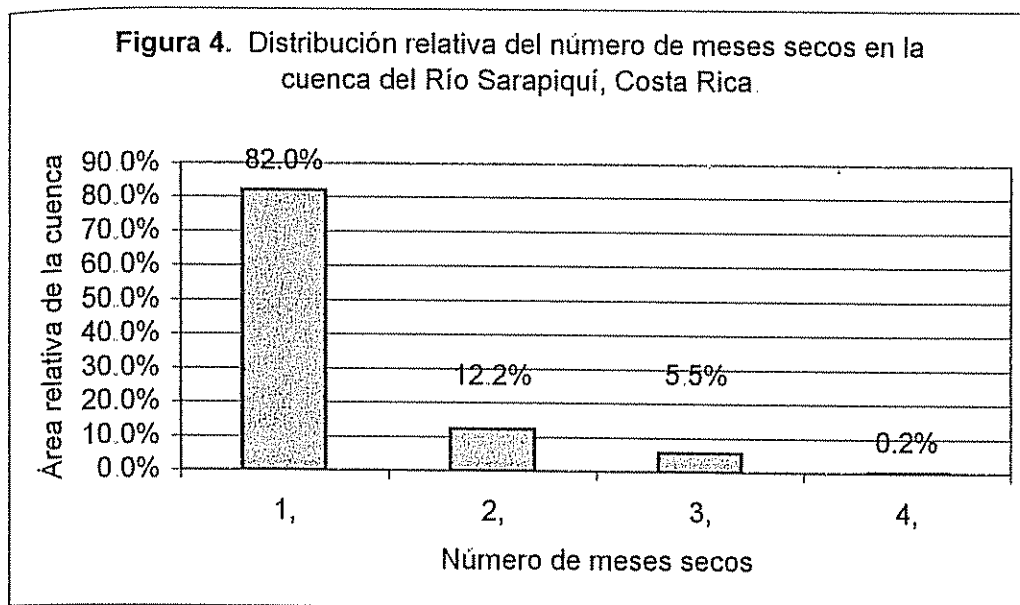
La parte alta de la cuenca presenta los valores más bajos de precipitación (3 000 mm); conforme se desciende incrementa la cantidad, hasta obtenerse los valores más altos en la cuenca media (5 000 mm). Conforme se continúa el descenso en la cuenca, inicia un nuevo descenso de la precipitación llegando a la parte baja con precipitaciones promedio anuales de 3 000 mm (Figura 3 y Mapa 1 del Anexo 1).



**Fuente:** Instituto Tecnológico de Costa Rica (2000).

## ii. Meses secos

La cuenca del Río Sarapiquí climáticamente se caracteriza por una variabilidad de meses secos. En la parte alta de la cuenca se presentan de dos hasta cuatro meses secos al año, mientras que la parte media y baja presenta un mes seco al año, equivalente a un 82.0% del porcentaje total de la cuenca (Figura 4).



**Fuente:** Instituto Tecnológico de Costa Rica (2000).

### iii. Altitud

La altitud de la cuenca del Río Sarapiquí varía desde los 2 700 msnm hasta los 10 msnm; en las partes más altas se encuentran los límites de Parque Nacional Braulio Carrillo, y las más bajas con la desembocadura en el Río San Juan. En la parte alta se pueden encontrar altitudes que van desde 2 700 msnm hasta 500 msnm. La parte media de la cuenca se encuentran altitudes desde 500 msnm hasta 100 msnm, y la parte baja su altitud es de 100 msnm hasta 10 msnm, con pequeños parches con altitud de 200 msnm (Mapa 1 del Anexo 1).

### iv. Paisaje

La cuenca se caracteriza por presentar diversos tipo de relieve, planicies, faldas de cordillera, llanuras bajas, declives de ondulado a accidentado con valles y lomas y un relieve montañoso con crestas y picos (Trivelato 1997). Se identifican las siguientes unidades paisajísticas:

- a. Cañón del Río Sarapiquí
- b. Láminas de Agua
  - Laguna María Aguilar
  - Laguna Hule
- c. Zonas planas

- d. Componentes Singulares Naturales
  - Salto La Paz
  - Salto San Fernando
  - Salto del Río Santiaguito
  - Salto del Río Sanguijuela
- e. Complejo volcánico
  - Cerro Congo
  - Volcán Poás
  - Volcán Barva

#### v. Zonas de vida

En la cuenca se localizan nueve zonas de vida, las cuales son un conjunto de ámbitos específicos de los factores climáticos principales, constituido por la biotemperatura, precipitación y la humedad, los cuales caracterizan una condición ambiental particular para un área geográfica determinada (Holdridge 2000). En la parte alta de la cuenca se encuentran tres zonas de vida predominantes ubicadas horizontalmente en el gradiente altitudinal: bosque muy húmedo tropical transición a premontano, bosque pluvial premontano y bosque pluvial montano. En la parte media y baja de la cuenca predomina el bosque muy húmedo tropical, con pequeñas zonas de bosque muy húmedo premontano transición a basal (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Zonas de vida según Holdridge presentes en la cuenca del Río Sarapiquí, distribuidas según su presencia relativa.

Zona de vida	Porcentaje del área (%)
Bosque muy húmedo premontano transición a basal (bmh-P6)	14,6
Bosque muy húmedo tropical (bmh-T)	44,7
Bosque muy húmedo tropical transición a premontano (bmh-T12)	11,0
Bosque pluvial premontano (bp-P)	15,6
Bosque pluvial montano bajo (bp-MB)	12,0
Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB)	0,9
Bosque pluvial montano (bp-M)	0,8
Bosque húmedo tropical transición a prehumedo (bh-T2)	0,0
Bosque pluvial montano transición a montano bajo (bp-M6)	0,3

**Fuente:** Instituto Tecnológico de Costa Rica (2000).

## vi. Flora y Fauna

En la cuenca del Río Sarapiquí se han identificado 521 especies vegetales diferentes: 246 árboles, 113 hierbas, 92 arbustos, 33 helechos, 18 bejucos-lianas y 14 palmas. De la fauna registrada se presentan 194 especies de aves, 36 mamíferos, 17 peces y 36 anfibios y reptiles.

Entre las especies de flora en peligro de extinción o amenazadas se incluyen cuatro familias de helechos arborescentes, además *Dussia macrophyllata* (sangregao), *Platymiscium pinnatum* (cristóbal), *Minquartia guianensis* (manú); entre la fauna: *Puma concolor*, *Leopardus pardalis*, *Leopardus wiedii* (caucel), *Panthera onca* (jaguar), *Bassaricyon gabbii* (martilla), *Dasyprocta punctata* (guatusa), mono congo (*Alouatta palliata*), mono carablanca (*Cebus capucinus*), *Tinamus major* (tinamú), *Buteogalus urubiting*, *Penelope purpurascens* (pava crestada), *Ara ambigua* (lapa verde), *Eurypyga helias* (garza del sol), *Lophornis helenae*, (colibrí), *Trogon aurantiiventris*, *Deconychura longicauda* (ICE 2001b).

## vii. Zonas protegidas

En la cuenca del Río Sarapiquí, se encuentran tres áreas de conservación administradas por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE):

- Área de Conservación Arenal - Huetar Norte (ACA-HN) (8,1% del área).
- Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACCV) (91,9% del área).
- Área de Conservación Tortuguero (ACTO) (menos del 0,1% del área).

Dentro de la cuenca se encuentran diez áreas silvestres protegidas, pertenecientes a cinco diferentes categorías de protección (Cuadro 7 y Mapa 2 del Anexo 1).

**Cuadro 7.** Áreas de conservación y áreas silvestres protegidas ubicadas en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

Área de Conservación	Áreas silvestres protegidas	Área representada en la cuenca (%)
ACA - HN	Refugio Nacional de Vida Silvestre	0,9
	Parque Nacional Juan Castro Blanco	6,1
ACCCV	Zona Protectora La Selva	4,3
	Parque Nacional Braulio Carrillo	49,1
	Refugio Mixto de Vida Silvestre Bosque Alegre	1,5
	Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central	25,7
	Parque Nacional Volcán Poás	10,6
	Zona Protectora de Río Toro	1,6
	Zona Protectora El Chayote	0,1
	Reserva Forestal Grecia	0,0
ACTO		

**Fuente:** Instituto Tecnológico de Costa Rica (2000).

#### 4.1.2 Características hidrológicas

La parte alta de la cuenca se presenta, dominada por bosques primarios, donde existen cataratas y rápidos. El bosque ripario es abundante en plantas epifitas, palmas y helechos. En esta zona el potencial de arrastre del río es muy alta, por lo tanto en el cauce se observa la presencia de grandes bloques rocosos (ICE 2001b).

En la cuenca media, el cauce es de carácter transicional, se reduce la pendiente, por lo tanto no se observa encajonamiento, sin embargo, aún se observan rápidos. Las áreas aledañas son más alteradas, por la actividad ganadera, áreas de cultivo, granjas avícolas y el urbanismo. A la altura de La Virgen, el terreno presenta zonas planas, la escorrentía es de tipo laminar, con algunos sectores con turbulencia y el sustrato es más fino (grava y arena) y también se nota mayor deposición de sedimentos en suspensión, que han sido arrastrados a través de su recorrido (ICE 2001b).

En la cuenca baja, la pendiente es plana y el río mantiene un corriente continua y con poca turbulencia. En esta parte del río se acumulan los desechos de los sistemas productivos y zonas urbanísticas, así como una gran cantidad de material de troncos, hojas y basura arrastrados por el río en todo su trayecto. En las áreas aledañas se encuentran grandes extensiones de cultivo de banano, plátano y ganadería de doble propósito.

La red de hidrológica de la cuenca del Río Sarapiquí abarca un total de 703,6 km, conformada por una corriente principal a la cual se le denomina Río Sarapiquí (cuya longitud es de 107,8 km desde la región en que emerge hasta su desembocadura); ésta tiene 18 afluentes importantes (longitud total de 529,7 km), que van incrementando su caudal; San Juan, Toro, Cuarto, Sardinal, Caño Negro, Saíno, San Rafael, Santo Domingo, Peje, Sucio, Mojón, Volcán, Tirimbina, Santiaguito, Hule, Carmen, Cariblanco, San Fernando, María Aguilar, Ángel, La Paz, La Paz Grande, La Paz Pequeña, Puerto Viejo, San Ramón, Tercero, Bijagual y Pozo Azul (Mapa 5 del Anexo 1).

Asimismo se registran unas 16 cauces pequeños (quebradas), cuya longitud es de 66,2 km, las cuales son: Sonora, Murciélago, Grande, Ten Fé, Piedras, Cascajal, Arrayanes, Quicuyal, La Mona, Volcancito, Quelital, Ceiba, Negra, Pulga, Caño Empujón y Fonseca.

Las aguas subterráneas son propias de acuíferos fisurales desarrollados en flujos volcánicos, con pequeñas manifestaciones en manantiales de baja producción, se presenta uno de carácter regional, y otros de tipo colgado, por el origen y comportamiento no caracterizado de estos acuíferos, su cartografiado es de difícil delimitación (ICE 2001b).

La profundidad a la cual se encuentra el agua subterránea es una variable que indica la disponibilidad del agua para sus diferentes usos. Según la información brindada por SENARA, en la cuenca del Río Sarapiquí se registran 99 pozos, ubicados principalmente en la cuenca media, especialmente en las comunidades de Puerto Viejo, Horquetas y la Virgen de Sarapiquí (Mapa 6 del Anexo 1). Los pozos se localizan entre los 20 m hasta los 135 m de profundidad, los cuales son utilizados para labores de riego, uso domésticos y servicios públicos, industriales, uso urbanístico, abastecimiento público, empresas agroindustriales y abrevaderos, entre otros.

En la cuenca del Río Sarapiquí, instituciones como el ICE, AyA y el SENARA, llevan aproximadamente 31 registros de medición de los aforos (entre ríos y cauces pequeños). Su medición va desde los 30 msnm hasta los 2 000 msnm, la mayoría ubicados en la cuenca alta, y en menor proporción en la media. Según datos del PNUMA (1997), en la estación de aforo de Puerto Viejo se ha registrado un caudal promedio anual de 113,1 m<sup>3</sup>/s para el Río Sarapiquí, en un período de 25 años (1968 a 1993). El mismo estudio, indica que se ha calculado que para las estaciones de Puerto



Viejo y Veracruz, la sedimentación sobre el Río Sarapiquí, fue del orden de las 216 ton/km<sup>2</sup>/año.

El Río Sarapiquí, en su recorrido va paralelo a la carretera principal, a escasos metros de las zonas urbanizadas y los sistemas productivos. El acceso con que cuentan los pobladores y turistas a las márgenes de los ríos, como medio de transporte y de sustento, ha ocasionado una alta explotación de los recursos naturales en las riberas de los ríos, mayormente en la parte media y baja de la cuenca.

En la cuenca del Río Sarapiquí, la calidad del agua es considerada aceptable desde el punto de vista físico y químico. No obstante cuando, en lo referente a calidad biológica (coliformes totales, fecales y potabilidad), presenta un alto grado de contaminación bacteriana (coliformes totales > 3 000 / dl), lo que hace que el agua no sea potable (ICE 2001b).

#### **4.1.3 Características edáficas**

##### **i. Geología y geomorfología**

La cuenca del Río Sarapiquí, está constituido geológicamente por materiales de los periodos Terciario y Cuaternario, siendo las rocas volcánicas del Cuaternario predominantes en la cuenca. Las volcánicas, de las épocas Pleistoceno y Holoceno constituyen la mayor parte de la superficie de la cuenca. La cuenca presenta dos unidades geomórficas, denominadas de forma de sedimentación aluvial y de origen volcánico, ubicados dentro de las subunidades conocidas como Llanuras Aluviales de San Carlos y Abanico Aluvial del Río Chirripó Sucio (Mora 1994). Las formaciones geológicas más representativas se describen en el Cuadro 8.

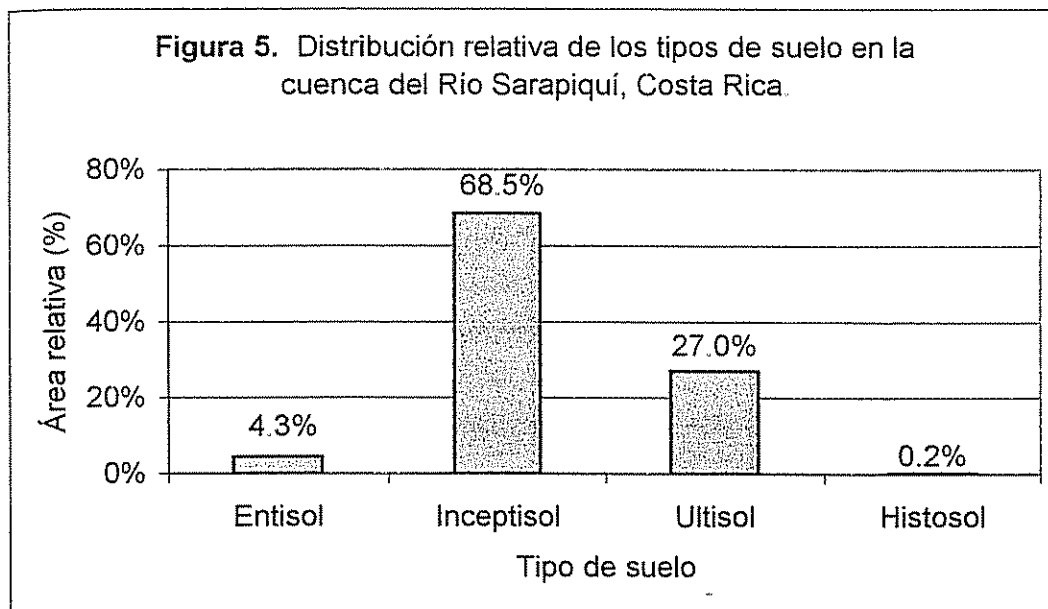
**Cuadro 8.** Formaciones geológicas más representativas de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

<b>Tipo</b>	<b>Características</b>	<b>Composición</b>
Qs	Depósitos aluviales y coluviales del Cuaternario.	Depósitos de deslizamientos, fanglomerado, pantanoso y playa. Depósitos superficiales.
Qvd	Son facies distales de rocas volcánicas recientes, provenientes del Cuaternario.	Depósitos de lahar. Rocas volcánicas intrusivas someras.
Qtvig	Son volcánicas del intergrabén, de las edades del Cuaternario y Plioceno.	De las coladas de lava rocas piroclásticas muy alcalinas. Rocas volcánicas intrusivas someras.
Qvp	Son facies proximales de rocas volcánicas recientes, también del Cuaternario.	De las coladas de lava, aglomerados, lahar y ceniza volcánica. Rocas volcánicas intrusivas someras.

**Fuente:** Instituto Tecnológico de Costa Rica (2000).

## ii. Tipo de suelo

Basados en información brindada por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (2000) y Atlas Agropecuario de Costa Rica (1994), en la cuenca del Río Sarapiquí los suelos son definidos por los ordenes de Entisoles, Inceptisoles, Ultisoles, Histosoles representando un 4,3%, 68,5%, 27,0% y 0,2% respectivamente (Figura 5 y Mapa 4). La descripción de los diferentes subórdenes y grandes grupos presentes en la cuenca se adjuntan en el Anexo 4.



**Fuente:** Instituto Tecnológico de Costa Rica (2000).

Los suelos entisoles se encuentran en una muy baja proporción en la cuenca, en la parte media - alta de la misma. Son de origen reciente, con poco desarrollo de horizontes, en el que solo hay un epipedón ócrico (amarillento) u horizonte mínimo por acción del ser humano. Están constituidos principalmente por suelos localizados en un relieve muy escarpado, donde la roca madre aflora a muy poca profundidad.

Los suelos inceptisoles se encuentran distribuidos en casi toda la parte media - alta de cuenca. Son suelos con un desarrollo reciente que tiene un horizonte úmbrico u ócrico, profundos, bien drenados, permeables, de textura media a moderadamente pesada, su fertilidad es alta a moderadamente baja; con un horizonte B cámbico (apenas se forma un B), sin otro horizonte diagnóstico.

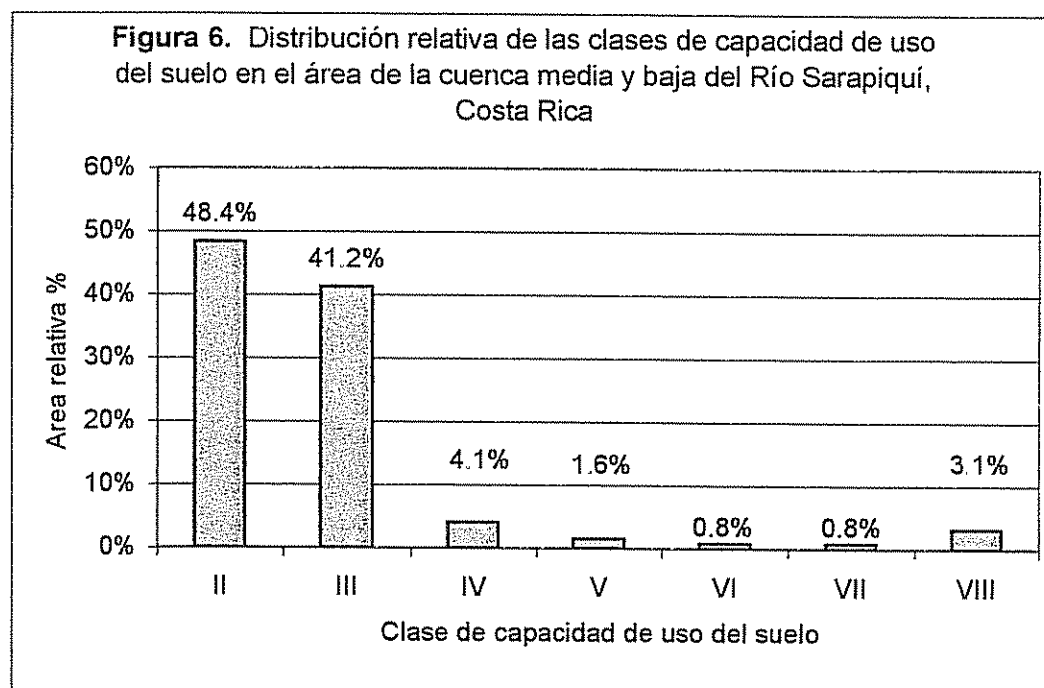
Los suelos ultisoles se encuentra mayormente en la cuenca baja y en una sección en la parte media de la misma. Son profundos, arcillosos, moderadamente ácidos, de colores rojizos, muy susceptibles a la erosión (si se trabaja con cultivos limpios), con un horizonte argílico (20% de aumento en el contenido de arcillas en la sección de control) con menos de un 35% de saturación de bases en la sección de control general.

Los suelos histosoles son suelos con más de un 30% de materia orgánica hasta los 40 cm de profundidad, presentan problemas de drenaje que no permiten la descomposición de la materia orgánica. Están casi ausentes en la cuenca.

### iii. Capacidad de uso del suelo

En la cuenca alta del Río Sarapiquí los suelos son de topografía irregular, con altas precipitaciones, en su mayoría de aptitud forestal. Por otro lado, en la cuenca media y baja los suelos poseen potencial agrícola. Sin embargo, presentan limitaciones que van de leves a moderadas, solas o combinadas, que restringen la elección de los cultivos, presentando riesgo de erosión, por lo que requieren de técnicas apropiadas de manejo y conservación de los suelos.

Se identificó la capacidad de uso de la cuenca media y baja del Río Sarapiquí, utilizando la información proporcionada por el MAG (2002). Se utiliza el sistema de clasificación de capacidad de uso del suelo del MAG (Anexo 5); las clases mayormente representadas en la sección analizada de la cuenca son la II y III, con porcentajes de 48,4% y 41,2% respectivamente. Las demás clases presentes están representadas en menor cantidad (Figura 6).

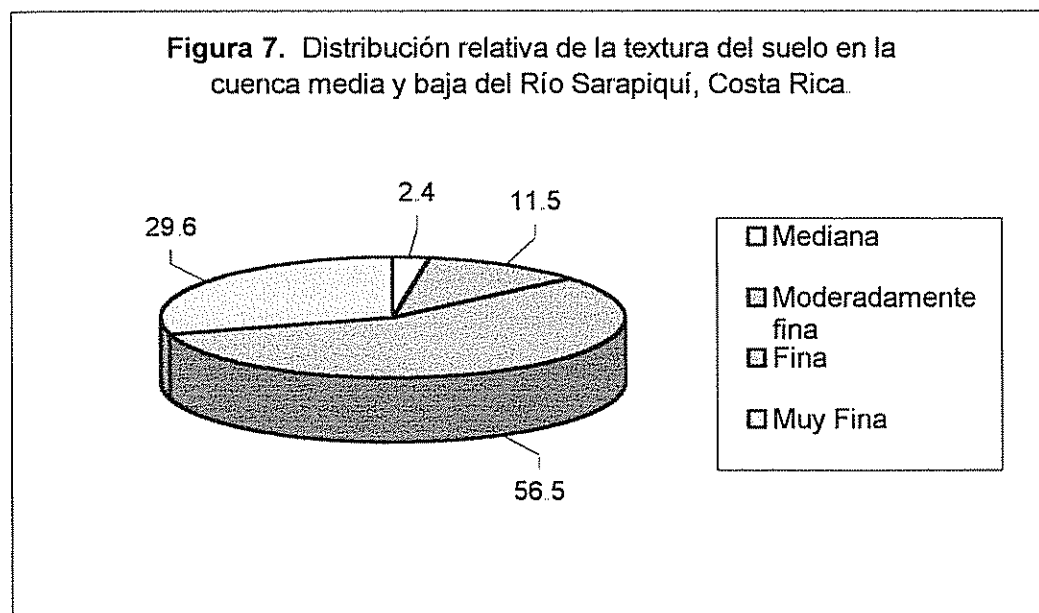


**Fuente:** Ministerio de Agricultura y Ganadería (2002).

### iv. Textura

La textura, es la proporción relativa entre los tamaños de las partículas de la fracción fina del suelo, a saber: arcilla, limo y arena. En la cuenca alta del Río Sarapiquí no se

encontraron registros de textura, debido a que la mayor parte de este territorio se encuentra ocupado por el Parque Nacional Braulio Carrillo, donde usualmente no se hace levantamiento de información digital. Las texturas consideradas en la cuenca media y baja del Río Sarapiquí son: medianas (suelos franco arenosa fina, franca, franco limosa o limosa), moderadamente finas (suelos arenosa franco fina, franco arenosa, media y gruesa o franco arcillosa, franco arcillo limosa, franco arcillo arenosa), finas (menos del 60% de arcilla y pueden ser arcillo arenosa ó arcillo limosa) y muy finas (con más del 60% de arcilla). Las clases texturales se distribuyen casi homogéneamente en la cuenca media y baja, predominando la textura fina con una proporción 56,5%, además de las muy finas, moderadamente finas y medianas con porcentajes de 29,6%, 11,5% y 2,4%, respectivamente (Figura 7).



**Fuente:** elaboración propia.

#### v. Pendientes

El Río Sarapiquí, muestra grandes diferencias a lo largo de toda su trayectoria, con una pendiente muy pronunciada en su parte más alta, lo que lo hace bajar rápidamente, luego en la cuenca media continúa su descenso en forma menos abrupta, hasta llegar a convertirse en un río sereno y navegable en la mitad de la cuenca media hasta su desembocadura en la cuenca baja en el Río San Juan (ICE 1999). En la cuenca alta del Río Sarapiquí no se encontraron registros de pendientes, debido a que la mayor parte de este territorio se encuentra ocupado por el Parque Nacional Braulio Carrillo, donde

usualmente no se hace levantamiento de información digital. En la cuenca media y baja, casi la mitad presentan pendientes con característica planas 45,3% equivaliendo a 463,3 km<sup>2</sup> (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Distribución relativa de pendientes del suelo en el área de la cuenca media y baja del Río Sarapiquí, Costa Rica.

<b>Pendiente</b>	<b>Categoría pendiente (%)</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentaje área (%)</b>
Plano o casi plano	0 - 3	463,3	45,3
Ligeramente ondulado	3 - 8	305,6	29,9
Moderadamente ondulado	8 - 15	202,6	19,8
Ondulado	15 - 30	41,4	4,1
Fuertemente ondulado	30 - 50	8,0	0,8
Escarpado	50 - 75	1,6	0,2

**Fuente:** elaboración propia.

#### **vi. Uso del suelo**

La cobertura predominante en la cuenca del Río Sarapiquí es la boscosa (54,7% del área) (ITCR 2000). Sin embargo, 51,4% de esta cobertura se encuentra dentro de las áreas silvestres protegidas, y bajo la condición de bosques continuos, ubicados en la parte alta de la cuenca. El restante 48,6% se distribuye en la parte media y baja de la cuenca, y su condición de alta fragmentación, en parches de diferentes tamaños rodeados de usos antropogénicos, y en muchos casos con alto grado de alteración (casi un 30% del bosque fue catalogada como secundario en 1992) (Mapa 3 del Anexo 1). En el resto del área se presenta un mosaico de usos, donde destaca el pasto y la agricultura (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Distribución relativa del área según los diferentes usos del suelo para 1992, en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

Uso del suelo	Km <sup>2</sup>	Porcentaje área (%)
Laguna / embalse	4,0	0,2
Urbanístico	1,6	0,1
Terrenos rocosos	4,2	0,2
Bosque intervenido	280,3	13,8
Charral / tacotal	96,1	4,7
Pasto	274,4	13,5
Bosque secundario	418,3	20,6
Bosque natural	847,0	41,9
Pasto y agricultura	40,0	2,0
Cultivo anuales	6,1	0,3
Cultivos permanentes	53,0	2,6

**Fuente:** Instituto Tecnológico de Costa Rica (2000).

#### 4.1.4 Características socioeconómicas

##### i. Población

La cuenca de estudio presenta poblaciones con características particulares en la conformación de su identidad regional que responden de acuerdo al proceso de poblamiento experimentado, a las diferentes condiciones ecológicas y geográficas de la región y a las tendencias productivas desarrolladas en cada área de la cuenca. De esta manera, tanto factores ambientales como procesos de desarrollo antrópicos (red vial, centros proveedores de servicios, tendencias productivas) han influido en la diferenciación de las poblaciones de las zonas altas con relación a los grupos humanos que viven en las tierras bajas del Atlántico (ICE 2001b).

La cuenca abarca las regiones Huetar Norte, Central y Huetar Atlántica, representando ellas un 21,4%, 78,4% y 0,17% de su área, respectivamente. Además, comprende 26 distritos de 13 cantones, pertenecientes a cuatro diferentes provincias (Cuadro 11 y Mapa 6 del Anexo 1).

**Cuadro 11.** Área y población de los distritos de la cuenca del Río Sarapiquí, con sus respectivos cantones y provincias de Costa Rica.

Provincia	Cantón	Distrito	Área (km <sup>2</sup> )	Población
San José	Vásquez de Coronado	Dulce nombre de Jesús	3,0	411
Alajuela	Alajuela	Sabanilla	8,0	1 550
		Sarapiquí	114,0	2 493
	Grecia	San Isidro	0,8	231
		San Roque	0,3	98
		Río Cuarto	255,5	7 744
		Bolívar	0,6	123
	Naranjo	Cirrí Sur	0,5	65
		San Jerónimo	0,0	4
	Poás	San Juan	2,2	507
		Sabana Redonda	2,3	248
	San Carlos	Venecia	26,7	1 490
		Pital	30,5	988
	Alfaro Ruiz	Palmira	7,2	309
Valverde Vega	Sarchí Norte	0,0	1	
	Toro Amarillo	77,8	252	
	San Pedro	0,1	33	
Heredia	Heredia	Vara Blanca	190,9	511
	Barva	San José de la Montaña	0,1	8
	San Rafael	Los Ángeles	1,5	491
	Sarapiquí	Puerto Viejo	214,9	8 157
		La Virgen	513,8	7 648
		Horquetas	495,2	17 575
		Llanura de Gaspar	0,0	0
Cureña	76,8	158		
Limón	Pococí	Guápiles	3,5	363

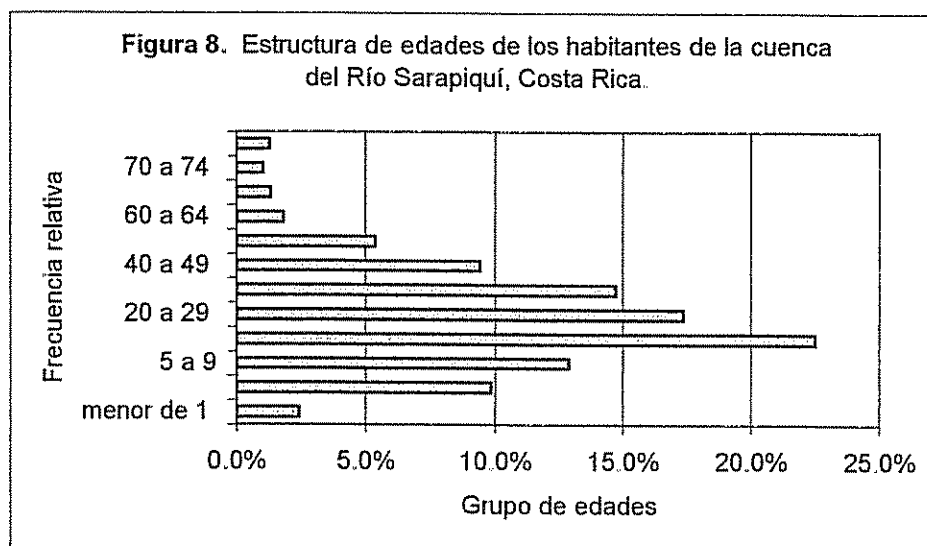
**Fuente:** Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2000).

En la cuenca, las comunidades se encuentran distribuidos en la totalidad del área (exceptuando las áreas protegidas y reservas privadas). En total se registran 51 comunidades, de las cuales destacan: Puerto Viejo, La Virgen, Horquetas, San Miguel y Río Cuarto (Anexo 6 y Mapa 5 del Anexo 1). A partir de 1975, el Instituto de Desarrollo Agrario (IDA), con su programa de asentamientos campesinos, ha designado un total de



71 asentamientos, cubriendo un área de 52,40 km<sup>2</sup>, representando un 2,6% del territorio total de la cuenca (Anexo 6 y Mapa 6 del Anexo 1).

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda de enero del 2000, realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), la población de la cuenca del Río Sarapiquí es de 51 454 habitantes (24 315 mujeres y 27 139 hombres), caracterizándose por un alto porcentaje de pobladores jóvenes (el 65% de los habitantes en edades entre 1 a 29 años) (Figura 8).



**Fuente:** Instituto Nacional de estadísticas y Censos (2000).

## ii. Empleo / Actividad productiva

Para el año 2000, la división de la población en urbana y rural era de 8,9% y 91,1% respectivamente. Se determinó que de un total 35 797 habitantes, 17 038 pertenecen a la Población Económicamente Activa (PEA), de estos el 94% ocupadas, 5,2% cesantes y 0,8% trabajan por primera vez. Del mismo total, 18 801 son Población Económicamente Inactiva (PEI) donde 4,1% pensionados o rentistas, 22,4% estudiantes, 63,8% en el hogar y 9,5% en otras actividades.

La distribución de los trabajadores según ocupación y la rama de actividad productiva que desarrollan (se detalla en el cuadro 12 y 13). El 59,4% de los trabajadores en la cuenca se dedican al labores de agrícolas y ganaderas.

**Cuadro 12.** Distribución de la población trabajadora según ocupación en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica (n = 16 015).

Ocupación	Nº de habitante	Porcentaje (%)
Administración pública o privada	152	0,9
Profesional o científico	535	3,3
Técnico y profesional medio	1 050	6,6
Apoyo administrativo	510	3,2
Ventas locales o servicios directos	1 524	9,5
Agropecuario y pesca calificada	1 728	10,8
Productos artesanales y manufactura	1 053	6,6
Montaje y operación de maquinas	1 224	7,6
Ocupación no calificada	8 239	51,4

**Fuente:** Instituto Nacional de estadísticas y Censos (2000).

**Cuadro 13.** Distribución de la población trabajadora según rama de actividad en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica (n = 16 015).

Rama de actividad	Nº de habitante	Porcentaje (%)
Agricultura y ganadería	9 513	59,4
Comercio y reparación	1 323	8,3
Industria manufacturera	1 260	7,9
Construcción	610	3,8
Transporte y comunicación	558	3,5
Hoteles y restaurantes	518	3,2
Enseñanza	489	3,1
Administración pública	359	2,2
Hogar con servicio doméstico	338	2,1
Servicio comunitario	270	1,7
Inmobiliaria y empresarial	222	1,4
Salud y atención social	199	1,2
Otros	356	2,2

**Fuente:** Instituto Nacional de estadísticas y Censos (2000).

### iii. Vivienda

En la cuenca del Río Sarapiquí se encuentran 14 672 viviendas individuales (12 188 ocupadas y 2 484 desocupadas); el 8,8% se localizan en zonas urbanas y el 91,2% en

zonas rurales. De las viviendas ocupadas, un 14,7% se encuentran en mal estado, el 34,8% en regular estado y un 50,5% en buen estado (INEC 2000).

#### iv. Educación

El servicio de educación se brinda en todas las comunidades de la cuenca. La mayoría son centros de educación preescolar y primaria, variando en su tamaño como en el número de educandos, registrándose un aproximado de noventa y seis escuelas, tres colegios diurnos y uno colegio nocturno.

La condición de alfabetismo de los pobladores mayor de diez años es de 91,1%. Para la población mayor de cinco años de edad, el 66,2% cuentan con estudios primarios (Cuadro 14) (INEC 2000).

**Cuadro 14.** Nivel académico de los habitantes mayor de cinco años de edad, de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica (n = 45 119).

Nivel académico	Nº de habitantes	Porcentaje de población (%)
Ninguno	5 816	12,9
Preparatoria o jardín de niños	1 422	3,2
Estudios primarios	29 891	66,2
Académicas	5 634	12,5
Secundaria (técnicos)	960	2,1
Secundaria (parauniversitarios)	210	0,5
Universidad	1 186	2,6

**Fuente:** Instituto Nacional de estadísticas y Censos (2000).

#### v. Salud

Los problemas de salud más frecuentes son infecciones de vías respiratorias, dermatitis, síndromes dispépticos (problemas estomacales, ardor en la boca de estómago y molestias relacionadas con la ingesta de alimentos) y digestivos, tensión emocional y anemia (el 24% de los niños menores de seis años, presentan problemas de desnutrición leve) (ICE 2000b).

Los habitantes de la cuenca del Río Sarapiquí, disponen del servicios de salud de la Caja del Seguro Social, EBAIS y la Cruz Roja. Este último registra que los servicios

requeridos con mayor frecuencia son para gestantes, enfermedades estomacales, fiebres y accidentes de tránsito.

Un 80% de los habitantes de la cuenca del Río Sarapiquí cuentan con algún tipo de seguro. La distribución de los habitantes trabajadores según el tipo de seguro se muestra en la Cuadro 15.

**Cuadro 15.** Tipo de seguro de los habitantes trabajadores de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica (n = 12 395).

<b>Seguro</b>	<b>Nº de habitantes</b>	<b>Porcentaje de población (%)</b>
Seguro social	7 613	61,4
Cuenta propia o convenio	2 509	20,2
Pensionado	87	0,7
Familiar	1 195	9,6
Cuenta del Estado	899	7,3
Otros	92	0,7

**Fuente:** Instituto Nacional de estadísticas y Censos (2000).

#### **vi. Infraestructura vial**

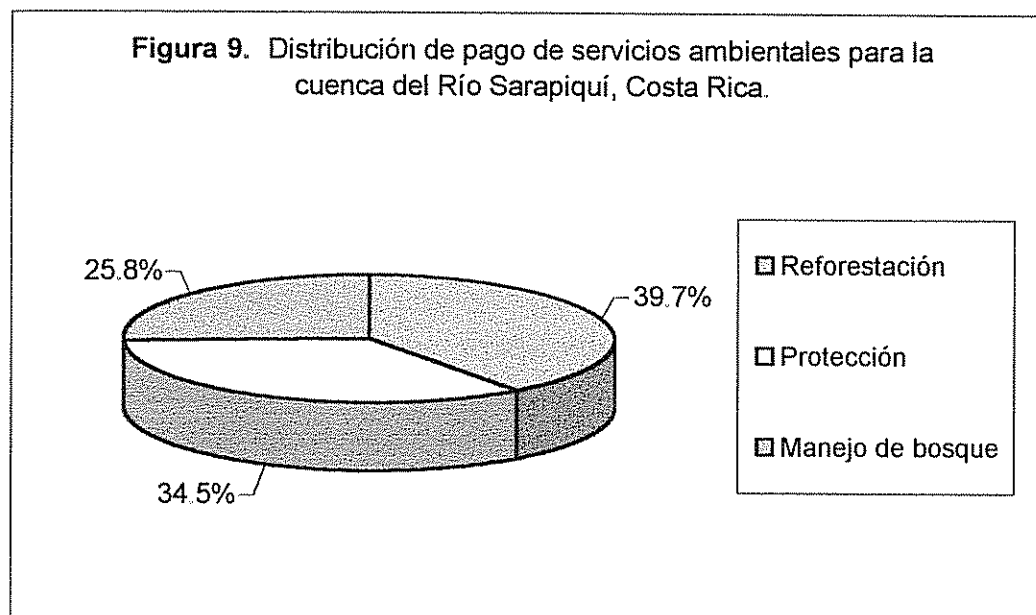
La cuenca es cruzada por las carreteras nacionales de las provincias de Alajuela, Limón y Heredia, además de las carreteras cantonales de Heredia y Alajuela con longitudes de 228,6 km y de 269,1 km respectivamente (Mapa 5 del Anexo 1). Los caminos secundarios de la cuenca alta en general presentan pendientes muy pronunciadas y onduladas, son predominantemente de lastre suelto; que en algunos segmentos se presentan en buen estado, en cambio en otros, éste ha sido lavado por la lluvia, encontrándose expuesto y propenso a volverse fangoso y de difícil acceso.

#### **vii. Recursos arqueológicos**

En la parte alta de la cuenca existen evidencias de presencia arqueológica (fragmentos de cerámica y lítica) (ICE 2001b). Este lugar se denominó Sitio Arqueológico Ujarrás (A-254 Uj); en la actualidad este terreno se encuentra dividido en parcelas dedicadas a pequeños cultivos e incluso en algunas de ellas se han construido casas de habitación. Este sitio constituye el primer reporte arqueológico en el área, el cual se adscribe al periodo 300 a.C. - 300 d.C.

### viii. Estrategias de conservación del ambiente en la cuenca: Pago de Servicios Ambientales (PSA)

El PSA está vigente en la zona desde 1997 y se ha distribuido en casi toda la cuenca en sus tres modalidades. El 34,5% del PSA asignado hasta el 2001 ha sido para la modalidad de protección, predominantemente en la parte alta de la cuenca, sobre todo en la áreas protegidas privadas. La reforestación comprende el 39,7% de la asignación total, y predomina en la parte baja de la cuenca. El restante 25,8% corresponde para manejo de bosque, que se distribuye homogéneamente en la cuenca (Figura 9 y Mapa 3 del Anexo 1). El total de área compensada con PSA dentro de la cuenca hasta el 2001 es de 30 346 ha en todas las modalidades.



**Fuente:** Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (2002).

### ix. Presencia institucional

- La municipalidad de Sarapiquí impulsó la creación de una comisión de recursos naturales, con el objetivo de capturar donaciones para la recuperación del río. Se pretende trabajar en educación, reforestación y patrullaje;
- La Universidad Nacional de Heredia (UNA), mantiene un proyecto en Laguna Hule para la capacitación en aspectos ambientales (cultivo y comercialización de plantas medicinales). Éste se centra en actividades de interés académico y se dirige a escuelas y comunidades, generando recursos a las familias de la zona;

- La Asociación ANDAR de Costa Rica, Asociación Regional de Agricultores Orgánicos (ARAO) y Centro Nacional de Acción Pastoral (CENAP), promueven grupos de mujeres para la comercialización de productos orgánicos;
- Existen Asociaciones Integrales de Desarrollo en diferentes comunidades de la cuenca;
- Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR), que promueve la reforestación, protección y manejo de los bosques; además, mantiene un programa de educación ambiental para escuelas y colegios;
- La Estación Biológica La Selva es un centro de investigación académico de la Organización de Estudios Tropicales (OET); atrae turistas, estudiantes (grupos organizados de escolares y colegiales de distintos puntos del país) y científicos. Actualmente ha logrado un importante protagonismo dentro de la dinámica social de la cuenca, al mantener un programa de protección y limpieza de los ríos;
- Organización Internacional del Trabajo y Organización Internacional de Migración, que desarrollan programas en las escuelas para favorecer una adecuada incorporación de inmigrantes nicaragüenses en el sistema educativo y la comunidad;
- El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) ha desarrollado una gran cantidad de investigación y transferencia de tecnología, principalmente en el desarrollo de nuevas variedades de cultivos, control biológico de plagas, asesoría a organizaciones de productores, sanidad vegetal y salud animal. Dentro de los principales proyectos productivos desarrollados están la acuicultura, agroindustria, asistencia técnica, capacitación, mariposarios, producción agrícola y pecuaria, riego y drenaje;
- Otras instituciones gubernamentales trabajando en la cuenca son: Instituto de Desarrollo Agrario (IDA), Centro Nacional de Producción (CNP), Ministerio de Educación Pública (MEP), la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), entre otras.

#### **x. Problemática local**

La población a nivel general menciona como parte de la problemática el mal estado de las vías de comunicación, ausencia de lugares de recreación, poco apoyo a grupos organizados, inexistencia de incentivos a la industrial rural, elevados costos de producción, escasez de mano de obra especializada, deficientes canales de comercialización, falta de alternativas de comercialización de productos agropecuarios, pastos de mala calidad y bajo rendimiento, difícil acceso a créditos bancarios blandos,

violencia intrafamiliar, contaminación de los ríos por los sistemas agropecuarios, el alcoholismo y drogadicción.

#### **4.2 Caracterización de los usuarios de la cuenca del Río Sarapiquí**

Las principales actividades económicas que se desarrollan en la cuenca del Río Sarapiquí son: agropecuarias, agroindustriales, pesca, forestal, extracción de material (piedra, arena) hidroeléctricas, acueductos rurales y turismo. Para muchas de ellas, el recurso hídrico representa un elemento vital para su desarrollo, tanto como insumo de producción como por los beneficios indirectos que de éste recibe. Por ejemplo, en la agroindustria del café, el agua es un insumo importante en el proceso de beneficiado del café (Jiménez *et al.* 1997). Para la industria de bebidas, el recurso hídrico es el insumo más importante de la producción. Para el sector hidroeléctrico, el agua es el principal insumo que se utiliza para transformar la fuerza hidráulica en electricidad.

A continuación se describen las características más relevantes de las actividades de producción y consumo hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí. La descripción se enfoca a patrones generales de ubicación en la cuenca, área de influencia, descripción de las actividades y las características del uso de agua en cada una de ellas.

Cada actividad productiva presenta características particulares en relación con el uso del recurso hídrico utilizado, tales como: exigencias en calidad y cantidad del agua, temporalidad de la actividad o de la demanda de agua, tipo de uso (consuntivo o no consuntivo), efecto sobre el agua utilizada, entre otras. El detalle de estas características para las principales actividades productivas de la cuenca del Río Sarapiquí se resumen en el Cuadro 16.

La información de los usuarios, complementada con la posterior priorización de áreas para la protección del recurso hídrico, permitirá confrontar los elementos de oferta y demanda del agua en la cuenca, y por tanto, servir de base para la elaboración de pautas para el desarrollo de un sistema de compensación enfocado en el manejo del recurso hídrico en la cuenca.

**Cuadro 16.** Descripción de las características de utilización del recurso hídrico por parte de los principales usuarios de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

Características de uso del agua	Consumo humano	Agropecuario	Agroindustria	Transporte fluvial	Turismo	Energético
<i>Tipo de uso</i>	Consuntivo *	Consuntivo	Consuntivo	No consuntivo**	Consuntivo y no consuntivo	No consuntivo
<i>Intensidad del uso</i>	Elevada	Elevada (lavado de equipo, galerones y de los productos agrícolas)	Elevada para el proceso industrial	Baja	Elevada en hoteles Medianamente elevada en turismo recreativo	Elevada
<i>Temporalidad del uso</i>	Consumo durante todo el año	Consumo permanente en sistemas pecuarios. En sistemas agrícolas, temporal (consumo para riego sólo en época seca)	Consumo permanente en la industria. Consumo temporal en fincas (riego en época seca)	Uso permanente durante el año, pero existe dependencia de intensidad y distribución de las lluvias, por su efecto sobre el caudal	Uso permanente durante el año; existe dependencia de intensidad y distribución de lluvias (efecto sobre caudal)	Uso permanente durante el año. Empresas privadas merma en horas de mínima demanda
<i>Fuente del recurso hídrico</i>	Acueductos rurales y municipales, pozos, agua embotellada	Obtenida de acueductos rurales ó a través de pozos perforados. Desviación de drenajes naturales	Obtenida de acueductos rurales ó a través de pozos perforados. Desviación de drenajes naturales	Río Sarapiquí y Río Frío	Acueductos rurales y municipales, pozos, agua embotellada Río Sarapiquí y afluentes	Afluentes del Río Sarapiquí



<p><i>Efecto sobre el agua</i></p>	<p>Distintos destinos de aguas residuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tanques sépticos.</li> <li>• acequias abiertas que desembocan en drenajes naturales</li> </ul>	<p>Sistemas pecuarios pequeños y medianos envían aguas de desecho a drenajes Pocos sistemas grandes realizan tratamiento (lagunas oxigenadoras y biodigestores) En sistemas agrícolas, los agroquímicos llegan a drenajes naturales y / o se infiltran</p>	<p>Algunas no realizan manejo de residuos, llegando a drenajes sin tratamiento. Otras realizan tratamiento de desechos y aguas industriales Residuos de fincas llegan a drenajes naturales, a veces con agroquímicos</p>	<p>Efecto no identificado. Posible incorporación de residuos de combustible en el río</p>	<p>Tratamiento brindado al agua es variable. Los hoteles cuentan con tanques sépticos y drenajes; algunos poseen biodigestores. Turismo recreativo no genera un efecto identificado (posiblemente generación de desechos sólidos)</p>	<p>Devolución de agua al cauce del río Aparente ausencia de efecto sobre composición biológica, física y química. Mantenimiento de caudal mínimo remanente</p>
------------------------------------	--	--	--	---	---	--

**Fuente:** elaboración propia.

\* Uso consuntivo del agua (su utilización resulta en una disminución de la oferta del recurso para otros usuarios).

\*\* Uso no consuntivo (el agua utilizada es devuelta al cauce de los ríos o quebradas, manteniendo invariable la oferta del recurso para otros usuarios).

#### **4.2.1 Consumo humano**

Los acueductos municipales y rurales se distribuyen en la parte alta y media de la cuenca del Río Sarapiquí. Son administrados por los mismos pobladores de las comunidades, en su mayoría organizados en asociaciones comunales de acueductos rurales (ente administrador del sistema de acueducto y alcantarillado sanitario), regulados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). La distribución del agua se hace por medio de gravedad, bombeo o mixto.

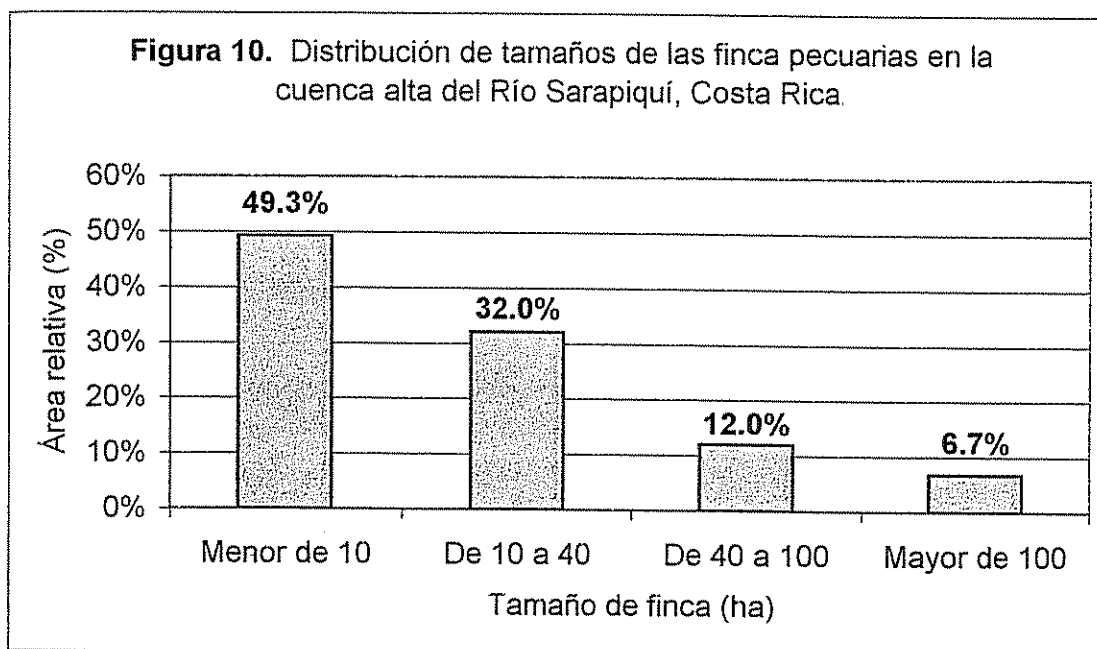
En la cuenca alta y media, el agua es tomada de nacientes en las faldas del Parque Nacional Braulio Carrillo. El agua es llevada a las comunidades a través de tuberías, y de igual manera se hace llegar a los domicilios y comercios. Son instalados por el acueducto de cada comunidad y se rigen por el pago de la cuota (se requiere una prevista o paja de agua), preestablecida por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) y reguladas por las Juntas Administrativas.

En la mayoría de la comunidades no se cuenta con medidores; los montos de pago no tienen regulación. Cada comunidad determina el monto de pago del servicio según sus criterios, dependiendo de la capacidad que cada acueducto tenga, así como la ubicación y los años en función. Se cobran tarifas diferenciadas pero muy bajas. Los montos recaudados son utilizados para pagar las labores administrativas, así como para la compra de material, la reparación del acueducto y el pago de los peones (encargados del mantenimiento del acueducto, que son contratados por la misma comunidad). Los acueductos rurales presentes en la cuenca son presentados en el Anexo 7.

#### **4.2.2 Sistemas agropecuarios**

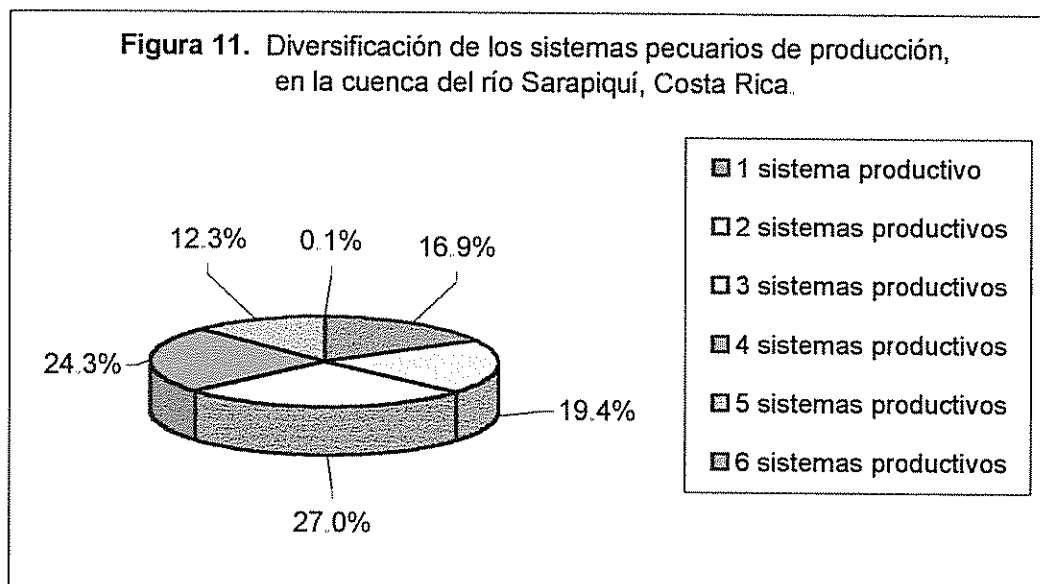
##### **i. Producción pecuaria**

La actividad pecuaria en la cuenca del Río Sarapiquí abarca un 75% de participación del total de actividades agropecuarias; dentro de esta modalidad la explotación lechera es la predominante. En la cuenca alta se presentan considerables áreas de pastos mejorados para la ganadería lechera y una alta cantidad de productores avícolas. Aquí predominan los pequeños productores (fincas menos de 10 ha) con un 49,3% de área de fincas; la distribución de tamaños de fincas pecuarias en la cuenca alta se muestra en la Figura 10. Existe un predominio de pequeños productores en cuanto al número total de ellos, no obstante poseen la menor cantidad de tierra y conforme se aumenta el rango del área disminuye la cantidad de propietarios (ICE 2001b).



**Fuente:** Instituto Costarricense de Electricidad (2001b).

La cuenca media y baja presentan amplia actividad pecuaria, representando el 53,6% del área de fincas. El tamaño promedio de terreno es de 48 ha; por lo general son sistemas diversificados, donde el 27,0% mantienen tres sistemas de producción simultáneos y el 24,3% posee cuatro sistemas (Figura 11), y trabajan con bajos niveles de tecnología y rendimientos.



**Fuente:** Ministerio de Agricultura y Ganadería (2002).

En los sistemas de ganado para leche de la cuenca, el agua es utilizada para la bebida de los animales y la limpieza: lavado del suelo, sala de ordeño, pilas y equipos. También se utiliza agua para atomizar y aplicar los herbicidas de sus fincas.

En los sistemas de producción porcino en general, el uso del agua es para el lavado de los pisos, además de su uso para el enfriamiento de los resguardos de los animales (la actividad porcina es afectada por las altas temperaturas, mayores a 30 °C). En las porquerizas grandes utilizan sistemas de separación de líquidos y sólidos de los excremento, posteriormente se emplean como abono orgánico en las fincas vecinas.

En los sistemas de producción avícola de la cuenca del Río Sarapiquí, la utilización del agua es escasa, principalmente para la bebida de las aves y el lavado de los galpones cada siete semanas, cuando se realiza el renuevo de las aves de producción. El excremento de las granjas más grandes es recogido y vendido para la elaboración de concentrado para ganado. El agua utilizada para el lavado de la granja, por esta razón, resulta poco contaminante, no así las pequeñas granjas que arrojan sus excrementos a los desagües.

En la cuenca baja, la actividad ganadera es predominantemente de doble propósito, cerca del 53% del área de fincas son de este tipo. En la cuenca se encuentran aproximadamente 28 350 animales representando un promedio de 27 animales /

sistema productivo. La ganadería de carne y cría representa el 35% y las lecherías son el restante 12%. Participan en su mayoría productores con explotaciones extensivas, donde la carga animal no sobrepasa a una unidad animal / ha (MAG 1999).

Según el requerimiento de los sistemas pecuarios sobre las características del recurso hídrico, la avicultura es el sistema productivo de mayor exigencia en cuanto a la calidad del agua. El resto de los sistemas productivos presentan mayor dependencia de la cantidad de la misma, de ahí la importancia de contar con varias fuentes de obtención de agua (acueducto, ríos, cauces pequeños y pozos) que sirven de complemento en caso de escasez. La contaminación del Río Sarapiquí perjudica levemente el funcionamiento de los sistemas productivos.

## **ii. Producción agrícola**

En la cuenca, las actividades agrícolas se pueden clasificar en dos grupos: aquellas destinadas al mercado nacional (frijol, maíz, hortalizas, fresas, tomate entre otros), y las destinadas al mercado internacional (café, ornamentales, palmito, banano, raíces y tubérculos entre otros). De los cultivos tradicionales sembrados por pequeños productores, el plátano y el banano tienen relevancia en la economía de la zona.

La actividad agrícola en la cuenca alta es relativamente baja, con una participación de apenas un 21% del área. Entre los productos están hortalizas, fresas, tomate y plantas ornamentales. El cultivo de fresas es una actividad importante que ha tomado auge en los últimos años, en la cuenca se observan importantes áreas de este cultivo. Actualmente los productores están asociados con la Cooperativa de Productores de Fresa de Poasito, comercializa a la Cooperativa Dos Pinos.

En la cuenca media, las principales actividades son las raíces y tubérculos (yuca, tiquisque y ñampí), cítricos, chile picante, café, piña, palmito de pejibaye y ornamentales; las áreas de producción son en su mayoría pequeñas y diversificadas, exceptuando las grandes extensiones del cultivo de piña y ornamentales.

Los nuevos cultivos para exportación han tenido un desarrollo importante en los últimos años, tales como las plantas ornamentales (con más de 400 ha de extensión distribuidas entre empresas y campesinos), y el cultivo de piña donde 725 ha están en manos de pequeños y medianos productores y 4 900 ha en grandes productores. Sin embargo, el cultivo de palmito para pejibaye y la pimienta en los últimos años, han sufrido graves

problemas en los precios y comercialización, ocasionando el abandono de muchas plantaciones.

Los cultivos tradicionales como es el banano y el plátano, sigue siendo la principal actividad agrícola de la cuenca media y baja, encontrándose cinco compañías instaladas en un área que sobrepasa las 8 000 ha. Tanto el cultivo de banano y plátano, como los cultivos de piña, fresas, ornamentales, en las otras áreas de la cuenca, presentan una característica muy parecida y es la dependencia de productos químicos en sus procesos productivos.

Algunos de los problemas del sector agropecuario de la cuenca del Río Sarapiquí, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (1999) son:

- Deficiente organización de productores y falta de liderazgo organizacional, lo que dificulta producir volúmenes comercializables a bajo costo, debido a conflictos internos y falta de alternativas viables de producción;
- Manejo inadecuado de los cultivos y malas prácticas culturales en los sistemas de producción (deficiente manejo del suelo y aguas, inadecuada selección de material de siembra y del uso de agroquímicos, presencia de plagas y enfermedades);
- Faltas de alternativas de producción para los miembros de la familia que no sea el jefe de la misma;
- Bajo nivel tecnológico (manejo de suelos, calidad de las semillas, control de enfermedades entre otros).

### **iii. Producción agroindustrial**

En la cuenca alta son pocas las agroindustrias presentes, destacando la empresa productora de alimentos El Ángel es una de las más importantes, tanto por los volúmenes de producción y a la cantidad de empleo local que genera (produce alrededor de 80 productos diferentes). La producción está dedicada principalmente al mercado nacional, pero también se realizan exportaciones (ICE 2001b). Otra agroindustria importante es CoopeSarapiquí, único beneficio de café en la cuenca. Su producción es orgánica, para la comercialización, tanto nacional como internacional.

La mayor parte de la agroindustria de la cuenca se ubican en la parte media, proporcionando una mayor diversidad de opciones de empleo. Las actividades que realizan son productivas, industriales y comerciales; la mayoría involucra el procesamientos de productos de la zona, que son predominantemente para exportación

a mercados Europeos y Estados Unidos. Entre las agroindustrias podemos mencionar: Demasa y Corazón Tierno S. A. (empacadoras de palmito), Naturanja o Tropicales S.A. (jugos naturales), Frutas Tropicales, Santa Clara, Corsicana, El Ángel y Tropi Frost (empacadoras de piña), Hacienda La Linda (plantas ornamentales), Vivero forestal de Manuel Hernández, entre otras.

Los cultivos de plantas ornamentales tienen un alto nivel de tecnología y dependen totalmente de la contratación de mano de obra comunal, excepto los pequeños productores (áreas menores de 5 ha), que utilizan mano de obra familiar y cuya comercialización se realiza por medio de intermediarios, destinada al mercado nacional. Los productores grandes integran las actividades de producción hasta el procesamiento en la misma finca y se encuentran ligados al mercado internacional.

Algunas empresas procesadoras de frutas como: papaya, melón, naranja, mango y piña (mayor producción) realizan proceso que van desde la congelación de las frutas para mercados internacionales como Europa y Estados Unidos, y la producción jugos naturales (piña y naranja) que son distribuidos localmente al comercio en general. La agroindustria de palmito para pejibaye es una de las más grandes de la cuenca media. Las empresas se dedican a la comercialización nacional e internacional (mayormente mercados Europeos).

En la cuenca baja los procesos agroindustriales, son mayormente empacadoras de banano, raíces y tubérculos, plantas ornamentales, jengibre, yuca, malanga y tiquisque (Trivelato 1997).

La calidad y la cantidad de agua son muy importantes para el buen desempeño de sus sistemas productivos. La mayoría de estas agroindustrias mantiene riego en sus fincas para la época seca (marzo y abril), y en general utilizan grandes cantidades de agua para sus procesos productivos, por lo que mantienen pozos perforados, además, cuentan con el agua del acueducto de su respectiva comunidades o la obtienen por medio de bombeo de los cauces pequeños y río cercanos.

#### **4.2.3 Transporte fluvial**

A partir de la comunidad de Puerto Viejo hasta la desembocadura del en el Río San Juan, donde el Río Sarapiquí es la única vía de comunicación para las comunidades que se encuentran aguas abajo. Se brindan los servicios de transporte público, comercio y

turismo para visitantes nacionales y extranjeros. Este río permite el tránsito fluvial de embarcaciones de varios tamaños, con capacidades que van desde seis personas hasta más de cuarenta personas. También se cuenta con ocho embarcaciones que prestan el servicio de transporte pesado; en esta modalidad de transporte se realizan fletes de cargas muy variadas.

Los boteros del Río Sarapiquí y Río Frío están organizados en la Asociación de Transportistas Acuáticos de Sarapiquí (ATAS), que agrupa en su totalidad a dieciocho boteros que trabajan por turnos. El embarcadero es un pequeño muelle municipal (Muelle de Puerto Viejo), con poca capacidad y cuya infraestructura se encuentra en muy mala estado.

No existe alguna forma de administración del recurso hídrico, por ser de acceso público. Cada transportistas debe pagar la matricula de la lancha al Ministerio de obras Públicas y Transportes (MOPT). El número de personas transportadas por día / semana / mes / año, dependen de la época del año, si es temporada alta o baja para el turismo nacional y extranjero. Generalmente se hacen uno o dos viajes diarios. Las tarifas por el servicio es diferenciada entre nacionales y extranjeros.

Entre los factores que afectan el servicio de transporte fluvial están: la contaminación de porquerizas, fincas ganaderas y plantaciones de banano ubicadas en las orillas, además, el nivel de caudal del río que varía por la presencia de represas de las hidroeléctricas y la sedimentación.

#### **4.2.4 Actividad turística**

Como lo mencionan Rosa (1999), Quesada (1990) y Trivelato (1997), en la cuenca del Río Sarapiquí el turismo ha mostrado un impresionante crecimiento desde mediados de la década de los ochenta. Las regiones más desarrolladas son los sectores aledaños al Volcán Poás, el Refugio de Vida Silvestre Caño Negro y en general la cuenca media, al punto de constituirse en uno de los principales ejes del crecimiento económico, destacando el ecoturismo en sus diferentes categorías (aventura, deportivo, agroturismo y científico).

El turismo de aventuras incluye los deslizamientos por los rápidos de los ríos en kayak o balsa. El deportivo incluye prácticas como alpinismo, ciclismo, montañismo, o caminata por rutas panorámicas y otros. El agroturismo busca la observación de prácticas de



ecodesarrollo o tecnologías agropecuarias para el desarrollo sostenible. Por último, el turismo científico es aquel que motiva el desplazamiento y pernoctación en áreas silvestres y culturales, por razones de investigación (Quesada 1990). Los períodos de mayor afluencia de turistas en la cuenca del Río Sarapiquí, son los meses de diciembre a marzo y en menor grado septiembre y octubre (baja significativamente debido a la alta pluviosidad).

En la cuenca alta, no existen zonas turísticas desarrolladas. Los negocios son restaurantes con poca capacidad y rústicos (a excepción del hotel La Paz watershed). Lo abrupto del relieve dificulta el ingreso a las riberas del río, por lo que la apreciación del paisaje y del cañón de la cuenca es disfrutado desde la carretera nacional, presentando un tránsito del turístico nacional y extranjero parcial pero significativo por las siguientes razones (ICE 2001b):

- Cercanía al Parque Nacional Volcán Poás, que es el punto de mayor atracción turística del país;
- El atractivo paisajístico de la cuenca, que ofrece vistas panorámicas de zona boscosa en contraste con la vegetación y otros atractivos que ofrecen la cuenca media y baja (lagunas como Hule y María Aguilar, mariposarios, cataratas de la Paz y Salto San Fernando entre otros);
- La condición de ruta de paso hacia otros centros de atracción turística, como San Carlos y Puerto Viejo de Sarapiquí;
- Actividades de rápidos sobre el Río Sarapiquí;
- Transporte a los canales de Tortuguero.

Es a partir de la cuenca media donde comienza un creciente desarrollo de infraestructura orientada al ecoturismo. Las empresas turísticas movilizan una importante cantidad de personas diariamente, donde el 71,4% de los turistas son extranjeros (ICE 2001b). Las empresas hoteleras de la zona, están afiliadas a la Cámara Turística de Sarapiquí (CATUSA). Entre los hoteles presentes en la zona podemos mencionar: La Quinta Sarapiquí Country Inn, Bosque de La Paz Lodge, El Bambú, Gavilán Sarapiquí River Lodge, Sueño Azul Resort, Rara Avis Lodge, Selva Verde Lodge, La Paz Watershed, Ara Ambigua, Tirimbina Rainforest Center, La Finca Lodge. Además los albergues Islas del Río y Oroverde, el Centro Neotrópico Sarapiquí y el Estación Biológica La Selva, las cabinas Tía Rosita, Carín, B + B y Jenny.

El atractivo que ofrecen los hoteles de la zona están relacionados con el disfrute de la flora, fauna y el recurso hídrico. Los servicios que brindan son: hospedaje,

alimentación, recorrido de senderos, recorridos por el río (canotaje o en bote), caminatas, paseos a caballo y actividades deportivas en el río. Algunos hoteles cuentan con reservas cuyo objetivo principal de los recorridos turísticos (por horas o días) es la observación de la flora y fauna en río y su ribera; también se practica la pesca y actividades deportivas.

La presencia del recurso hídrico es fundamental como atractivo para los turistas, tanto por su disfrute escénico como por las actividades a desarrollar en éste. El servicio que brindan las diferentes empresas se maneja bajo diferentes modalidades:

- Contratos con organizaciones gubernamentales o no gubernamentales. Por ejemplo FUNDECOR desarrolla recorridos naturalistas como parte de su programa de Educación Ambiental, navegando el Río Sarapiquí con estudiantes de todo el país;
- Contratación de boteros por agencias de viajes pequeñas o empresas hoteleras de la zona o de San José, para el transporte de turistas;
- Contratos por turistas individuales, directamente en el muelle.

La navegación deportiva y recreativa en el Río Sarapiquí es impulsada por diferentes operadores turísticos: Ríos Tropicales, Aventuras Naturales, Costa Sol Rafting, Costa Rica Expedition, Costa Rica Oar Sport, Aguas Bravas, Sarapiquí Out Door Center, y otras empresas turísticas del exterior. Se trabaja con agencias de viaje del exterior o con turistas que viene a buscar aventuras.

La navegación deportiva se realiza en el tramo del río que va entre San Miguel y Puerto Viejo, aunque la mayoría de ellas (57,1 %) el trecho que va desde La Virgen hasta Puerto Viejo (ICE 2001b). De las empresas que realizan actividades deportivas, el 71,4% realizan rápidos y kayak, y otras actividades menos practicadas como los viajes en botes, ciclismo de montaña, competencias de neumáticos, se bañan en las pozas y se realizan campamentos para niños y jóvenes para la enseñanza de deportes acuáticos. El 57,1% de las empresas utilizan la observación de aves y paseos a caballo como atractivo para los turistas, además de visitar empresas bananeras y realizar caminatas por el bosque. Cabe mencionar que casi todas las empresas dedicadas a este tipo de actividad, mantiene sus sedes en la provincia de San José, a excepción de Sarapiquí Out Door Center, empresa local. Las tarifas por los servicio son diferenciadas para turismo nacionales y extranjero.

El Río Sarapiquí, según la opinión de los operadores turísticos, presenta condiciones de calidad de agua aceptables para este tipo de prácticas, pero se ve afectado por la

disminución del caudal en los últimos años, al punto que en ocasiones no se puede realizar los recorridos. Esto es resultado según ellos, entre otras razones, por la presencia de embalses para la producción hidroeléctrica, y por la pérdida de cobertura boscosa.

#### **4.2.5 Producción hidroenergética**

La cuenca del Río Sarapiquí presentan condiciones óptimas para la explotación hidroeléctrica, al contar con una alta pluviosidad que hace que los caudales se mantengan durante casi todo el año, presentan fuertes pendientes en las partes altas de la cuenca, mantiene una proximidad a los centros de consumo de energía y presenta un importante desarrollo vial (ICE 1999). Por las anteriores razones, la cuenca del Río Sarapiquí ha tomado gran importancia para la producción de energía en los últimos años.

En la cuenca existen dos plantas hidroeléctricas estatales (proyectos del ICE): P.H. Toro I y P.H. Toro II, que toman el agua del Río Toro Amarillo, y se prevé la construcción de dos plantas hidroeléctricas más en la cuenca: la P.H. Toro III y la P.H. Cariblanco. Asimismo, existen cinco hidroeléctricas privadas: El Ángel S.A., que toma sus aguas del Río Ángel; P.H. Don Pedro S.A. y P.H. Río Volcán S.A. en el Río San Fernando y en el Río Volcán, respectivamente (éstas dos últimas pertenecientes al Consorcio de Energía Global), el P. H. Doña Julia R. L., ubicada en el Río Puerto Viejo y Quebradón y P. H. Sureka 1, ubicada en el Río Toro (Mapa 2).

Las empresas hidroeléctricas de la zona, tanto estatales como privadas, se ubican en las faldas del Parque Nacional Braulio Carrillo, por lo tanto, son los primeros usuarios de los ríos de la cuenca. Toman el agua de los afluentes del Río Sarapiquí, tomando en cuenta el Caudal Mínimo Remanente (CMR) o Caudal Ecológico en cada una de las tomas. Uno de los mayores problemas que se presentan son la sedimentación por desprendimiento de los taludes y deslizamientos naturales.

Las empresas privadas venden su energía al ICE. Estas empresas cuentan con un contrato con el ICE, donde se comprometen a brindar energía en las horas de máxima demanda de energía (10:00 am - 12:30 md y de 5:30 pm - 7:30 pm), es cuando las máquinas deben de estar operando a su máxima capacidad. Pero dependiendo de la época del año, cuando la pluviosidad es alta se puede producir energía casi las 24 horas del día.

De mayo hasta abril la energía vale más debido a la menor cantidad de agua disponible; existen periodos en que se detiene la maquinaria para recuperar el embalse y solo se cumple con las horas obligatorias de producción de energía. En cambio de septiembre a diciembre, los meses más lluviosos, la energía es más barata, por lo cual se aprovecha para realizar el mantenimiento de las máquinas.

### **4.3 Percepción de los usuarios con respecto al recurso hídrico de la cuenca**

#### **4.3.1 Estado del recurso hídrico**

Los usuarios consideran que la condición del recurso hídrico de la cuenca es adecuada para el consumo humano, debido a que la mayoría de los acueductos toman sus aguas de nacientes de las faldas del Parque Nacional Braulio Carrillo. Se presentan algunas excepciones en la potabilidad del agua como el acueducto de Puerto Viejo, el cual presenta problemas con el mal sabor del agua. Además, la calidad del agua de los pozos en toda la zona es considerada adecuada para las actividades diarias (no para consumo humano).

El Río Sarapiquí ha experimentado cambios en poco tiempo, principalmente por la sedimentación de los caudales y la evidente deforestación en las riberas de los ríos, siendo esta situación favorecida por la cercanía de la carretera a los ríos. Los pobladores atribuyen este fenómeno a la disminución del agua en pozos, cauces pequeños (quebradas) y nacientes, al grado de mermar el nivel de sus actividades. En algunos casos, éstos han tenido que recurrir a nuevas captaciones para el agua potable. La población destaca asimismo el incremento en la magnitud de las crecidas de los ríos en los últimos años. Éstas provocan pérdidas de cosechas, animales, infraestructura, turismo y vidas humanas.

Con base a las entrevistas realizadas a los usuarios del recurso hídrico, la calidad del agua en la cuenca alta del Río Sarapiquí, no se cataloga como adecuada para algunas actividades productivas, como lo son las actividades de navegación y el turismo recreativo. En la parte media y en especial la baja, la calidad se ve deteriorada por la frecuente contaminación con residuos fecales de lecherías, porquerizas y por los agroquímicos de las productoras de piña, plantas ornamentales y los cultivos de banano y plátano.

Los pobladores mantienen una posición general de descontento por la presencia de proyectos hidroeléctricos. Las organizaciones ambientalistas del cantón de Sarapiquí han manifestado su oposición al desarrollo de proyectos hidroeléctricos. Estos esfuerzos vieron su más amplia expresión organizativa en la realización de un plebiscito en septiembre del 2000 que comprometió a la municipalidad a gestionar ante la Asamblea Legislativa el proyecto de declaratoria del Río Sarapiquí como patrimonio histórico natural. Un total de 2 254 votantes asistieron al plebiscito (12,9% de electores del cantón), y de éstos un 90,3% apoyaron la declaratoria (ICE 2001b).

La Asociación para la Conservación del Ambiente de Sarapiquí (ABAS) desarrolla labores encaminadas a la conservación y recuperación del ambiente en la región, incluyendo el recurso hídrico. Esta asociación ha consolidado un comité con el objetivo principal de oponerse al desarrollo y construcción del proyecto hidroeléctrico de La Virgen; sus argumentos son los siguientes:

- Existen ya cinco proyectos hidroeléctricos privados y dos proyectos estatales operando en diferentes afluentes del Río Sarapiquí;
- Los beneficios que este proyecto hidroeléctrico puede traer al país son mínimos comparados con el daño social y ecológico que puede causar con la aprobación para su construcción;
- El Río Sarapiquí tiene una importancia histórica para el país, para la economía de la zona y para la recreación;
- El Río Sarapiquí continúa siendo un medio de comunicación importante para una gran parte de la población;
- El Río Sarapiquí es una fuente natural de vida, recreación y educación para la comunidad;
- El turismo es la principal industria en Costa Rica. Sarapiquí depende en un 40% de esta actividad y considera el turismo como un generador de ingresos sin dañar la naturaleza. Este proyecto hidroeléctrico va a tener un efecto negativo en las actividades turísticas de Sarapiquí, tales como los rápidos, el turismo ecológico y científico.

#### **4.3.2 Acciones para la recuperación del recurso hídrico**

En general, los habitantes de la cuenca han alcanzado sensibilidad sobre la importancia de la conservación del Río Sarapiquí. Esto se refleja en las acciones individuales y colectivas que desarrollan para su recuperación.

Existen organizaciones que trabajan para el manejo y conservación de los recursos naturales en la región, desarrollando labores de educación ambiental, dirigidas a productores y jóvenes. Estas labores incluyen charlas y giras por comunidades del país para observar otras realidades, intercambios escolares para traer jóvenes de otras comunidades del país a visitar el Río Sarapiquí, recorridos en bote por el río para observar su condición actual, días de campo, entre otras más. Asimismo, se brinda capacitación en centros educativos para fomentar la sensibilidad ambiental en los jóvenes.

Por otro lado, algunos sistemas productivos están introduciendo tecnologías de menor impacto ambiental, tales como biodigestores y lagunas de oxigenación, además de la producción de abonos orgánicos como lombricompost, gallinaza y porcinoza procurando, con todo esto disminuir al máximo la contaminación de las aguas y los suelos de la cuenca.

A nivel de organización local, se han formado agrupaciones vecinales en diferentes localidades de la parte alta de la cuenca, con el objetivo de evitar la cacería y la extracción de flora silvestre, además de proteger las nacientes, el acueducto y procuran mantener en buen estado las carreteras comunales. Los boteros realizan actividades para la recolección de basura y la protección de la biodiversidad y el bosque ripario.

Los pobladores remarcan la deficiente divulgación de la labor de las instituciones trabajando a nivel de la recuperación del recurso hídrico en la cuenca. La mayor cantidad de pobladores argumenta que las pocas instituciones trabajando en la conservación de la cuenca son el comité de Acueducto Rural y el AyA, además de las Asociaciones de Desarrollo Comunales.

#### **4.3.3 Alternativas para la protección y recuperación del recurso hídrico**

Los entrevistados expresaron la necesidad de proteger las zonas de recarga acuífera y las zonas adyacentes a los ríos y cauces pequeños. Esta protección es asociada principalmente al mantenimiento de la cobertura boscosa y a la recuperación de vegetación arbórea a través de las plantaciones forestales, pues coinciden en que estas coberturas pueden mantener las características naturales del recurso hídrico inalteradas, especialmente la calidad del agua y el régimen homogéneo durante el año.

Además, los entrevistados coinciden en la necesidad de regular y controlar los focos de contaminación de los ríos en la zona, y fiscalizar más directamente las actividades de extracción de madera de los bosques. Entre otras acciones a llevar a cabo para el mismo fin, se mencionó la educación ambiental y concientización de la gente a diferentes niveles, en especial en edades tempranas.

La opinión general de las personas entrevistadas refleja la disposición de pago para la protección y recuperación de las áreas de importancia hídrica en la cuenca. Estas personas condicionan el pago de acuerdo a los siguientes criterios:

- Credibilidad de los recaudadores y administradores de los fondos;
- Los fondos deben de ser invertidos en la misma cuenca, para labores de protección y restauración;
- Transparencia y fiscalización del manejo de los fondos;
- La seguridad de disponer de agua de calidad y cantidad.

Por otro lado, algunos entrevistados manifestaron su negativa a realizar un pago adicional. Según éstos, el pago se debe concentrar en aquellas personas o entes que tiene incidencia en los procesos de degradación del recurso hídrico.

#### **4.4 Priorización de áreas de manejo del recurso hídrico**

##### **4.4.1 Enfoque de análisis de priorización de áreas de manejo del recurso hídrico**

###### **4.4.1.1 Síntesis de la condición del recurso hídrico**

La recolección y análisis de la información de fuentes secundarias primarias directas e indirectas relacionadas con la condición del recurso hídrico en la cuenca, demuestran la existencia de características biofísicas y antropogénicas particulares que afectan al recurso hídrico complementariamente en dos aspectos: la calidad y la cantidad aprovechable de la misma.

Una condición particular del desarrollo antropogénico en la cuenca la constituye el alto grado de dependencia de algunas actividades sobre los cauces principales. Así, el grado de acceso que tiene los pobladores y los turistas a las márgenes de los ríos es elevado en algunos sectores de la cuenca, debido a que sus aguas son utilizadas para múltiples propósitos. Esto se evidencia en la ubicación de la infraestructura vial y urbana con

respecto a estos cauces: en su recorrido, el Río Sarapiquí va paralelo a la carretera principal, a escasos metros de zonas urbanizadas, sitios turísticos y sistemas productivos.

El estado del recurso hídrico en la cuenca y la interrelación de estos recursos con las actividades de los usuarios muestra marcadas diferencias a lo largo la cuenca. En la parte alta, las fuertes pendientes generan un alto potencial de arrastre del Río Sarapiquí y sus afluentes, y la cobertura dominante es de bosque primario. La infraestructura de producción hidroenergética se concentra en esta zona (primeros usuarios de las aguas superficiales), además de la existencia de grandes fincas dedicadas mayormente a la producción lechera y avícola.

En la cuenca media, las áreas aledañas a los ríos presentan mayor alteración por el desarrollo de actividad pecuaria, las áreas de cultivo y la mayoría de agroindustrias y zonas urbanas. Los ríos de mayor caudal como el Sarapiquí y Frío, son utilizados para los deportes acuáticos. En esta zona de pendientes moderadas y suaves, la escorrentía es de tipo laminar, con poca turbulencia y el sustrato es más fino, notándose mayor deposición de sedimentos en suspensión que han sido arrastrados por los cauces a través de su recorrido.

En la cuenca baja la pendiente es plana y el río mantiene una corriente continua y con poca turbulencia, hasta convertirse en un río sereno y navegable. Aquí se da la mayor acumulación de desechos del río debido a los sistemas de producción, así como gran cantidad de material de troncos, hojas y basura (uso doméstico, agropecuario y agroindustrial) arrastrada por todo el trayecto del río. En las áreas aledañas se encuentran grandes extensiones de cultivo de banano y plátano así como ganadería de doble propósito y algunas agroindustriales empacadoras de raíces, tubérculos y plantas ornamentales.

#### **4.4.1.2 Influencia de los usuarios del recurso hídrico y su relación con la calidad y cantidad del agua**

Cada grupo de usuarios del agua en la cuenca demanda unos requerimientos específicos en cuanto a su calidad y cantidad, y su utilización origina cambios en las condiciones del recurso hídrico para otros usuarios, generando en ocasiones conflictos entre ellos. De esta forma, la disponibilidad del agua puede quedar disminuida para otros usos.



La abundancia del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí se ha visto perjudicada por causas naturales (meses secos o escorrentía superficial), por la pérdida de cobertura boscosa, la contaminación, la sedimentación y la presencia de embalses para la producción hidroeléctrica. En la cuenca no existe forma de administrar y regular el uso del Río Sarapiquí (drenaje principal) para la navegación comercial y el turismo (por ser de acceso público), lo que ha ocasionado que en los últimos años se presente una controversia entre las empresas hidroeléctricas y los demás usuarios (especialmente las empresas turísticas y de transporte fluvial).

Los usuarios entrevistados expresan la necesidad de proteger las zonas de recarga acuífera y las zonas adyacentes a los ríos y cauces pequeños, así como negar los permisos para la construcción de otras plantas hidroeléctricas que indirectamente generan una disminución en la disponibilidad del recurso hídrico para los usuarios de la cuenca baja, afectando algunas actividades productivas.

La contaminación del agua es el resultado del deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de las aguas superficiales (cauces pequeños, ríos y lagos) y aguas subterráneas (acuíferos) motivada por la descarga de líquidos, gases o sustancias sólidas por las actividades de las humanas de forma tal que reducen su aptitud para los otros usos (Camacho 2001). Algunos usuarios del agua en la cuenca del Río Sarapiquí consideran que su calidad es adecuada para el consumo humano, debido a que la mayoría de los acueductos captan este recurso de nacientes en las faldas del Parque Nacional Braulio Carrillo.

La realidad es que la potabilidad de las aguas superficiales y subterráneas disminuye conforme se desciende en la cuenca. La calidad del agua del Río Sarapiquí es considerada aceptable desde el punto de vista físico y químico; en lo referente a la calidad biológica (coliformes totales, fecales y potabilidad) presenta un alto grado de contaminación bacteriana (coliformes totales > 3 000/dl), lo que hace al agua no potable, especialmente en la parte media y baja.

Acueductos como el de Puerto Viejo presentan problemas de mal sabor del agua, y en algunas comunidades han recurrido a nuevas captaciones de agua potable o al uso de agua embotellada. La calidad del agua de pozos en la zona es considerada adecuada para las actividades diarias, no así para consumo humano.

En la cuenca no existen causas naturales de deterioro de la calidad del agua; las causas actuales y potenciales de contaminación obedecen a agentes antropogénicos los cuales incluyen: vertido de basura doméstica, aguas residuales domésticas, agentes contaminante de las actividades agropecuarias, desechos agroindustriales y el transporte fluvial. La alta concentración de población en la cuenca media influye en la contaminación de los recursos hídricos, por la generación de basura doméstica y desechos orgánicos tipo fecal que son depositados en tanques sépticos o letrinas, los cuales infiltran a los drenajes naturales. La basura doméstica es vertida en muchos casos en forma directa al río, o depositada en lugares inadecuados donde la escorrentía superficial puede trasladarla eventualmente a los cauces.

Los sistemas de producción también tienen influencia en las condiciones de calidad y cantidad de agua en la cuenca. La actividad pecuaria, principal actividad de la cuenca, es desarrollada principalmente en sistemas pequeños o medianamente pequeños, diversificados, con alto consumo de agua para sus procesos, con bajos niveles de tecnología y rendimientos, y en su mayoría se ubican en las riberas de los ríos donde no cuentan con sistemas de tratamientos del agua o reutilización en los establos. El escurrimiento del agua de zonas de pastoreo contribuye a la contaminación del agua superficial, producto de los residuos del estiércol de estos animales, que en ocasiones son depositados a través de canales en lugares cercanos a las fuentes de agua. La ausencia de manejo de residuos orgánicos genera un contaminante bacteriológico de materia orgánica en las agua superficiales.

Las aguas provenientes de zonas agrícolas contienen residuos de agroquímicos; su concentración depende de las características del terreno, la forma del riego, el método de forma de aplicación y composición del agroquímico. La tecnología de producción de cultivos como la piña, el palmito y las ornamentales, se caracterizan por el uso intensivo de productos agroquímicos. El uso inadecuado de agroquímicos, además de efectos perjudiciales a la salud humana, contribuye en la cadena de contaminación del recurso hídrico y del ser humano, reduciendo el potencial del agua para su utilización por otros usuarios.

En la agroindustria, los elementos contaminantes consisten básicamente de desechos orgánicos (productos alimenticios). La descarga individual de desechos se reporta como baja; el riesgo de contaminación dependerá del efecto acumulado de las descargas, y por tanto, del número de agroindustrias que operen en la cuenca a futuro.

Las actividades turísticas y comerciales se desarrollan bajo condiciones de calidad de agua aceptables para las mismas (aun cuando esté afectada por la contaminación de porquerizas, fincas ganaderas y plantaciones de banano). Este tránsito turístico y comercial produce a su vez desechos (combustible, basura, comestibles) en el cauce y las riberas, resultando muy difícil su regulación y control.

En términos generales, la mayoría de los usuarios del recurso hídrico hace un manejo ineficiente o nulo de las aguas residuales de sus sistemas domésticos y productivos, consistiendo estos en su mayoría de sistemas de canales para el desagüe en sus casas y fincas, los cuales van drenando a canales de mayor tamaño, cauces pequeños y / o al río más cercano. Las excepciones la constituyen una minoría de usuarios que cuentan con lagunas de oxidación o biodigestores en sus fincas.

#### **4.4.1.3 Definición y validación de criterios de priorización en la cuenca del Río Sarapiquí**

Se elaboró un listado preliminar de criterios (propuesta de la investigadora), basada en el análisis minucioso de la base de datos desarrollada en etapas anteriores. Se determinaron criterios de priorización que afectan directamente el manejo del recurso hídrico, con el objetivo de someterlos al sistema de compensación de pago por servicios ambientales. Se utilizó información sobre los procesos hidrológicos (intercepción, infiltración, percolación, escorrentía superficial), la vegetación, las condiciones socioeconómicas y de administración de recursos en la cuenca, así como la percepción de las condiciones de la cuenca por parte de la investigadora (Cuadro 17).

Los criterios fueron expuestos, discutidos y validados en un taller con expertos en el manejo de los recursos hídricos (líderes locales, representantes de instituciones gubernamentales y no gubernamentales, funcionarios de empresas privadas, administradores de recursos naturales de la zona, e investigadores con experiencia en la zona). El taller dio como resultado un nuevo listado de criterios de priorización, que incluye tanto algunos criterios iniciales como otros propuestos en la discusión, además de la definición conceptual de cada criterios de priorización. Asimismo, la discusión en el taller planteó la priorización de áreas de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí a través de dos enfoques complementarios: uno para calidad y el otro para cantidad del recurso hídrico. Por esta razón se seleccionaron criterios de priorización para el manejo del recurso hídrico en ambos niveles (Cuadro 17).

**Cuadro 17.** Propuestas de criterios de priorización de áreas de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

<b>Propuesta preliminar de criterios de priorización</b>	<b>Criterios de priorización finales (validados)</b>
Enfoque: Áreas destinadas a Pago por Servicios Ambientales	Enfoque: Recuperación de calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Precipitación</li> <li>2. Capacidad de uso del suelo</li> <li>3. Drenajes, pozos</li> <li>4. Uso actual del suelo</li> <li>5. Población</li> <li>6. Caminos de acceso</li> <li>7. Meses secos</li> <li>8. Tipo de suelo</li> <li>9. Topografía</li> <li>10. Usuarios principales</li> </ol>	<p>Calidad del recurso hídrico:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Precipitación</li> <li>2. Proximidad al río</li> <li>3. Profundidad de pozo</li> <li>4. Uso actual del suelo</li> <li>5. Densidad de población</li> <li>6. Proximidad del camino al río</li> <li>7. Meses secos</li> <li>8. Textura del suelo</li> <li>9. Pendiente.</li> </ol> <p>Cantidad aprovechable del recurso hídrico:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Precipitación</li> <li>2. Meses secos</li> <li>3. Textura del suelo</li> <li>4. Pendiente</li> </ol>

Los criterios finales fueron valorados utilizando nuevamente la opinión de expertos, a través de consulta electrónica. Cada experto contó con información detallada de cada criterio (definición conceptual), el mecanismo de valoración utilizado y un espacio para comentarios o sugerencias.

Para la valoración se requirió del análisis multicriterios; dentro de cada criterio y entre todos los criterios. Para el primer caso, se asignaron valores ordinales dentro de cada criterio en una escala de 1 a 5. Los valores altos indican un alto grado de prioridad de manejo; valores bajos indica la situación contraria. Los criterios de priorización que se utilizan tanto para nivel de calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico, fueron valorados individualmente para cada nivel. La valoración entre criterios consistió en la ponderación de éstos según la importancia relativa que tienen sobre la cantidad y calidad del recurso en la cuenca. Los resultados de la valoración de criterios de los

expertos fueron estandarizados por la investigadora para su posterior utilización en el análisis espacial en SIG. Los resultados de la valoración dentro y entre criterios se detalla en los anexos 8a y 8b.

Se presentaron algunas limitantes para la determinación y valoración de los criterios de priorización:

- Ausencia o no disponibilidad de información clave para definir prioridades de manejo, tales como la capacidad de recarga acuífera y la ubicación precisa de algunos usuarios principales del recurso hídrico.
- La escala y el nivel de precisión de la información secundaria es muy variable, exigiendo un trato prudente en algunos casos.
- Las bases de datos digitales de uso actual del suelo, textura del suelo y densidad de población, debieron ser modificadas y adaptadas para realizar el análisis espacial.

Por tanto, la disponibilidad de la información y en la compatibilidad con los requerimientos del análisis multicriterios por medio de la herramienta de modelaje a utilizar (Model Builder) influyeron en la utilización de los criterios de priorización.

#### **4.4.2 Descripción y valoración de los criterios de priorización de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí**

##### **i. Precipitación**

Criterio utilizado para el análisis a nivel de calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico. Este proceso controla en gran medida el ciclo hidrológico y es relevante para determinar la oferta hídrica en la cuenca.

La mayor precipitación ocurre en la cuenca media, donde se concentra el urbanismo. El reemplazo de la cobertura vegetal por zonas urbanas, carreteras y canales de concreto, incrementan el escurrimiento superficial de las aguas, favoreciendo el arrastre de sedimentos y contaminantes de los sistemas domésticos y productivos hacia la cuenca baja, afectando el recurso hídrico. Asimismo, en esta zona existe menor infiltración del agua (por la impermeabilidad del terreno), impidiendo la recarga de los acuíferos locales para la época de menor precipitación y disminuyendo significativamente el caudal de muchos ríos, pudiendo afectar algunas actividades dependientes del caudal como el transporte fluvial.

Dado que la calidad del recurso hídrico en la cuenca es afectada por la menor precipitación en la cuenca alta y el arrastre de sedimentos y contaminantes en la cuenca media, se asignaron valores superiores a las zonas con menor precipitación. El valor relativo de este criterio fue de 10% con respecto a los demás.

Para el análisis a nivel de cantidad aprovechable del recurso hídrico, este criterio fue valorado con un 35% de importancia relativa por su efecto en la recarga hídrica. En la escala de valores dentro del criterio, se asignaron valores mayores a zonas de menor precipitación.

## **ii. Proximidad al río (m)**

Criterio utilizado para análisis a nivel de calidad del recurso hídrico. Este criterio está relacionado con la accesibilidad de la población a las fuentes de agua superficial para satisfacer sus necesidad de consumo y producción. La importancia de este criterio estriba en que los sistemas urbanos y productivos en la cuenca se concentran en zonas cercanas a los ríos, permitiendo una alta explotación de los recursos naturales, pudiendo incrementar la contaminación de las aguas y disminuir la disponibilidad para otros usos cuenca abajo.

Las zonas más próximas a los drenajes recibieron valores mayores en la escala de valoración dentro del criterio. El valor de importancia relativa entre criterios fue de 20%, debido a que la influencia de este factor fue notoria al evaluar la condición de la cuenca.

## **iii. Profundidad de pozos (m)**

Criterio utilizado para análisis a nivel de calidad del recurso hídrico. En la cuenca del Río Sarapiquí, los pozos se encuentra homogéneamente distribuidos y relacionado con la presencia de comunidades y sistemas productivos. La profundidad del agua subterránea indica la disponibilidad del agua para sus diferentes usos e indica la distancia y el tiempo requerido por los contaminantes para desplazarse a través de la zona saturada del acuífero. A menor profundidad es mayor el riesgo de contaminación, por tanto se asignó mayor valor en la escala dentro de criterios. El valor de importancia relativa entre criterios fue de 15%.

#### **iv. Uso actual del suelo**

Criterio utilizado para análisis a nivel de calidad del recurso hídrico. La capacidad de recarga y el escurrimiento superficial en una cuenca depende también de la cobertura vegetal presente, por su efecto en la protección del suelo y el mantenimiento de condiciones adecuadas de infiltración y percolación, manteniendo los caudales de aguas superficiales durante todo el año y la capacidad de recarga de los reservorios. Asimismo, la cobertura tiene influencia en procesos relacionados con la calidad del agua, tales como las tasas de escorrentía superficial, erosión y sedimentación, turbidez, contenido de organismos infecciosos, temperatura y contenido de oxígeno disuelto. En este sentido, la cobertura boscosa mantiene óptimas las condiciones naturales del agua, especialmente en términos de calidad.

La cobertura predominantemente en la cuenca del Río Sarapiquí es boscosa (54,7% del área). Sin embargo, poco más de la mitad de ésta (51,4%) se encuentra dentro de áreas protegidas como bosques continuos, ubicados en la parte alta de la cuenca. El restante se distribuye en la parte media y baja de la cuenca, y su condición es de alta fragmentación, en parches de diferentes tamaños rodeados de usos antropogénicos, y en muchos casos con alto grado de alteración. En el resto de la cuenca se presenta un mosaico de usos, donde destacan el pasto y la agricultura.

La valoración de este criterio se realizó utilizando como referencia los diferentes usos del suelo, asignando valores mayores a aquellos usos que tienen mayor influencia en la alteración de la calidad natural del agua en la cuenca.

La importancia relativa entre criterios asignada al uso actual de suelo es 10%, a pesar de ser un criterio determinante para priorizar el manejo del agua por su calidad. La razón para esta baja ponderación estriba en la falta de actualización de la información obtenida. La base de información del mapa digital de uso actual corresponde a datos de 1992. La verificación de campo realizada en la presente investigación encontró inconsistencias, especialmente en áreas catalogadas como bosque natural en la cuenca media y baja.

#### **v. Densidad de población (hab / km<sup>2</sup>)**

Criterio utilizado para análisis a nivel de calidad del recurso hídrico. La cuenca media presenta un valor estratégico para el desarrollo de actividades humanas, por contar con

vías naturales de comunicación y por la dependencia común a un sistema hídrico, caminos y vías de acceso. Las comunidades en la cuenca del Río Sarapiquí se encuentran repartidos en la totalidad del área (exceptuando las áreas protegidas y reservas privadas). El crecimiento urbano y la concentración de población incrementa significativamente la demanda de agua. Además, la densidad de población es un mecanismo para ubicar a los pobladores geográficamente e indirectamente los sistemas productivos de la cuenca, suponiendo que los pobladores habitan sus propias fincas productivas.

La densidad de la población en la cuenca se obtuvo a partir de datos del censo nacional de población realizado por el INEC en el 2000; esta información fue transformada a formato digital espacial, y fue adaptada a los requerimientos del modelo de análisis a través de la ponderación de las áreas de los distritos y el cálculo en habitantes por km<sup>2</sup>.

Las zonas con mayor densidad de poblacional fueron designadas con mayor valor para el análisis dentro del criterios. En la valoración entre criterios, se le asignó una ponderación de 5%, debido a que los valores absolutos de densidad poblacional en la cuenca son muy bajos, y con muy baja variabilidad producto de la escala de información generada por INEC (a nivel de distrito). Asimismo, la información obtenida hace imposible considerar la baja densidad de población que en la realidad existen en las áreas protegidas de la cuenca.

#### **vi. Proximidad del camino al río (m)**

Criterio utilizado para análisis a nivel de calidad del recurso hídrico. En la cuenca del Río Sarapiquí las carreteras generalmente se ubican a pocos metros y en forma paralela a los ríos. Los caminos secundarios de la cuenca alta en general presentan pendientes muy pronunciadas y onduladas, y en algunas secciones sufren de lavado por la lluvia, encontrándose expuesto y propenso a volverse fangoso y de difícil acceso, fácilmente erosionables. Asimismo, la presencia de carreteras está relacionada con la explotación de recursos hídricos en la cuenca. En la cuenca se observa un número considerable de viviendas y sistemas agropecuarias en las márgenes de los ríos, además que facilita la extracción de material y el negocio de turismo recreativo.

En la valoración de este criterio, se asignó mayor valor dentro de criterios a las zonas con menor distancia a los caminos. En términos de importancia relativa, se propuso un valor ponderado de 20%.



**vii. Meses secos**

Criterio utilizado para análisis a nivel de calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico. En la cuenca alta del Río Sarapiquí se presentan hasta cuatro meses secos al año, la variabilidad en la disponibilidad de agua entre la época seca y la lluviosa ponen de manifiesto la importancia de preservar y mejorar la capacidad para regular y recargar los acuíferos, debido a que estos controlan la disponibilidad de agua para sus diferentes usos en el resto de la cuenca.

Por esta razón, en la valoración para el análisis de cantidad aprovechable del recurso hídrico de la cuenca se asignaron valores mayores dentro de criterios a las zonas con mayor número de meses secos. La importancia relativa entre criterios asignada fue de 35%.

En lo referente al análisis a nivel de calidad, se asignaron valores mayores para áreas con mayor cantidad de meses secos, debido a la influencia que pueden tener los menores caudales en la mayor concentración de los contaminantes en la cuenca, perjudicando las actividades aguas abajo. La importancia relativa entre criterios asignada fue de 5%.

**viii. Textura del suelo**

Criterio utilizado para análisis a nivel de calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico. Cuando la lluvia logra alcanzar la superficie terrestre, la textura del suelo propicia la formación de espacios porosos y de agregados, que ayudan a la infiltración y percolación del agua que formará parte de los acuíferos, fuente del caudal para los ríos durante la época seca. Entre mayor sea el tamaño de los agregados del suelo, mayor será su infiltración y percolación; por tanto, texturas arenosas permiten mayor infiltración que texturas arcillosas.

En la cuenca media y baja, las clases texturales se distribuyen casi homogéneamente predominando la textura fina con una proporción 56,5%, además de las muy finas, moderadamente finas y medianas con porcentajes de 29,6%, 11,5% y 2,4% respectivamente. En la cuenca alta del Río Sarapiquí no existe información disponible sobre textura de suelo; esta zona corresponde a las áreas silvestres protegidas. Fue necesario completar la base de datos de texturas para incorporar este criterio dentro del modelo de priorización de zonas de manejo de calidad y cantidad del recurso hídrico en

la cuenca. De acuerdo a las características geomorfológicas predominantes y al origen volcánico de estos suelo, se asumió que poseen textura mediana.

La valoración en el nivel de cantidad aprovechable del agua para este criterio asignó valores mayores a las texturas más finas por ser menos eficientes en la infiltración y percolación del agua, y por tanto, en la capacidad de recarga de los acuíferos. El valor relativo entre criterios asignado por el nivel de cantidad de agua fue de 10%, valor bajo explicado por la información incompleta de texturas en la cuenca.

En el caso de la valoración a nivel de calidad de agua, se asignaron valores mayores a suelos de texturas arcillosas por la mayor escorrentía superficial que se produce en ellos, incrementando la capacidad de arrastre de materiales contaminantes hacia aguas superficiales. El valor de importancia relativa entre criterios asignando en el nivel de calidad fue de 5%.

#### **ix. Pendiente**

Criterio utilizado para análisis a nivel de calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico. En relación a su efecto sobre la calidad del agua, la pendiente determina la posibilidad de que un agente contaminante se movilice como escorrentía superficial o que por el contrario permanezca sobre el sitio, aumentando el tiempo disponible para que infiltre y pase a formar parte del agua subterránea. Por otro lado, en relación con su efecto sobre la cantidad aprovechable del agua, la pendiente puede influir en el volumen de agua que infiltre o se escurra superficialmente, y por tanto en la capacidad de recarga de los acuíferos.

La valoración de este criterio para la priorización tanto a nivel de calidad como de cantidad aprovechable del recurso hídrico, asignó valores mayores dentro de criterios a las áreas con mayor pendiente. Los valores relativos de importancia entre criterios fueron de 10% y 20% para el nivel de calidad y cantidad aprovechable respectivamente.

#### **4.4.3 Modelo de análisis espacial para definición de áreas prioritarias**

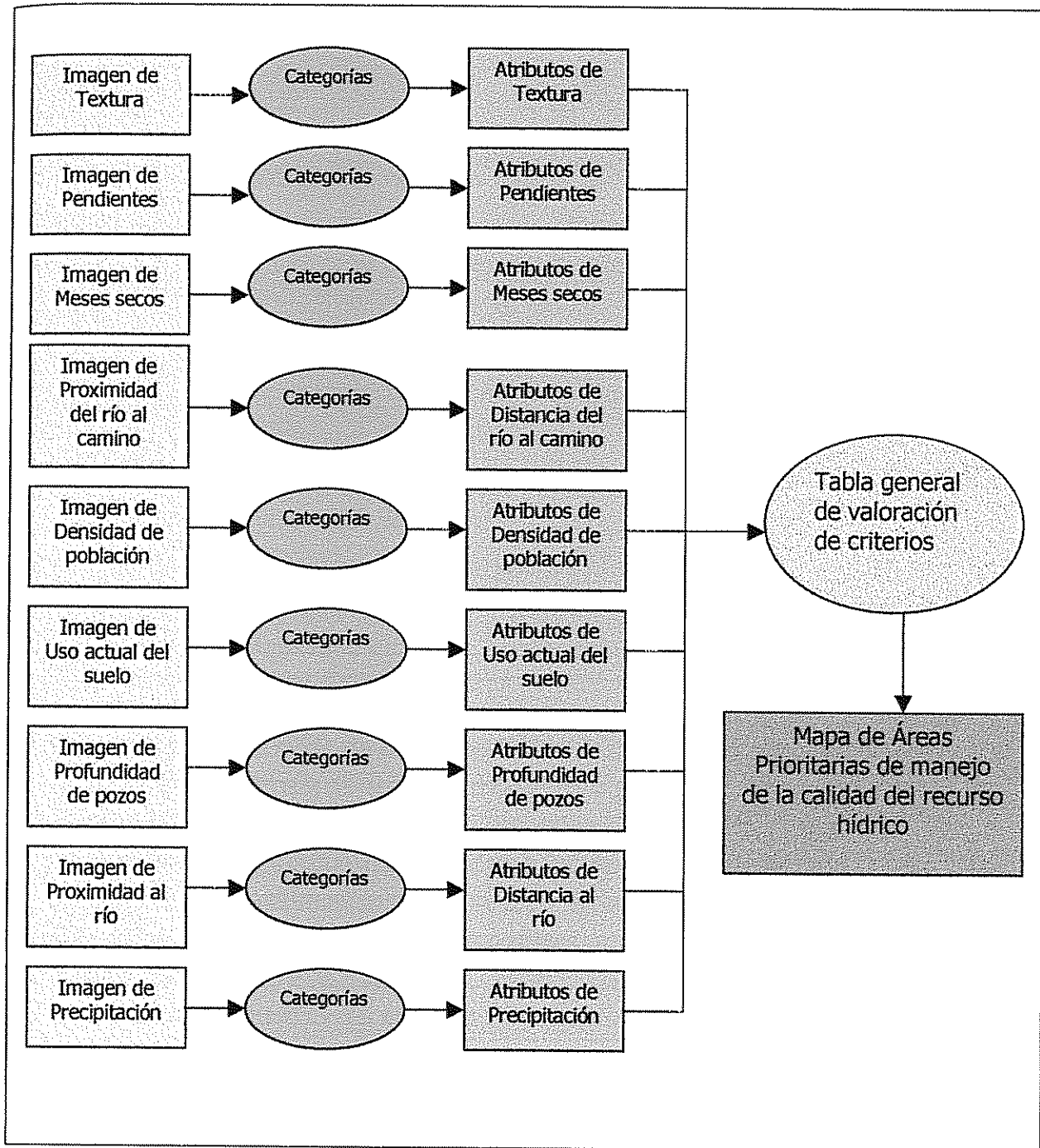
Los resultados de la definición y valoración de los criterios de priorización con sus respectivas categorías (nivel del análisis empleado) fueron utilizados como insumo para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, a través de un modelo de análisis espacial con Sistemas de Información

Geográfica (SIG). Se realizó un análisis multicriterios por medio del Model Builder, que forma parte de las herramientas de análisis espacial (Spatial Analyst) de ArcView 3.2a, programa informático especializado para análisis SIG. La información procesada generó cartografía digital a manera de capas de información, las cuales se interrelacionaron y sobreposicionaron por medio de la interfase del Model Builder (construye, revisa, importa y exporta lo datos), para obtener un modelo digital de áreas prioritarias para la cuenca.

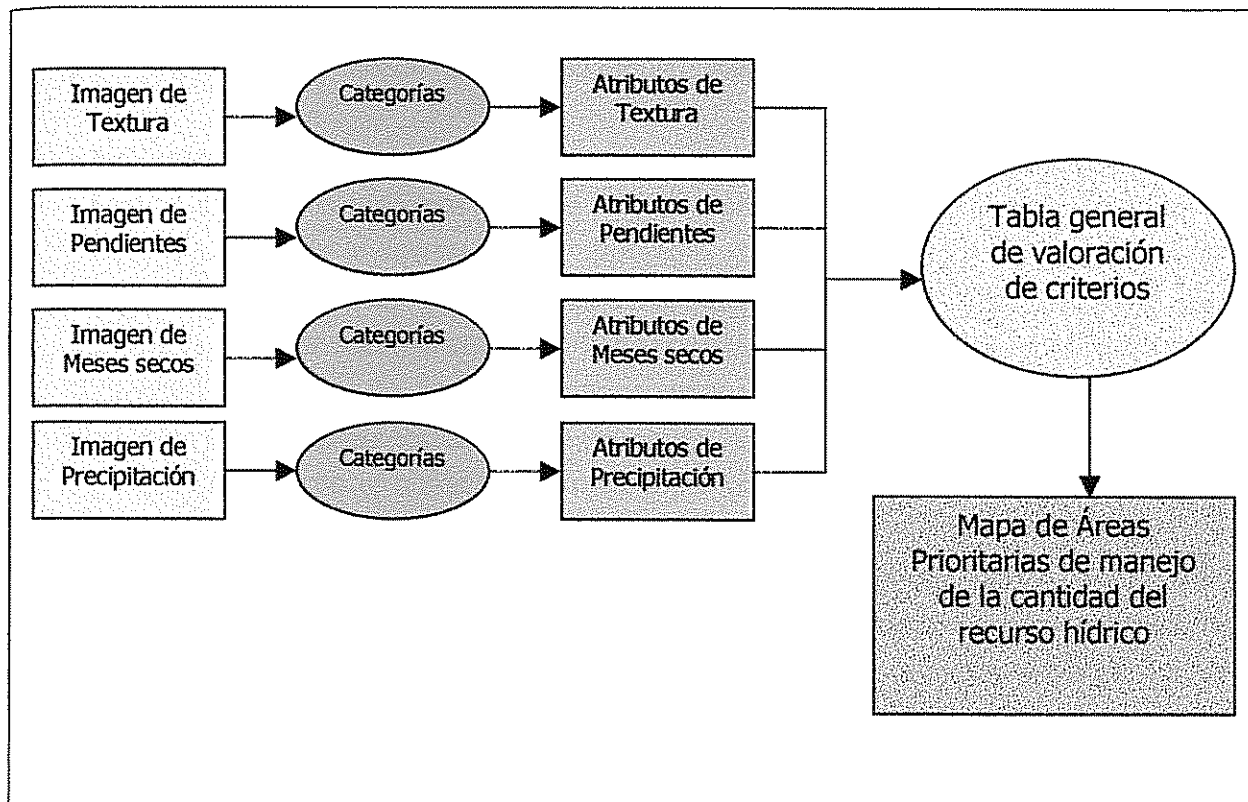
La capas de información iniciales corresponden a las bases de datos de cada uno de los criterios definidos. Esta información fue procesada inicialmente en formato vectorial, como archivos *shape* dentro del programa ArcView. Para hacer uso de la herramienta Model Builder fue necesario transformar la información vectorial en un modelo cartográfico de formato *raster* ó *cuadrícula*, utilizando la operación "convert to grid". En esta etapa se definieron los nivel de resolución de las imágenes (píxeles de 25 x 25 m).

Una vez construidas las capas de información en 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 que considera la cantidad aprovechable del agua. En cada proyecto se construyó un diagrama que especifica la guía de trabajo para el análisis a través del Model Builder (Figura 12 y 13).

**Figura 12.** Diagrama de áreas de priorización de manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.



**Figura 13.** Diagrama de áreas de priorización de manejo de la cantidad aprovechable del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.



El procedimiento de modelaje con Model Builder inició con la introducción de cada capa de información a manera de imágenes (nueve en la calidad y cuatro en la cantidad). En el siguiente paso (*reclass*) se crearon las categorías de valores para cada capa de información (criterios), que corresponden a los niveles dentro de cada criterio. Por ejemplo, aquí se determinó que para la capa de información de *textura del suelo*, se elaboraran cuatro categorías correspondientes a los niveles de textura mediana, medianamente finas, finas y muy finas. En el tercer paso del modelaje se introdujeron los atributos que describen las capas de información.

Después de estas tres etapas se procedió a construir la tabla general de criterios de priorización, donde se incorporaron los resultados de la valoración dentro de criterios y la ponderación entre criterios de la consulta a expertos para todos los criterios o capas de información (Anexo 8a y 8b). Finalmente, 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 análisis multicriterio, por medio del analista espacial Model Builder fue la generación de los mapas y las bases de datos de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico de la cuenca del río Sarapiquí: un proyecto con las áreas de prioritarias de manejo de la calidad del recurso hídrico y otro con las áreas prioritarias de manejo de la cantidad aprovechable del recurso hídrico (Mapas 7 y 8).

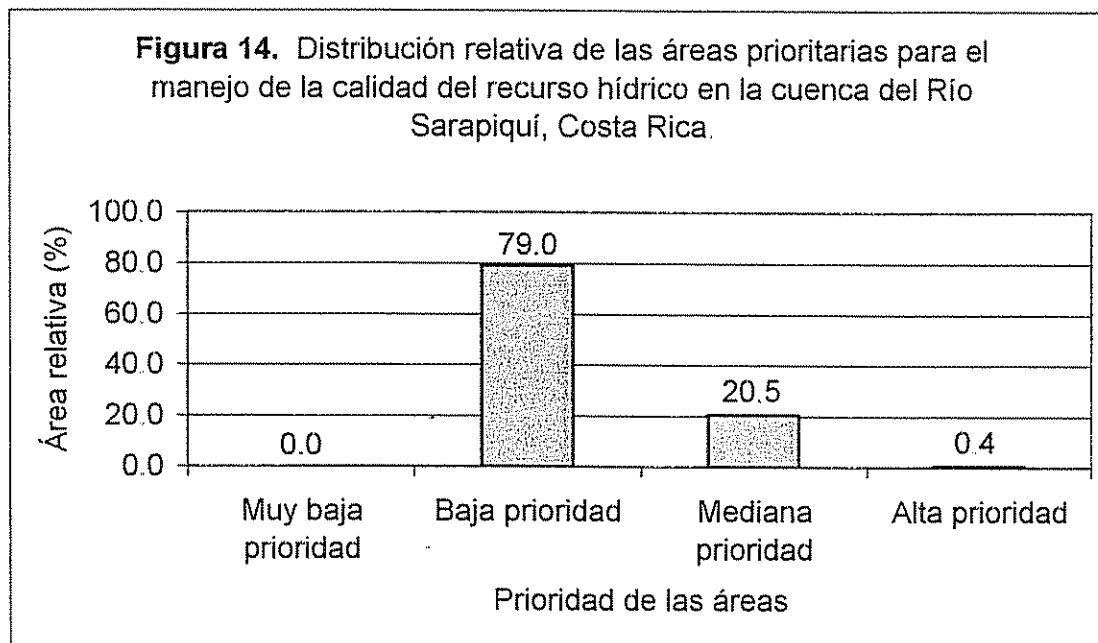
Posteriormente, se generó un mapa con su respectiva base de datos, partiendo del supuesto que en los próximos años se reforestarán 200 m en ambos lados de la orillas de todos los ríos de la cuenca del Río Sarapiquí, como medida de manejo. Se creó en formato *raster* el buffer de las áreas reforestadas en ambos lados (200 m). Se sobrepuso el buffer sobre la capa de información del uso actual del suelo utilizada en la confección del mapa de áreas prioritarias para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí (Mapa 7). La nueva capa de información de uso actual del suelo (con el buffer) se reemplazó por la utilizada en la determinación de las áreas prioritarias de manejo de la calidad del recurso hídrico (Figura 18), conservándose los demás criterios (precipitación, meses secos, proximidad al río, textura entre otros) con sus respectivas valoraciones. Se determinó que la reforestación tendrá un efecto de cobertura similar al bosque secundario, por tanto se mantuvo la misma tabla general de criterios en el diagrama de calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí (Anexo 8a). 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 del Río Sarapiquí.

#### **4.4.4 Análisis de resultados del modelo de priorización de áreas de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí**

##### **4.4.4.1 Nivel de priorización para manejo de calidad del recurso hídrico**

Los resultados del modelo de priorización de áreas de manejo de la calidad del agua en la cuenca del Río Sarapiquí muestran como patrón evidente la escasa representación de áreas críticas para manejo o recuperación. La categoría de prioridad *Muy Alta* es inexistente según los parámetros que componen el modelo y la categoría de *Alta Prioridad* alcanza apenas un 0,4% del área total de la cuenca. A pesar de esta aparente baja representación de áreas con alta prioridad de protección, debe considerarse que, en términos de área, representa 810 ha, situación que podría determinar un efecto significativo en las condiciones de calidad de agua.

Por otro lado, se encontró una predominancia de áreas catalogadas de *Mediana* y *Baja* prioridad, representando esta última categoría el 79,0% del área total de la cuenca (Figura 14 y Mapa 7).



El criterio de *uso actual del suelo* fue determinante en la predominancia de áreas de baja prioridad en la cuenca. La información de uso actual del suelo utilizada para desarrollar el modelo cataloga al bosque, en sus diferentes tipos (primario, secundario e intervenido), como la cobertura principal de la cuenca, determinando bajos valores de riesgo de afectar las condiciones de calidad del agua. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que la información de este criterio fue generada en 1992, y visitas a la cuenca corroboraron la desactualización de la misma, en especial en lo referente a la cobertura forestal. Otra limitante a tomar en cuenta es el nivel de detalle del mapa de uso del suelo de 1992, que no es lo suficientemente fino para reflejar la condición de discontinuidad o fragmentación del bosque remanente en la cuenca, especialmente en la parte media. Estas limitantes determinaron la asignación de una baja importancia relativa a este criterio (10%) para evitar que influyera en el análisis final, pero no se pudo evitar que la cobertura boscosa obtuviera un valor bajo de priorización en la valoración dentro del criterio, y que tuviera peso para las categorías de priorización de las áreas a manejar. La utilización de información de uso actual del suelo de mayor detalle y actualizada con imágenes satélite sería deseable, e influiría en la distribución

de las categorías de prioridad obtenidas, posiblemente aumentando la representación de áreas con mayor nivel de prioridad.

En las zonas donde la carretera y los ríos hacen su recorrido de forma paralela, se determinó un grado de prioridad mediana de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico (20,5% del área total). Esto se debe a que las comunidades en general y los sistemas productivos se desarrollan en las márgenes de los ríos, y se partió del supuesto que éstos son los que más contaminan los recursos hídricos en la cuenca. Por lo tanto, la ponderación que se les otorgó a la proximidad de los ríos y la proximidad de los ríos a la carretera fueron las más altas (20% en ambos), por ser determinantes en la priorización de áreas.

Las zonas con categoría de alta prioridad (0,45% del área) se encuentran distribuidas en pequeños parches en casi toda la cuenca, predominando en la cuenca media y baja. El resultado de esta categoría de prioridad de manejo se encuentra influida básicamente por proximidad de los ríos, la proximidad de los ríos a la carretera y la profundidad de pozos. En este caso, la profundidad de los pozos fue el criterio determinante de la priorización, pues las zonas con el grado de alta prioridad corresponden a zonas con menor profundidad de la tabla de agua. Los tres criterios de priorización no solo son determinantes en la calidad de agua, sino que también fueron los que obtuvieron los porcentajes más altos del total de criterios en la ponderación general.

A nivel de identificación de áreas prioritarias de manejo del agua por la condición de calidad, es de esperar que las áreas de mayor prioridad correspondan a áreas relativamente reducidas, debido al carácter puntual de muchos de los procesos contaminantes de la cuenca, y a la necesaria cercanía de las actividades contaminantes con los fuentes de agua (embalses, lagunas, ríos y pozos); sin embargo, en estos sitios puntuales los niveles de contaminación pueden resultar muy elevados dependiendo del tipo de actividad humana que se desarrolla.

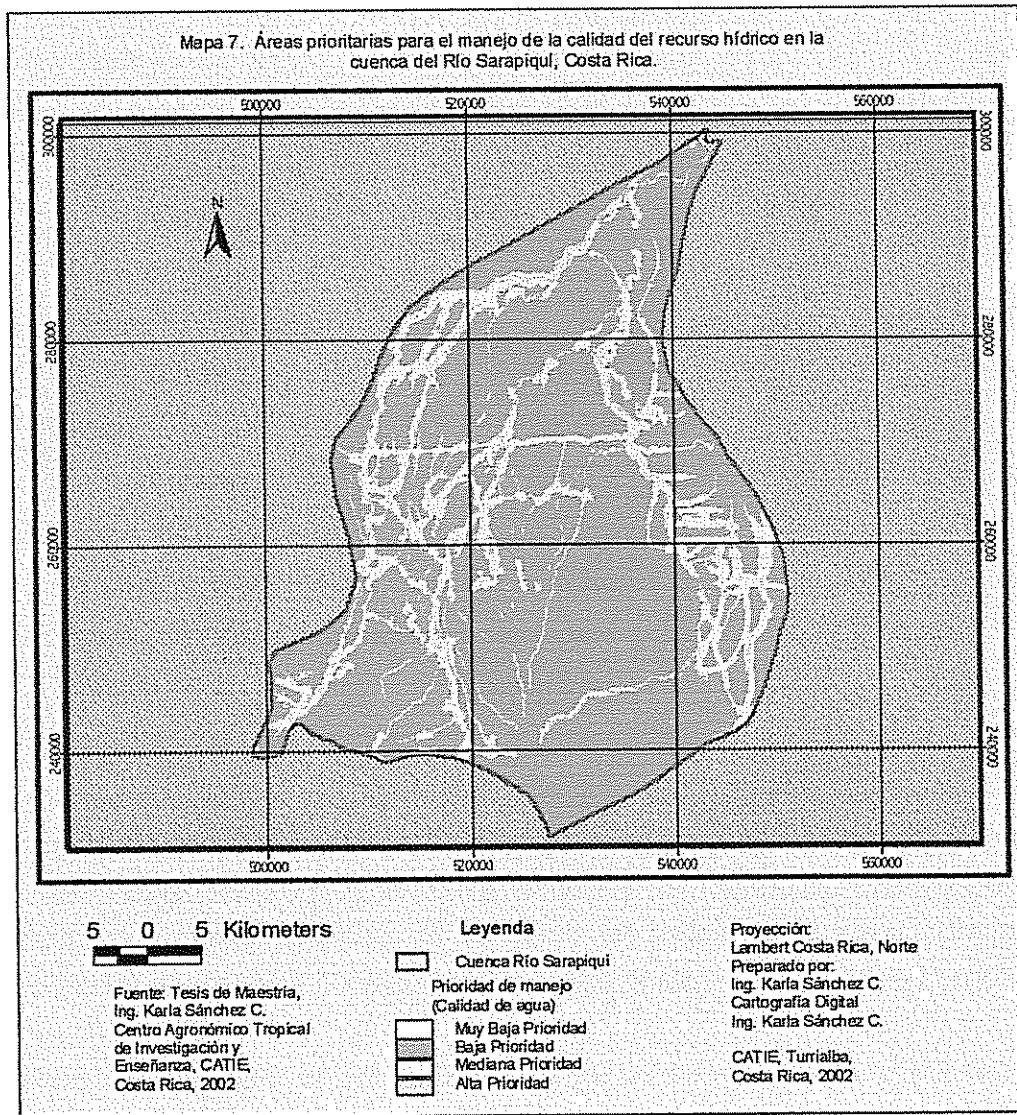
La influencia que tienen algunas actividades humanas en la contaminación de las aguas dentro de la cuenca del Río Sarapiquí hacen evidente la necesidad de incorporar mayor número de criterios relacionados con la presencia y desarrollo de actividades humanas. Sin embargo, la amplia extensión del área de estudio y la ausencia de información secundaria sobre estos aspectos impidieron esto en el presente caso.



Estos resultados 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 también a la recuperación de la cobertura natural en las riberas de los drenajes de la cuenca media y baja.

Centro de Información de la Agricultura  
 Centro de Información Agrícola  
 IICA - CIDIAT

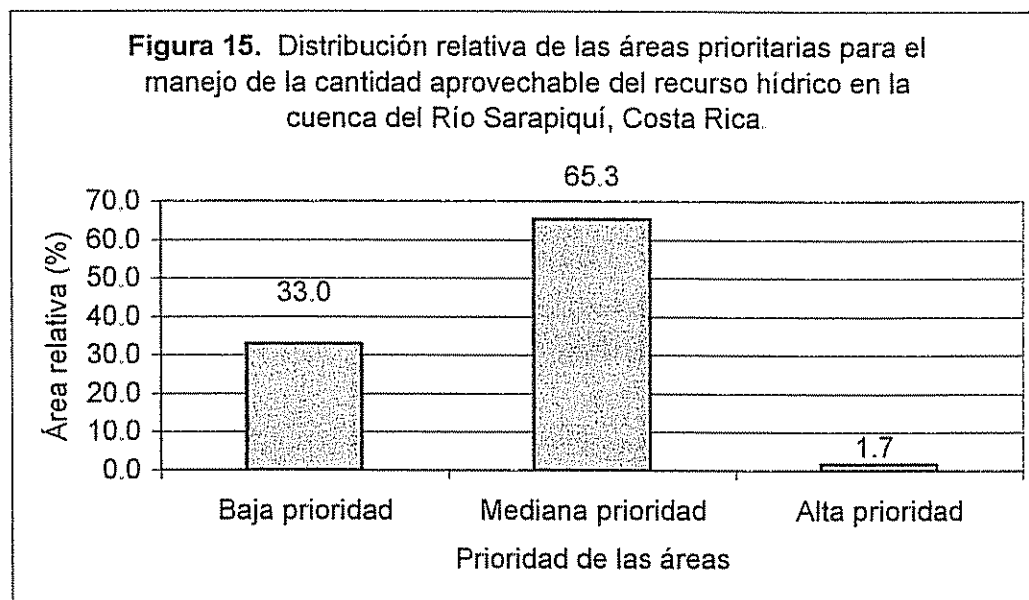
Mapa 7. Áreas prioritarias para el manejo de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.



#### 4.4.4.2 Nivel de priorización para manejo de cantidad del recurso hídrico

Los resultados del modelo de priorización de áreas de manejo de la cantidad aprovechable del agua en la cuenca del Río Sarapiquí muestran una predominancia de áreas catalogadas como de *Mediana* prioridad (65,3%) y de *Baja* prioridad (33,0%). El modelo no identifica sitios de prioridad extrema (*Muy Alta* o *Muy Baja* prioridad de manejo).

La representación relativa de la categoría de *Alta* prioridad es también baja en este nivel de análisis (1,7%), al igual que en el análisis a nivel de calidad del agua. En este caso, se identificaron alrededor de 3 500 ha con categoría de alta prioridad dentro de la cuenca (Figura 15 y Mapa 8).



La limitada disponibilidad de información para introducir algunos criterios de priorización que fueron considerados como relevantes en el modelo de cantidad aprovechable de agua, tuvo como resultado la excesiva influencia del criterio de precipitación, en los resultados del análisis espacial. Al comparar las imágenes de áreas prioritarias y la precipitación, se observa un mismo patrón de información espacial en la cuenca.

Las áreas con categorías de priorización mediana se ubican en la parte alta de la cuenca y desde finales de la cuenca media y hasta terminar la cuenca baja, debido que en estas áreas se presentan las menores precipitaciones de la cuenca. La valoración asignada a

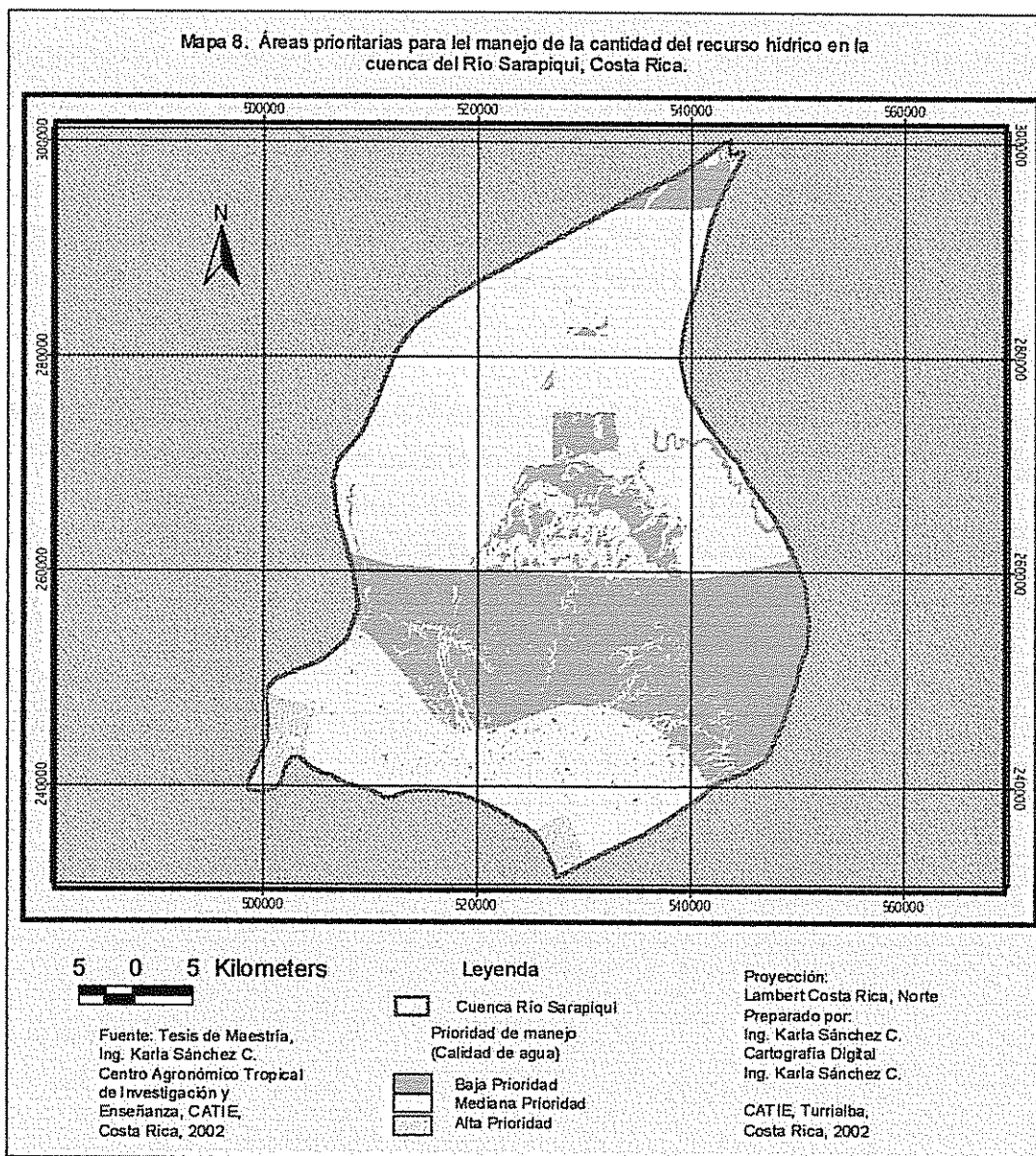
la precipitación determinó que la cuenca presente predominancia de esta categoría de prioridad.

La cuenca media presenta las precipitaciones más altas por lo tanto su prioridad de manejo se cataloga como baja. Sin embargo, se debe considerar que esta misma zona presenta la mayor demanda de agua y el mayor nivel de residuos líquidos, elementos que no pudieron ser incorporados como criterios para el modelo por la no disponibilidad de información adecuada. La existencia de áreas de prioridad baja en la cuenca posiblemente sea también influencia del criterio de textura del suelo, que presenta valores de textura mediana en esta zona.

A diferencia del modelo de calidad de agua, las condiciones que determinan la prioridad de manejo del agua por su cantidad aprovechable son de carácter natural. En la cuenca alta se presentan dos parches de tamaño significativo con categoría de *alta prioridad* (1,7% del área total de la cuenca), resultado de la combinación de valores de criterios que sugieren riesgo de baja infiltración. En esta parte de la cuenca, la precipitación presenta los menores valores (3 000 mm) y los más altos para los meses secos (hasta cuatro meses), además de ser una zona las pendientes más pronunciadas. Estos criterios son decisivos en la oferta hídrica de la cuenca, tanto para las aguas superficiales como para las aguas subterráneas. El abordaje de éstas áreas para reducir el riesgo en relación al efecto en la cantidad de agua aprovechable, debe orientarse al fomento de coberturas que aseguren el mantenimiento de las condiciones óptimas de infiltración y baja escorrentía superficial, y a la vez que tengan un efecto en la captación de agua adicional por intercepción horizontal en época seca, que contrarreste la menor precipitación recibida. Cobertura permanentes, altas y de varios estratos, con mantenimiento de mantillo cumplen adecuadamente esta labor.

Sin embargo, a diferencia también del modelo de calidad de agua, la relación del efecto del área sobre los procesos que mantienen el rendimiento hídrico en la cuenca, es de carácter extensivo. Es decir, el efecto de la baja capacidad de recarga que puede darse en las áreas catalogadas como de alta prioridad para el manejo en este modelo, es diluido por los efectos de las áreas de mediana y baja prioridad, que aseguran recarga hídrica en grandes extensiones dentro de la cuenca.

Mapa 8. Áreas prioritarias para el manejo de la cantidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.



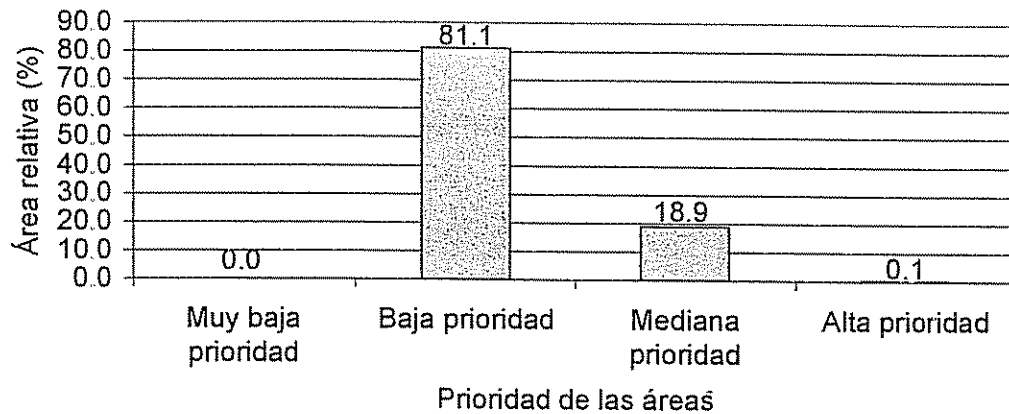
#### 4.4.4.3 Nivel de priorización para manejo de calidad del recurso hídrico: escenario de recuperación de cobertura boscosa en riberas

Los resultados del modelo bajo el escenario de reforestación de las riberas de los ríos en la cuenca, para la priorización de áreas de manejo de la calidad futura del agua en el Río Sarapiquí, muestran como patrón una evidente recuperación de la calidad del recurso hídrico. La categoría de prioridad *Muy Alta* es inexistente, al igual que en el modelo anterior, según los parámetros que componen el modelo. Las áreas críticas de *Alta Prioridad* que se determinaron en el modelo anterior de calidad del recurso hídrico, paso de un 0,4% a un 0,1% del área total de la cuenca. En términos de área, representan 607,5 ha de recuperación de las condiciones de calidad de agua (Cuadro 18) con respecto al escenario actual.

**Cuadro 18.** Comparación entre el estado actual de las áreas prioritarias para la calidad del recurso hídrico y el escenario de reforestación de las riberas de los ríos, en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica (valores en porcentajes).

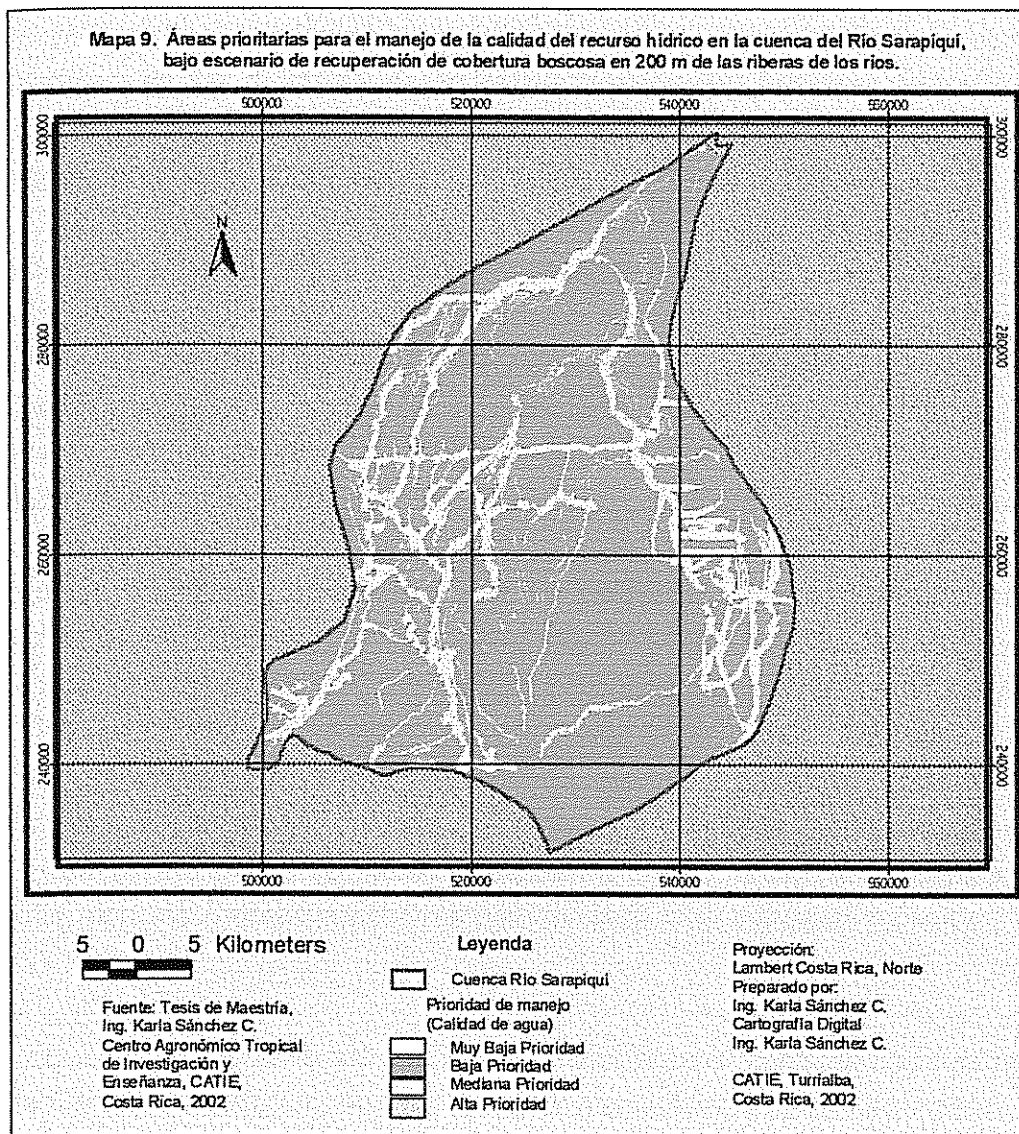
<b>Categoría</b>	<b>Calidad actual del recurso hídrico</b>	<b>Calidad del recurso hídrico (escenario con reforestación)</b>	<b>Diferencia</b>
Muy baja prioridad	-	-	-
Baja prioridad	79,0	81,1	+ 2,1
Mediana prioridad	20,5	18,9	- 1,6
Alta prioridad	0,4	0,1	- 0,3
Muy alta prioridad	-	-	-

**Figura 16.** Distribución relativa de las áreas prioritarias para el manejo de la calidad del recurso hídrico, el escenario de reforestación de las riberas de los ríos en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.



Las áreas catalogadas de *Baja* prioridad mantienen su predominancia, la cual paso de 79,0% a 81,1% (aumento en 2,1%). Por otro lado, el área con prioridad *mediana* disminuyo en 1,6%, paso de 20,5% a 18,9% del área total de la cuenca (Figura 16 y Mapa 9).

**Mapa 9. 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.**



#### **4.4.5 Consideraciones de la metodología de priorización de áreas de manejo del recurso hídrico**

El objetivo principal de esta propuesta fue brindar los lineamientos generales de una metodología para priorizar áreas de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí. Luego de proponer la metodología y aplicarla, como estudio de caso en la cuenca, se describe a continuación un diagrama explicativo de las etapas de trabajo. Las etapas deben de ser ajustadas de acuerdo a la situación particular en cada cuenca, donde se desee replicar la metodología, pudiendo agregar o eliminar etapas cuando se consideren pertinente (Figura 17).

Dependiendo del conocimiento que se tenga de la problemática de la cuenca y de la disponibilidad de información (actual, precisa y segura), así será la efectividad de los criterios de priorización y la valoración de los mismos. Por lo tanto, el conocimiento del funcionamiento de la cuenca y la caracterización de los usuarios principales, fue fundamental en la identificación de la problemática de la calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico en la cuenca, y su posterior priorización de áreas.

La definición de criterios de priorización y sus respectivas valoraciones, son los pilares sobre el cual se sustenta la metodología. Es conveniente trabajar con un número amplio de criterios, de este modo se reduce la posible influencia que un criterio ejercería sobre los otros, para el análisis de las áreas prioritarias. Además, el análisis multicriterios que se realizó la valoración dentro cada criterio y entre el total de criterios, es indispensable analizar los criterios de acuerdo a las características particulares de la cuenca; un criterio puede ser determinante en la oferta hídrica de la cuenca del Río Sarapiquí, pero no necesariamente es determinante o su influencia es menor, en otra cuenca.

Para que una base de datos sea útil, es importante obtener datos de cómo se realizó el levantamiento de la información y su posterior manipulación. Esta información debería de incluir los procedimientos para recolecta y compilación de datos, esquema de codificación, exactitud de instrumentos, entre otros. Desafortunadamente tal información no está a menudo disponible, los usuarios de una base de datos espacial generalmente no saben cómo los datos fueron capturados y procesados antes de ser ingresados, llevando a menudo a una mala interpretación y a crear expectativas falsas sobre la exactitud.



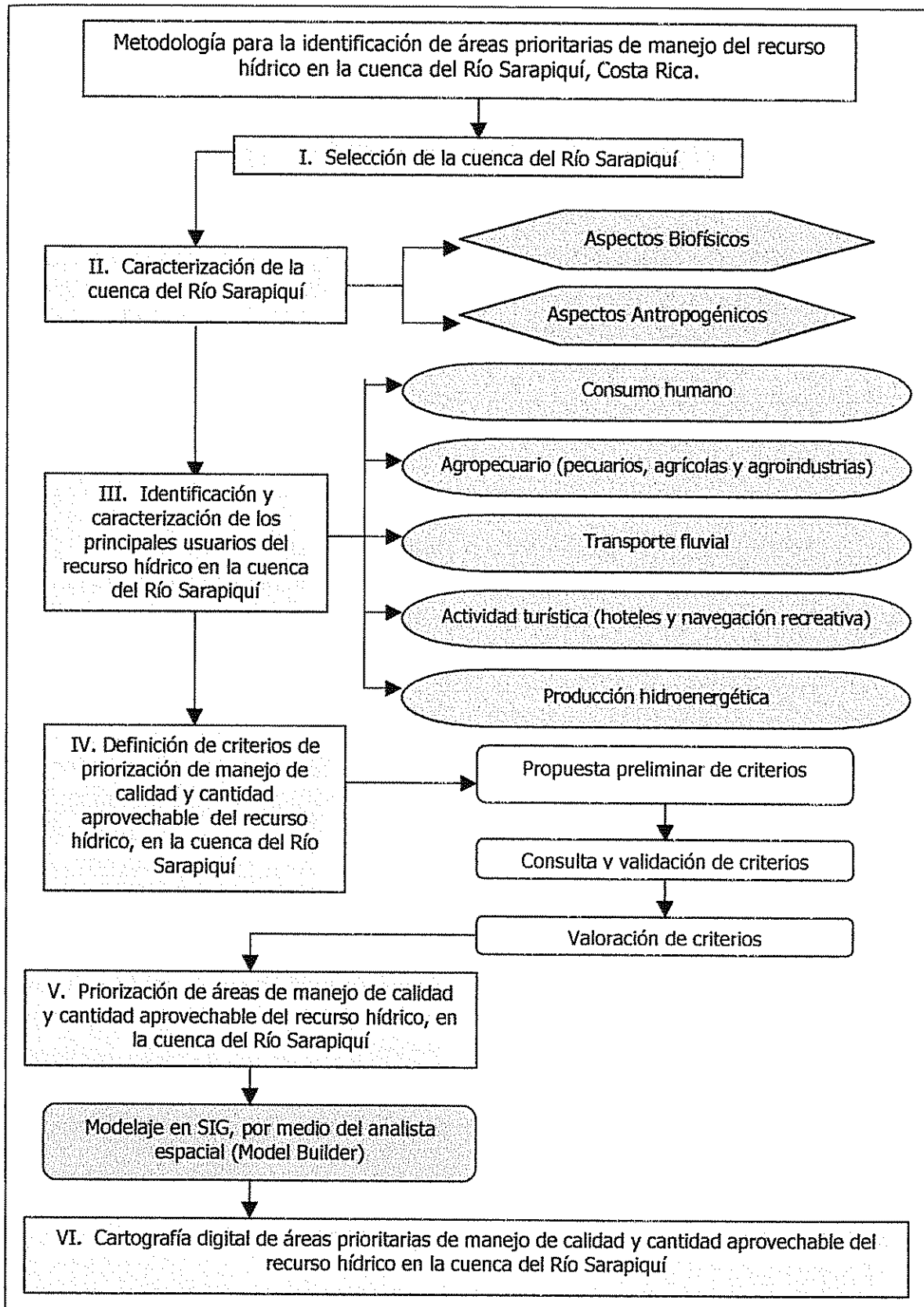
Las limitaciones de calidad de la información utilizada para realizar el análisis espacial tuvo necesariamente un efecto importante en la precisión de los resultados del modelo. La posibilidad de generación de información primaria fue muy baja, principalmente por la extensa dimensión de la cuenca de estudio (2 025 km<sup>2</sup>). Esto también tuvo un efecto importante en la precisión y nivel de detalle de la información secundaria obtenida.

Sin embargo, a pesar de las limitantes identificadas, la propuesta y aplicación de la metodología de modelaje espacial para fines de priorizar áreas de manejo del recurso hídrico, demuestro ser práctico y de poca rigidez, de manera que se puede desarrollar con una base de información secundaria, que posteriormente puede ser actualizada y complementada con nueva información, a distintos grados de detalle.

La identificación de áreas prioritarias, se señalo un proceso de jerarquización de las áreas (alta o baja prioridad), de acuerdo a los criterios biofísicos y antropogénicos previamente definidos, con el único fin de lograr la recuperación y manejo de los recursos hídricos en la cuenca. Un aspecto que se debe recalcar es el carácter relativo de la clasificación de prioridad de áreas de manejo. Cuando se categoriza en alta prioridad o baja prioridad de manejo del recurso hídrico en la cuenca, en realidad lo que estas categorías establecen es hacia donde se deben de guiarse a corto plazo los esfuerzos de recuperación en la cuenca de análisis, y hacia donde los esfuerzos a mediano y largo plazo.

Cuando se trabaja con nuevas propuestas metodológicas, es conveniente tomar en cuenta no solo la factibilidad de reproducción de la metodología, sino el tiempo, los profesional requeridos y los costos en la ejecución. El Modelaje a través del Model Builder, es una opción viable en su ejecución; un profesional competente con conocimientos básicos en las herramientas de trabajo de Arc View, es apto para llevar a cabo el modelo; disminuyendo los costos y tiempo en la capacitación de personal encargado en el desarrollo de las diferentes etapas de la investigación. Además, el modelo es muy versátil, esta creado para ser aplicado en diversos tipo de análisis, donde es posible identificar áreas que son susceptibles a la erosión o para localizar zonas aptas para habitar.

**Figura 17.** Diagrama de la metodología de priorización de áreas de manejo en calidad y cantidad aprovechable del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.



## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Se identificó al proceso de contaminación de agua por fuentes antropogénicas como el principal problema hídrico en la cuenca. La mayoría de los usuarios del agua, hacen un manejo nulo o ineficiente de aguas residuales, consistiendo estos (en su mayoría) en sistemas de canales para desagüe en los sistemas domésticos y productivos, los cuales son vertidos finalmente a drenajes naturales.
2. Algunos sectores de población han alcanzado sensibilidad sobre la importancia del manejo del agua en la cuenca, lo que se refleja en acciones individuales y colectivas implementadas para su recuperación. Ciertos sistemas productivos grandes han introducido tecnologías de menor impacto ambiental (lagunas de oxidación, biodigestores y abonos orgánicos como lombricompost, gallinaza y porcínaza), procurando disminuir al máximo la contaminación de las aguas y los suelos de la cuenca.
3. Existe una necesidad urgente de asesoría en cuanto a prácticas y obras de conservación de suelos y aguas para los pequeños y medianos productores agropecuarios. Asimismo, se requiere mayor control en el manejo de desechos y agua residuales de uso domésticos, para garantizar una regulación adecuada de los flujos de aguas en toda la cuenca.
4. La etapa de diagnóstico de la cuenca y de usuarios principales es fundamental para la identificación de la problemática y la definición y valoración de los criterios de priorización.
5. El aspecto más importante de recalcar en la metodología de Análisis Multicriterio desarrollada, es la definición de los criterios de priorización, así como la valoración de los mismos. Es preferible la utilización de la mayor cantidad de criterios 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 esta cuenca desempeña en la conceptualización de cada uno de los criterios, para evitar errores de sobre valoración de criterios.
6. Los resultados del modelo de priorización de áreas de manejo de la cantidad aprovechable del agua, muestran una predominancia de áreas catalogadas como de

*Mediana* y de *Baja prioridad* con prioridad 65,3% y 33,0% respectivamente. El modelo no identifica sitios con *Muy Alta* o *Muy Baja prioridad*. La categoría de *Alta prioridad* es baja (1,7%), representando al alrededor de 3 500 ha con dentro de la cuenca. Por otro lado, el modelo de priorización de áreas para el manejo de la calidad del recurso hídrico refleja predominancia de zonas catalogadas de *Baja prioridad* (79%) y *Mediana prioridad* (21%). Esto refleja el carácter puntual de las fuentes de contaminación de las aguas de la cuenca.

La viable aplicación de un plan de reforestación de las riberas de los ríos, proveería una evidente recuperación de la calidad del recurso hídrico, esto lo evidencia la categoría de *Alta prioridad*, donde se pasó de un 0,4% (810 ha del área total de la cuenca), para el escenario de calidad del actual del agua, a un 0,1% para el escenario de reforestación de las riberas de los ríos, representando 607,5 ha de recuperación de las condiciones de calidad de agua. Las áreas catalogadas de *Baja prioridad* son predominantes en ambos modelos, la cual paso de 79,0% a 81,1% (aumento en 2,1%) y el área con prioridad *mediana* paso de 20,5% a 18,9% (disminuyo en 1,6% del modelo actual al de recuperación).

7. En la identificación de áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico, se señaló una jerarquización de las áreas prioritarias, en categorías de alta a baja prioridad. Las categorías en el modelo de priorización establecen hacia dónde deben dirigirse a corto plazo los esfuerzos de recuperación en la cuenca, y hacia donde los esfuerzos a mediano y largo plazo.
8. En general la metodología de Análisis Multicriterio es muy 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.
9. La herramienta Model Builder es práctica y de poca rigidez, y factible para la identificación de áreas prioritarias para el manejo del agua por medio del Análisis Multicriterio. Igualmente, puede ser utilizada como herramienta de modelaje para tomas decisiones de estrategias de manejo y recuperación de la cuencas, así como herramienta de monitoreo, para evaluar el desempeño y resultados de su implementación.
10. La priorización Multicriterio con Model Builder 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 una opción viable en estudios donde los costos y el tiempo son determinantes.

11. Es necesario abordar los problemas y posibles soluciones con un enfoque integral, reconociendo el carácter multisectorial del aprovechamiento del agua. Cada grupo de usuarios demanda requerimientos específicos de calidad y cantidad aprovechable, y en su uso originan cambios en condiciones del agua para otros usuarios, quedando cada vez más disminuida la disponibilidad del agua cuenca abajo.

### **Recomendaciones**

1. La amplia extensión de la cuenca y su complejidad asociada generó dificultades en la posibilidad de generación de información primaria, por lo tanto, es conveniente la aplicación y validación de la metodología en una cuenca con menor extensión donde se pueda generar información primaria precisa y con el nivel de detalle más adecuado para este tipo de análisis en áreas prioritarias.
2. Es conveniente mayor contacto con los usuarios principales del recurso hídrico en el levantamiento de la información para la caracterización de los usuarios. Es indispensable el trabajo por medio de diagnósticos participativos, por medio de talleres en lugar de las entrevistas estructuradas. De esta forma, se genera mayor interacción entre el investigador y los usuarios, y a su vez se visualiza de una forma más clara las condiciones del recurso hídrico y de las perspectivas presentes y futuras que tengan los usuarios para el manejo del recurso hídrico, debido al mayor contacto entre los mismos usuarios.
3. En la definición de los criterios prioritarios se trabajó por medio de un taller y luego una consulta electrónica con expertos. Es deseable trabajar únicamente con un taller de expertos donde se presenten los criterios preliminares, se puedan generar nuevos criterios y la definición conceptual y valoración de los criterios. De esta forma se puede manejar una discusión más abierta (es provechoso la discusión del grupo), surgiendo una mayor cantidad de ideas, y se aminora el tiempo y los costos.
4. Es deseable la incorporación de criterios de priorización relacionados con la oferta y demanda del recurso hídrico en la cuenca, debido a que estos son indicadores relevantes para la toma de decisiones en la definición de un manejo integral de la cuenca. Además, se requiere de una ubicación precisa de todos los usuarios de la

recurso hídrico (sobre todo los sistemas agropecuarios), para utilizarlos como uno de los principales criterios de priorización, debido que son ellos los principales contaminantes de la cuenca.

5. Se sugiere la utilización de información primaria o de fuentes secundarias validadas, debido a que la precisión del modelo depende de este factor. Además es indispensable la verificación de campo para minimizar los errores que se pudieran estar cometiendo a la hora de ubicar digitalmente las áreas prioritarias.
6. Se debe de tomar más en cuenta las políticas en cuanto al manejo de las aguas residuales, como la ley de vida silvestre que establece una prohibición de arrojar aguas servidas, aguas negras, desechos o cualquier sustancia contaminante a cualquier sistema hídrico. Se menciona entre otras cosas, la creación de plantas de tratamiento, donde se debe determinar cual tecnología es más apropiada y establecerá los plazos para su aplicación. Igualmente, las normas sobre calidad del agua, que establecen los requisitos básicos a los cuales deben de responder la calidad de agua suministrada en los servicios para consumo humano y para uso doméstico, independientemente de su estado de origen o grado de tratamiento. El reglamento determinan las regulaciones físico, químicas, biológicas y microbiológicas. Otra normativa importante para el futuro de la cuenca, es el canon ambiental por vertidos de agua, aplicable a las condiciones de Costa Rica y que se encuentra en estudio en la Asamblea Legislativa. Es un instrumento económico cuyo propósito es el diseño de una propuesta de cargo por contaminación hídrica, concebido como un instrumento de política ambiental orientado a prevenir y controlar la contaminación de las aguas por parte de fuentes puntuales de aguas residuales.
7. Es necesario la creación de autoridades descentralizadas en el manejo de la cuenca, que coordinen esfuerzos actuales y futuros para el manejo del recurso hídrico. Donde tanto el recurso hídrico como las políticas para el desarrollo e ingreso por uso, descargas y beneficios ambientales, puedan manejarse bajo la operación a nivel de usuarios y proveedores del servicio hídrico en la misma cuenca.
8. En la totalidad de la cuenca se viene efectuando desde 1997 el PSA, que se ha visto como un impulsador de al recuperación de la cobertura boscosa en la parte alta de la cuenca y algunas áreas claves de la cuenca media y baja. Es

indispensable el fomento de programas y políticas de compensación de beneficios ambientales e internalización de costos ambientales por el manejo del servicio ambiental hídrico. Este programa pueda operar a nivel interno de la cuenca, permitiendo la existencia de un flujo continuo y permanente de ingresos dentro de la cuenca, dándole sostenibilidad financiera para inversión en el mejoramiento de las cuencas para aumentar las existencias de capital hídrico.

9. Se debe de tomar en cuenta los esfuerzos que se vienen dando con las empresas privadas (P.H. Don Pedro S.A. y ESPH), para poder compensar los servicios ambientales. En la cuenca se encuentran algunas hidroeléctricas importantes, así como empresas turísticas, agroindustrias y sistemas productivos grandes, que pudieran ser estudiadas, como posibles generadoras de fondos para el manejo del recurso hídrico en la cuenca.
  
10. La importancia que tiene el recurso hídrico en el desarrollo de la sociedad, es una justificación para que se consideren en la formulación de políticas y como elemento decisorio en la administración de cuencas. Resulta fundamental entonces, desarrollar una visión sostenible del agua que posibilite la promoción y el rápido desarrollo y accesibilidad de las tecnologías, que sean altamente compatibles y respetuosas con el medio ambiente, donde se respeten los derechos humanos, se preserve el ecosistema y se posibilite el acceso equitativo a niveles de calidad de vida óptimos a la sociedad en su conjunto.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Arce C, Ángel. 1989. Priorización de las cuencas hidrográficas de Guatemala para propósitos de planificación del desarrollo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 202 p.
- Asamblea Legislativa. 2000. Proyecto de Ley: declaratoria de la cuenca del río Sarapiquí como Monumento Histórico Natural. San José, CR. 8 p.
- Atlas Agropecuario de Costa Rica. 1994. Universidad Estatal a Distancia. San José, CR. p. 80 - 90.
- Barrantes, G; Castro, E. 1999. Estructura tarifaria ambientalmente ajustada: internalización del valor de variables ambientales. Empresa de Servicios Públicos de Heredia, S.A. (ESPH, S.A.). Heredia, CR. 102 p.
- Barrantes, G; Vega, M. 2000. Evaluación del Servicio Ambiental Hídrico en la cuenca del Río Savegre con fines de ordenamiento territorial. Proyecto: "Desarrollo sostenible de la cuenca hidrográfica del Río Savegre". Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS). 32 p.
- Bruijnzeel, L. 1990. Hydrology of moist tropical forest and effects of conversion: a state of knowledge review. UNESCO – Free University Amsterdam, NL. 224 p.
- Buch, M. 2001. Evaluación del riesgo a deslizamientos en la subcuenca Matanzas, Río Polochic, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 152 p.
- Cabrera C, RO. 1987. Identificación de áreas críticas con base a criterios biofísicos y análisis básico de la degradación específica y transporte de sedimentos en la cuenca superior del Río Chixoy, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 174 p.
- Camacho H, MJ. 2001. Evaluación de la metodología de intervención del programa: desarrollo rural sustentable para la conservación de cuencas hidrográficas; caso microcuenca del Río Colorado, Serranía del Turimiquire, Venezuela. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 139 p.



- Campos, D. 1987. Hidrología superficial aplicada vol. 1. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, MX. 290 p.
- Centro Regional de Estudios en Economía Ecológica (CRESEE). 2000. El cobro de Servicio Ambiental Hídrico de la biodiversidad como mecanismo para financiar conservación y recuperación de ecosistemas de ladera. Heredia, CR. 6 p.
- Campos, JJ; Finegan, B; Villalobos, R. 2001. Assessment, conservation and sustainable use of forest Biodiversity. Montrea, CA. 120 p.
- Cordero S, S. 1998. Modelo cartográfico para la asignación óptima del Pago de Servicios Ambientales. Cartago, CR, ITCR. 92 p.
- Cubero, D. 2001. Clave de bolsillo para determinación de la capacidad de uso de las tierras. MAG, CR. 19 p.
- Delgado R, LD. 2001. Servicios ecológicos de los bosques tropicales: regulación del ciclo hidrológico. Apuntes de clases del curso de Bases Ecológicas para la Producción Sostenible. CATIE, Turrialba, CR. 26 p.
- Espinoza, N; Gatica, J; Smyle, J. 1999. El Pago de Servicios Ambientales y el desarrollo sostenible en el medio rural. Unidad Regional de Asistencia Técnica (RUTA). San José, CR. 57 p.
- Fallas, J. 2002. Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en Costa Rica: una aproximación utilizando el modelo DRASTIC y Sistemas de Información Geográfica. Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Escuela Ciencias Ambientales y Programa Regional en Manejo y Conservación de Vida Silvestre. UNA, Heredia, CR. 17 p.
- Fassbender, H. 1993. Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales. Segunda edición. CATIE, Turrialba, CR. 136 - 158 p.
- Faustino, 1996. Gestión ambiental para el manejo de cuencas municipales. Turrialba, CR. CATIE. 148 p.

- \_\_\_\_\_ 1988. Modelo de procesos erosivos. Proyecto Regional de Manejo de Cuencas. CATIE / AID / ROCAP. 47 p.
- \_\_\_\_\_ 1987. Variables de determinantes en la identificación de áreas críticas en tierras de laderas. In. Memoria de la conferencia usos sostenidos de tierras en laderas. Quito, EC. 41 p.
- Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). 2002. Mapa digital de Pago de Servicios Ambientales, para la cuenca del Río Sarapiquí, CR. 1 disco compacto, 8 mm.
- \_\_\_\_\_ 2000. El desarrollo del Pago de Servicios Ambientales en Costa Rica. San José, CR. 63 p.
- Gerther, G. 2000. Uncertainty assessment of natural resource systems with error budgets. Conferencia impartida en CATIE, Turrialba, CR.
- González S, NE. 2001. Áreas críticas y vulnerabilidad a desastres naturales en la subcuenca Molino Norte y San Francisco, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 113 p.
- Hamilton, L; Pearce, A. 1986. Biophysical aspects in watershed management. In. Watershed Resources Management: An integrated framework with studies from Asia and the Pacific. Westview Press / Boulder and London. p 33 – 49.
- Holdridge, L. 2000. Ecología basada en zonas de vida. IICA, San José, CR. 216 p. (Colección libros y materiales educativos / IICA, N 83).
- Holdridge, LR. 1978. Ecología basada en zonas de vida. IICA, San José, CR. 216 p.
- Imbach, AC ; Fassbernder ; HW ; Borel ; R, Beer, J ; Bonnemann, A. 1989. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and cacao with poró (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica: water balances, nutrient inputs and leaching. Agroforestry systems 8: 267 - 287.

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

\_\_\_\_\_ 2001b. Estudio de Impacto Ambiental para el Proyecto Hidroeléctrico Cariblanco. Sarapiquí, CR. 1 disco compacto, 8 mm.

\_\_\_\_\_ 1999. Incidencia en el Sector Eléctrico de la eventual declaratoria del Río Sarapiquí como Patrimonio Histórico - Natural. San José, CR.

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

Instituto Geográfico Nacional (IGN). Hojas Cartográficas (Cutris 3348 II, Trinidad 3348 III, Chaparrón 3347 I, Chirripó Atlántico 3447 IV, Aguas Zarcas 3347 III, Río Cuarto 3347 II, Río Sucio 3447 III, Quesada 3346 IV, Poás 3346 I, Guápiles 3446 IV y Barva 3346 II), a escala de 1: 50 000 del Instituto Geográfico Nacional. Proyección Lambert, Costa Rica Norte. 1966.

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 disco compacto, 8 mm.

Jiménez, F. 1986. Balance hídrico con énfasis en precolación de dos sistemas agroforestales: café - poró y café - laurel en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 104 p.

McDade, LA; Bawa, KS; Hespeneide, HA; Hartshorn, GS. 1994. La Selva: ecology and natural history of a neotropical rain forest. University of Chicago Press, US. 486 p.

Medina B, JM. 1995. Identificación de áreas críticas y plan de reforestación mediante sistemas de información geográfica, en la cuenca del Río Purires, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 88 p.

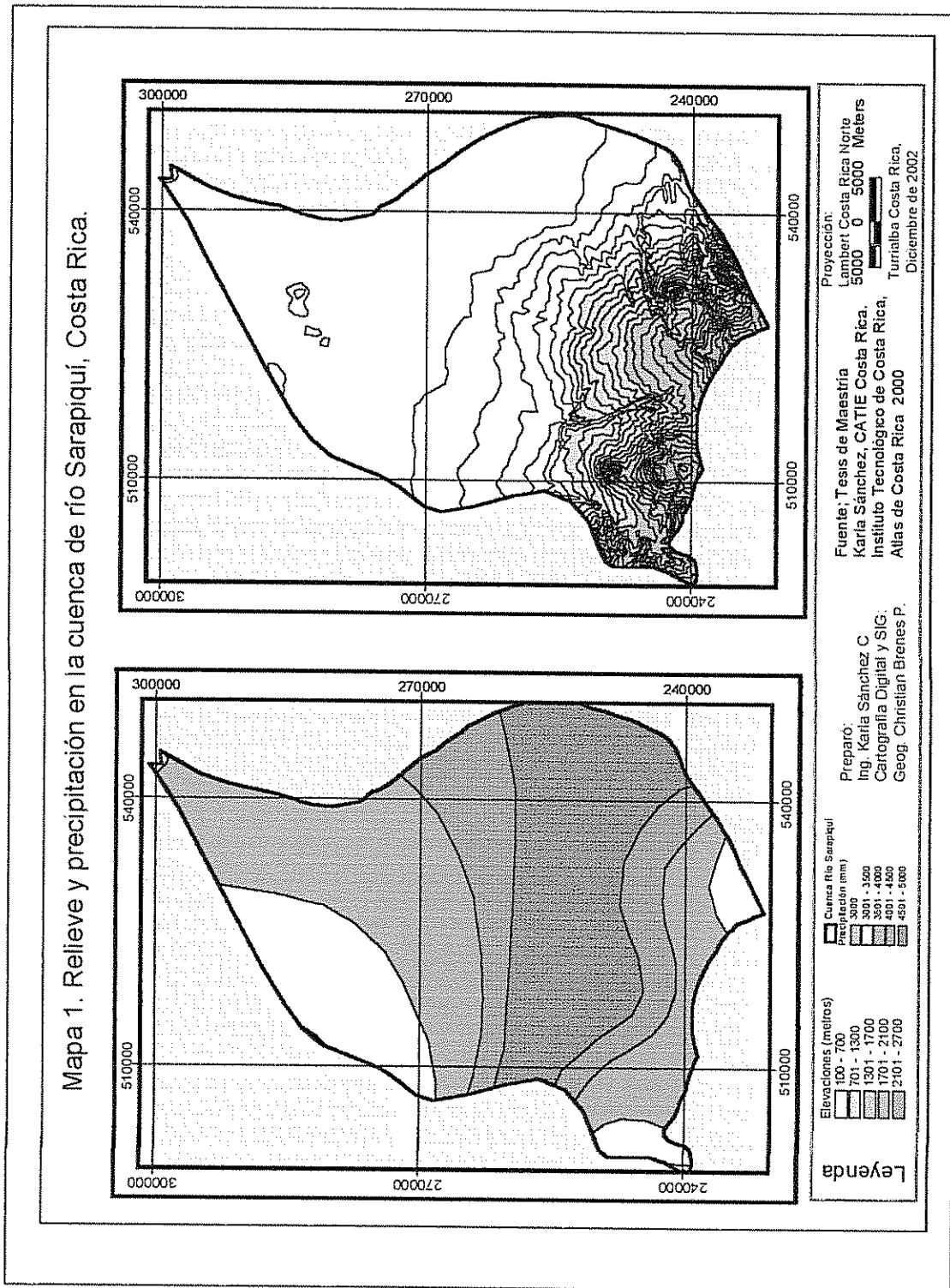
- Méndez V, E. 2001. Análisis espacial del tipo de uso de la tierra en la cuenca del Río Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 66 p.
- Mendoza, GA; Hartanto, H; Prabhu, R; Villanueva, T. 2002. Multicriteria and critical threshold value analyses in Assessing sustainable forestry: model development and application. *Journal of sustainable forestry* 15(2): 28-35.
- MIDEPLAN (Ministerio de Planificación). 1998. Plan Nacional de Desarrollo Humano. <http://www.mideplan.go.cr/pnd/plan19982002/index.html>. San José, CR.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2002. Mapa digital de la Capacidad de uso del suelo, para a cuenca del Río Sarapiquí, CR. 1 disco compacto, 8 mm.
- \_\_\_\_\_. 2000. Mapa digital de los sistemas de producción pecuarios en la cuenca del Río Sarapiquí. Proyecto de Erradicación del Gusano Barrenador. Sarapiquí, CR. 1 disco compacto, 8 mm.
- \_\_\_\_\_. 1999. Plan Anual Operativo 1999 - 2002. Dirección Regional Huetar Norte. Ciudad Quesada, San Carlos, CR.
- Mora A, GA. 1994. Establecimiento y medición de parcelas permanentes y temporales para crecimiento y determinación de la calidad en las plantaciones forestales creadas con incentivos (CAF, FDF), en la región de trabajo de FUNDECOR, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. ITCR, Cartago, CR. 78 p.
- Programa de Desarrollo Rural. 1996. Plan de Operación Cantonal. Gobierno de Costa Rica. Sarapiquí, CR.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 1997. Manejo ambiental y desarrollo sostenible de la cuenca del Río San Juan: estudio de diagnóstico de la cuenca del Río San Juan y lineamientos del plan de acción. Washington D. C., US. p 20 - 34.
- Quesada M, C. 1990. Estrategia de conservación para el desarrollo sostenible de Costa Rica. ECODES / Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas. San José, CR. 180 p.

- Ramakrishna, B. 1997. Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. San José, CR. GTZ / IICA. 338 p. (Serie de Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible).
- Remeineras, G. 1975. Tratado de hidrología aplicada. Editores técnicos asociados S.A. Segunda edición. Barcelona, ES.
- Rosa, H; Herrador, D; González, M; Cuellar, N. 1999. El agro Salvadoreño y su potencial como productor de servicios ambientales. Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA). 15 p.
- Sáenz S, F. 1995. Identificación de áreas críticas para el manejo de un sector de la cuenca del Río Paxcuare, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 145 p.
- SENARA. 2002. Mapa digital de Pozos y Aforos de la cuenca del Río Sarapiquí, CR. 1 disco compacto, 8 mm.
- Stadtmüller, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales, medidas para mitigarlo. CATIE, Turrialba, CR. Informe técnico N°10. 62 p.
- Tattenbach, F. 1998. La Conservación y el uso de la biodiversidad para el desarrollo sostenible: valoración de los Servicios Ambientales, la experiencia en Costa Rica. Adrián G. Rodríguez. BID, San José, CR. 120 p.
- 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 p.
- Turcios M, MX. 1999. Bosque, agua y electricidad; consideraciones para el Pago por Servicios Ambientales en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 65 p.

- Van der Merwe, JH; Lohrentz, G. 2001. Demarcating Coastal Vegetation Buffers with multicriteria evaluation and GIS at Saldanha Bay, South Africa. *Ambio* 30(2):89-95.
- Zeledón, JM. 2001. Aprovechamiento hidroeléctrico en Costa Rica: experiencia en la apertura de la generación hidroeléctrica y el desarrollo sostenible. Dpto. Aguas del MINAE. San José, CR. 15 p.
- Zeledón, R. 1999. Código Ambiental. Editorial Porvenir 2ª ed. San José, CR. 320 p.

6. ANEXOS

Anexo 1. Mapas de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.



Mapa 2. Áreas de conservación, áreas protegidas y proyectos hidroeléctricos en la cuenca de río Sarapiquí, Costa Rica.

**Leyenda**

- Proyectos hidroeléctricos Privados
- Proyectos hidroeléctricos Estatales
- Áreas de Conservación
  - ARENAL - HUETAR NORTE
  - CORDILLERA VOLCANICA CENTRAL
  - TORTUGUERO
- Áreas de Protección
  - BOSQUE ALEGRE
  - BRAULIO CARILLO
  - CORDILLERA VOLCANICA CENTRAL
  - CORREDOR FRONTERIZO
  - EL CHAYOTE
  - GRECIA
  - JUAN CASTRO BLANCO
  - LA SELVA
  - RIO TORO
  - VOLCAN POAS
  - Cuenca Río Sarapiquí

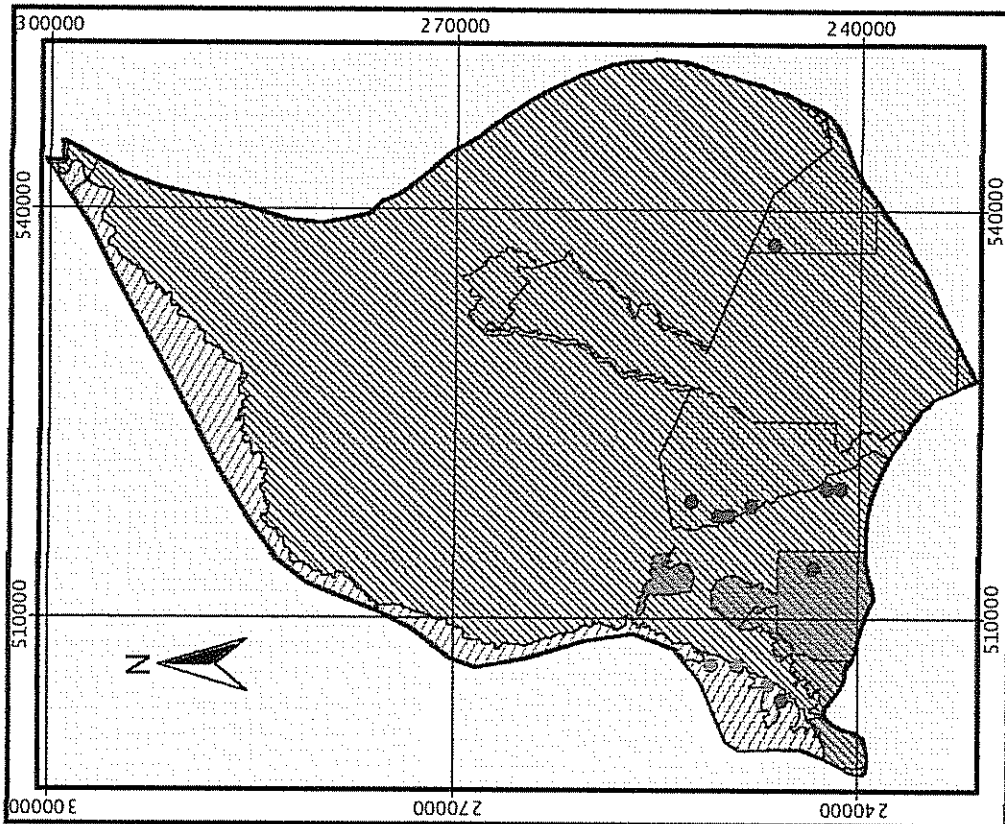
Preparó:  
 Ing. Karla Sánchez C  
 Cartografía Digital y SIG:  
 Geog. Christian Brenes P.

Fuente; Tesis de Maestría  
 Karla Sánchez, CATIE Costa Rica.  
 Instituto Tecnológico de Costa Rica,  
 Atlas de Costa Rica 2000

Proyección:  
 Lambert Costa Rica Norte

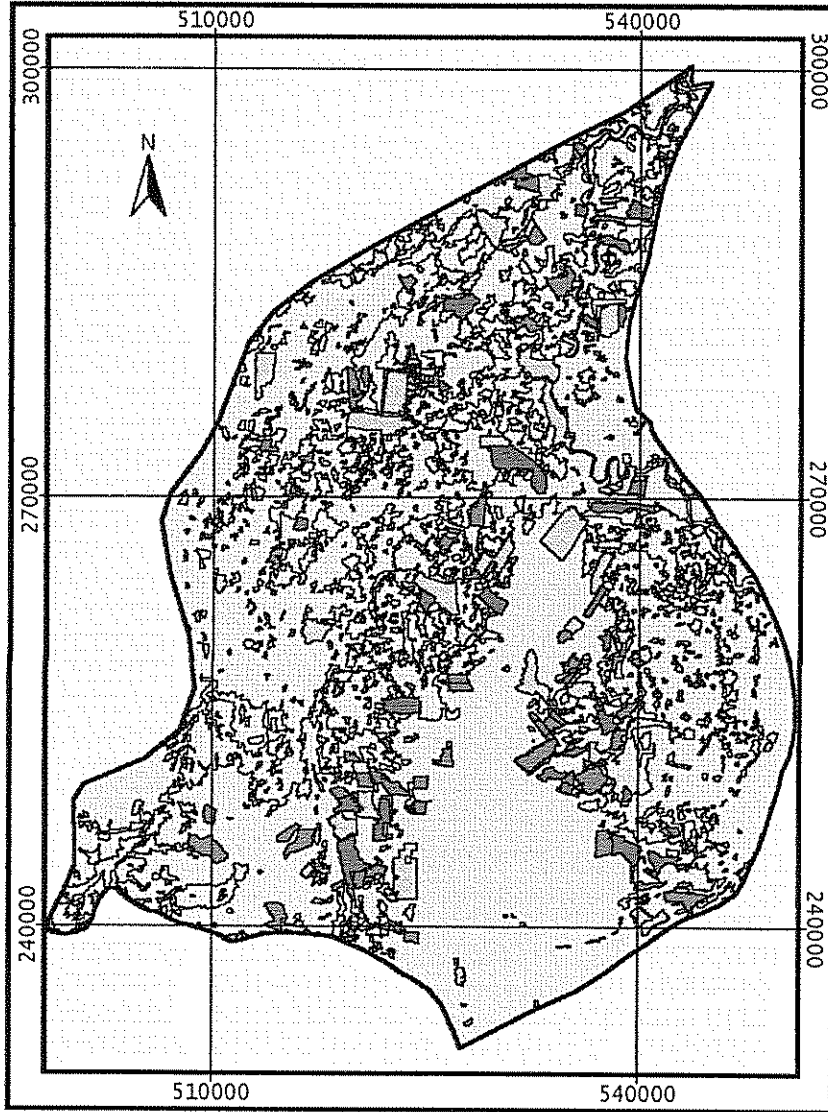
5000 0 5000 Meters

Turrialba Costa Rica,  
 Diciembre de 2002





Mapa 3. Bosque, no bosque,  
y Pago por Servicios Ambientales en la cuenca de río Sarapiquí, Costa Rica.

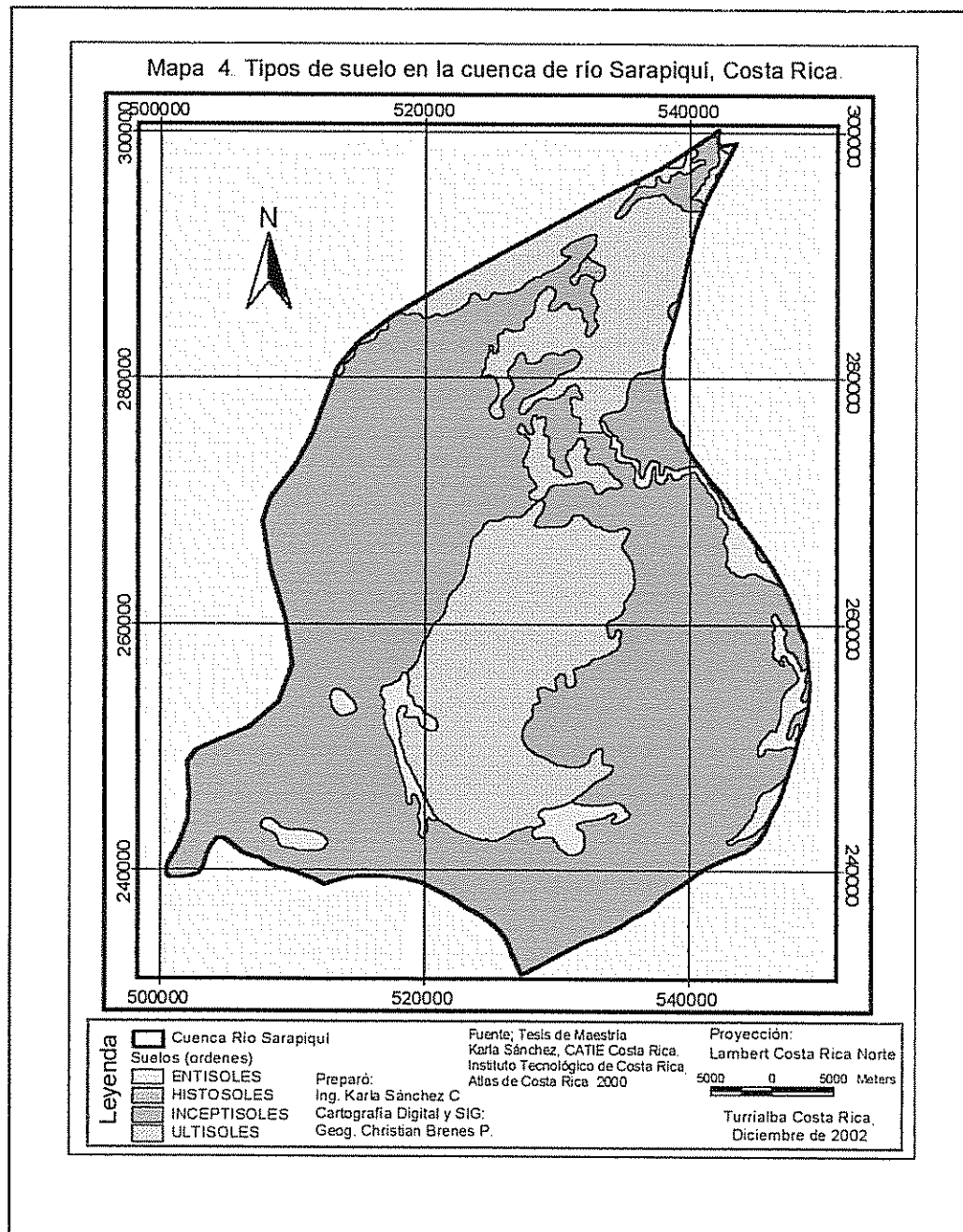


- Leyenda**
- Cuencas y Ríos Sarapiquí
  - Pago por Servicios Ambientales
  - PROTECCION
  - RESTRECCION
  - AREA
  - BOSQUE
  - NO BOSQUE
  - MADES
  - ZAMBRAZ

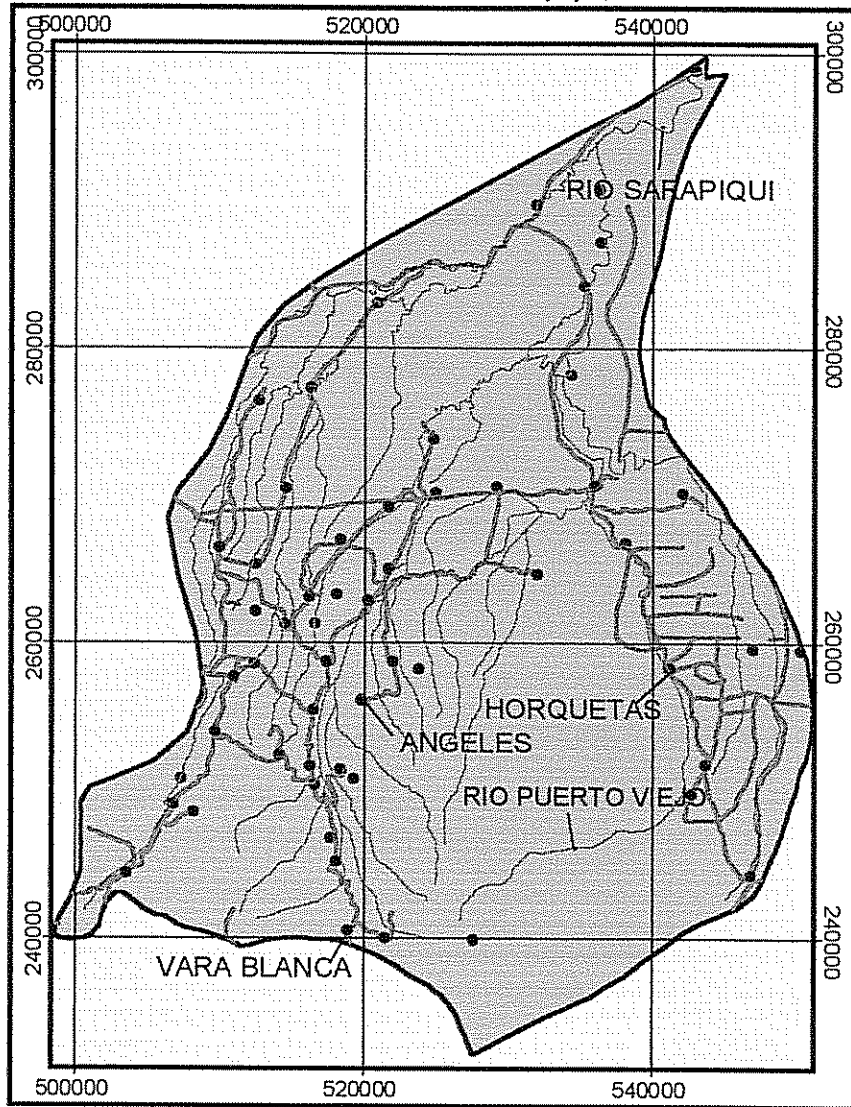
Preparó:  
Ing. Karla Sánchez C  
Cartografía Digital y SIG:  
Geog. Christian Brenes P.

Fuente; Tesis de Maestría  
Karla Sánchez, CATIE Costa Rica.  
Instituto Tecnológico de Costa Rica,  
Atlas de Costa Rica 2000  
Fondo Nacional de Financiamiento  
Forestal 2002

Proyección:  
Lambert Costa Rica Norte  
5000 0 5000 Meters  
Turrialba Costa Rica,  
Diciembre de 2002



Mapa 5. Carreteras, ríos y caminos en la cuenca de río Sarapiquí, Costa Rica.



Leyenda

- Ríos
- Poblados
- Carreteras
- Cuenca Río Sarapiquí

Fuente: Tesis de Maestría  
 Karla Sánchez, CATIE Costa Rica.  
 Instituto Tecnológico de Costa Rica.  
 Atlas de Costa Rica 2000

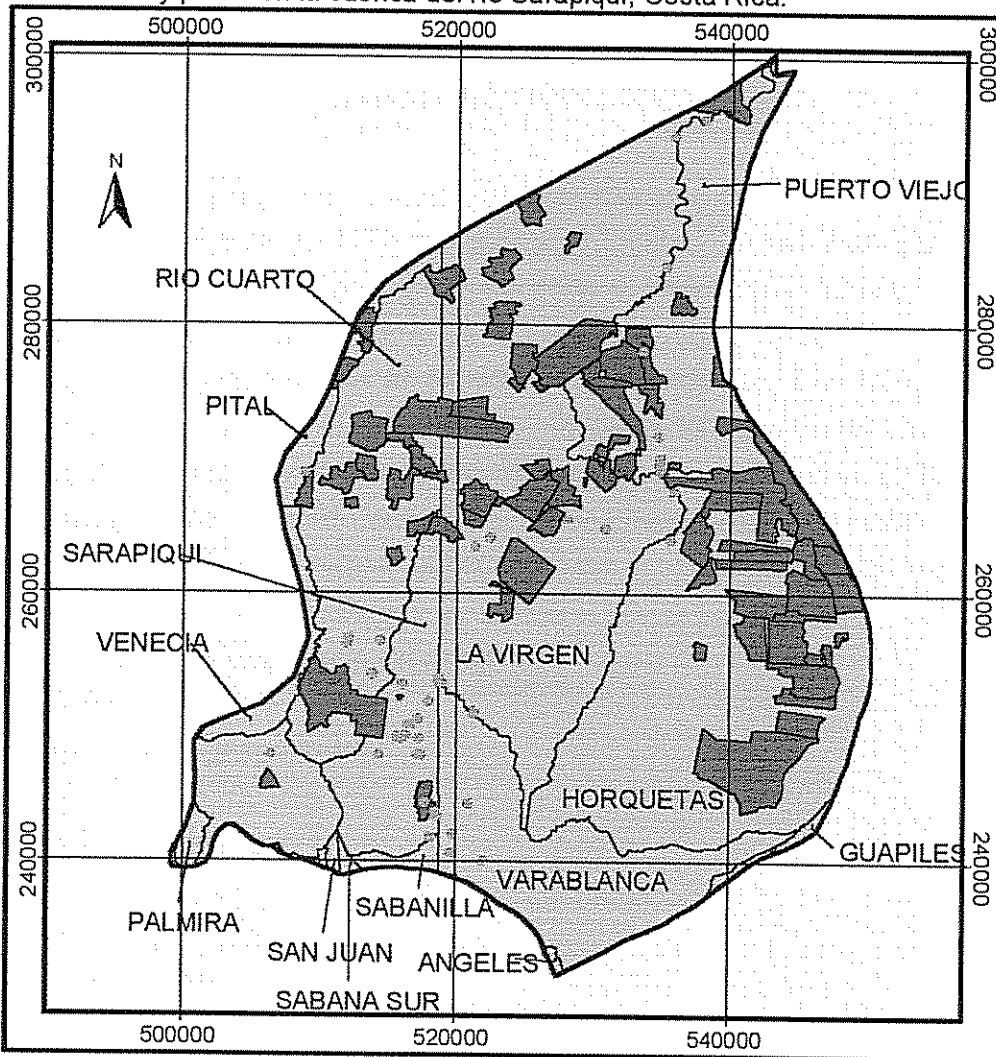
Preparó:  
 Ing. Karla Sánchez C.  
 Cartografía Digital y SIG:  
 Geog. Christian Brenes P

Proyección:  
 Lambert Costa Rica Norte

5000 0 5000 Meters

Turrialba Costa Rica,  
 Diciembre de 2002

Mapa 6. Distritos, asentamientos y pozos en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica.



<p>Preparó:                  Ing. Karla Sánchez C                  Cartografía Digital y SIG:                  Geog. Christian Brenes P</p>	<p>Fuente; Tesis de Maestría                  Karla Sánchez, CATIE Costa Rica                  Instituto Tecnológico de Costa Rica,                  Atlas de Costa Rica 2000                  Instituto de Desarrollo Agrario 2002,                  Servicio Nacional de Riego y Avenamiento                  2002. Fondo Nacional de                  Financiamiento Forestal 2002</p>	<p>Proyección:                  Lambert Costa Rica Norte</p> <p>5000 0 5000 Meters</p> <p>Turrialba Costa Rica                  Diciembre de 2002</p>
<p><b>Leyenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Cuenca Río Sarapiquí</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; border-radius: 50%; margin-right: 5px;"></span> Pozos</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #cccccc; margin-right: 5px;"></span> Asentamientos</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #e0e0e0; margin-right: 5px;"></span> Distritos</li> </ul>		

**Anexo 2.** Entrevista realizada a los principales usuarios del recurso hídrico de la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

**ENTREVISTA METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS  
PRIORITARIAS PARA LA RETRIBUCIÓN FINANCIERA POR EL SERVICIO  
AMBIENTAL DE PROTECCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO  
SARAPIQUÍ, COSTA RICA.**

Esta entrevista es parte del trabajo de investigación del Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), con sede en Turrialba. Se está llevando a cabo para identificar y caracterizar los principales usuarios y beneficiarios directos (actuales y potenciales) del recurso hídrico dentro de la cuenca del Río Sarapiquí.

La información que usted brinda es estrictamente confidencial y no servirá para otros usos que los requeridos para la investigación. Es parte del Proyecto de Tesis para optar al grado de Maestría en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas en CATIE, llevado a cabo por la Ing. Karla Sánchez Campos. Si desea obtener más información referente a la investigación, puede comunicarse al 558 2000 ext. 2746 ó [ksanchez@catie.ac.cr](mailto:ksanchez@catie.ac.cr)

**1. Información por categoría de usuario**

**i. Productor Agropecuario**

- Ubicación del productor
- Tipo de actividad que realiza
- Tamaño de la propiedad
- Historia (social / familiar / productiva)

**ii. Navegación Comercial / Turística (transportista acuático)**

- Ubicación del transportista
- Servicios que realiza transporte / comercio / turismo
- Afiliaciones (asociaciones, organizaciones e instituciones)

- Historia (social / familiar / productiva)
- Número de personas transportadas por día / semana / mes / año
- Tarifas por el servicio

### **iii. Acueducto Rural**

- Nombre del Acueducto rural
- Ubicación del Acueducto rural
- Historia (social / productiva)
- Comunidades que abastecen
- Número de personas que abastecen
- Tarifas por el servicio
- Relación con otros Acueductos rural
- Relación con el Acueductos y Alcantarillados

### **iv. Hotel**

- Nombre del hotel
- Ubicación del hotel
- Servicios que realiza hospedaje / recreación
- Historia (social / productiva)
- Número de personas hospedadas por día / semana / mes / año

- Tarifas por los servicios

**v. Navegación recreativa (rápido y kayak)**

- Nombre de la empresa
- Ubicación de la empresa
- Afiliaciones (asociación / organización)
- Historia (social / familiar / productiva)
- Número de personas transportadas por día / semana / mes / año
- Tarifas por el servicio

**vi. Proyecto Hidroeléctrico**

- Nombre del proyecto hidroeléctrico
- Ubicación del proyecto hidroeléctrico
- Historia (social / productiva)
- Relaciones con otras empresas
- Relaciones con el Instituto Costarricense de Electricidad

**vii. Agroindustria**

- Nombre de la agroindustria
- Ubicación de la agroindustria
- Servicios que realiza productivos / industriales / comerciales
- Historia (social / productiva)

## 2. Información general relacionada al recurso hídrico

1. Descripción del proceso productivo, con relación al uso del recurso hídrico
  - Descripción del proceso productivo / actividad de uso y su relación con el recurso agua
  - Consuntivo o no consuntivo
  - Comercial
  - Público
2. Zona / región / área de influencia del proceso con relación uso del recurso hídrico
  - Directa (puntual)
  - Indirecta (extensiva)
3. Forma de administración del recurso agua
  - Privada (individual)
  - Comunal (colectiva)
  - Estatal
  - Concesión
4. Época de uso del recurso hídrico (temporalidad o periodicidad)
  - El uso es permanente o estaciona / periódico
  - Se presentan o no cese de actividad
  - Comportamiento del recurso hídrico / flujo / picos (distribución en el año)
5. Requerimiento o exigencia del proceso productivo sobre las características del recurso hídrico (calidad, cantidad etc).
6. Descripción de las acciones posteriores al uso del recurso agua. ¿Existen? ¿Son necesarias? ¿El uso influye en la calidad / cantidad del recurso remanente?
7. Influencia de la dinámica del agua (bajas, altas, sedimentos entre otros) sobre los procesos productivos de los usuarios. Factores externos que influyen en la actividad de uso.
8. Relación con otros usuarios, influencia sobre:



- Condición o estado del recurso
  - Influencia del uso del agua, por parte de los otros usuarios
9. Opinión sobre el estado del recurso hídrico.
- Condición del recurso (estable, degradado, otro)
  - Medidas para recuperar / mitigar / mejorar / estabilizar / volver al estado anterior en que se encontraba el recurso hídrico
  - Acciones encaminadas (instituciones / organizaciones involucradas)
  - Costos del recurso hídrico (hay costos, usted lo paga, cuanto pagaría, pago mejoraría condición)
10. Su opinión sobre la necesidad de proteger / conservar / mejorar / restaurar; áreas de importancia para protección del recurso agua
- Conocimiento sobre Pago de Servicios Ambientales
11. Perspectivas del proceso productivo a futuro con relación al servicio hídrico

**Anexo 3.** Consulta a expertos para la priorización de áreas de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación  
Escuela de Posgrado

**Proyecto de investigación: Metodología para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica**

Estudiante: Ing. Karla Sánchez Campos.

**CONSULTA A EXPERTOS**

**1. Objetivo de la consulta**

Proponer y evaluar a través de la consulta de un grupo de expertos, criterios o variables óptimas para definir las zonas prioritarias dentro de la cuenca del Río Sarapiquí, para ser consideradas en el manejo del recurso hídrico en calidad y cantidad aprovechable. También la valoración y la definición conceptual de dichos criterios.

**2. Consulta de criterios de priorización**

La definición y valoración de criterios de priorización es vital para cumplir con los objetivos de la investigación. Es necesaria la consulta y discusión con expertos de diferentes áreas (hidrología, forestales, energía, turismo, desarrollo local, entre otros) tanto para validar la propuesta preliminar de criterios, la definición conceptual de los criterios y la propuesta de criterios adicionales, su valoración o ponderación.

**3. Metodología de la consulta para la priorización y valoración de los criterios**

La valoración de estos criterios se realizará por medio de la opinión de expertos, a través del envío de este formulario, el cual deberá ser completado por los diferentes expertos. Se valorarán los criterios de priorización por medio de dos vías, es decir, las asignación de categorías de valor dentro de cada criterio, y la ponderación entre

criterios. La valoración dentro de cada criterio se realiza con número enteros donde, el valor más bajo indica menor importancia en el manejo del recurso hídrico, en relación a un valor que determina mayor atención en el manejo del mismo recurso. Cada criterio posee su propia escala de priorización (del 1 al 5), siempre tomando en cuenta que la valoración va en forma creciente de importancia de manejo del recurso hídrico, tanto para la calidad como la cantidad aprovechable.

A continuación se presentan los nueve criterios para la calidad del agua y cuatro criterios para la cantidad aprovechable de agua en la cuenca, que se someterán a evaluación por los expertos. Si se considera necesario, es posible repetir valores en cada uno de los criterios, por ejemplo, si en la precipitación considera pertinente que 3000 - 3500 mm y de 3500 - 4000 mm no presentan diferencias, puede colocarle un valor igual en ambas casillas, como 1 ó 2 según su consideración.

Como el modelo a utilizar en el análisis es a través de una doble vía, se requerirá la ponderación de los mismo criterios. Se le asignará un porcentaje del 1 al 100 según la importancia de los mismo, donde el valor más alto responde al criterio más importante y así con el restante de los criterios. Por ejemplo, si para el experto la precipitación es un criterio más importante que la pendiente, se le asignará un valor de 45 a la precipitación y un 20 a la pendiente y así sucesivamente hasta completar 100 con los restantes criterios.

Solicitamos su colaboración para completar el documento de priorización de criterios que se expone debajo. Al final del listado de criterios, puede exponer sus observaciones sobre el tema que considere, e intentaremos tomarlas en cuenta. En caso de duda, por favor contactar al investigador vía e-mail ([ksanchez@catie.ac.cr](mailto:ksanchez@catie.ac.cr)) o telefónica al 558 2000 ext. 27 46. Al finalizar con la valoración, por favor devolver el formulario lleno vía electrónica a la dirección de la investigadora.

Muchas gracias.

### ***VALORACIÓN DE LOS CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN PARA LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO SARAPIQUÍ***

#### **i. Precipitación**

La parte alta de la cuenca presenta los valores más bajos de precipitación (3 000 mm); conforme se desciende incrementa la intensidad, hasta obtenerse los valores más altos en la cuenca media (5 000 mm). Conforme se continúa el descenso en la cuenca inicia un nuevo descenso de la precipitación llegando a la parte baja con precipitaciones promedio anuales de 3 000 mm.

Precipitación (mm)	Valoración
3 000 - 3 400	
3 400 - 3 800	
3 800 - 4 200	
4 200 - 4 600	
4 600 - 5 000	

## ii. Proximidad al río

El Río Sarapiquí, y sus afluentes (18 ríos y 16 cauces pequeños), van en forma perpendicular a la carretera principal, a escasos metros se ubican las zonas urbanizadas y los sistemas productivos (lecherías, porquerizas, cultivos de ornamentales, piña y banano entre otros), permitiendo una alta explotación de los recursos naturales. La importancia de este criterio se basa en el acceso que cuentan los pobladores y turistas a las márgenes de los ríos, lo que ha ocasionado sobre explotación de las riberas de los ríos, mayormente en la parte media y baja de la cuenca.

Proximidad al río (m)	Valoración
0 - 50	
50 - 100	
100 - 300	
300 - 500	
500 - 9 757,209	

## iii. Profundidad de pozo

La profundidad a la cual se encuentra el agua subterránea es una variable que indica la disponibilidad del agua para sus diferentes usos. Según la información brindada por SENARA, en la cuenca del Río Sarapiquí se registran 99 pozos (posiblemente sean más), ubicados principalmente en la cuenca media, especialmente en las comunidades de Puerto Viejo, Horquetas y la Virgen de Sarapiquí. Los pozos se localizan entre los 20 m

hasta los 135 m de profundidad, los cuales son utilizados para labores de riego, uso domésticos y servicios públicos, industriales, uso urbanístico, abastecimiento público, empresas agroindustriales, abrevaderos, entre otros.

Profundidad del pozo (m)	Valoración
0 - 15	
15 - 30	
30 - 45	
45 - 60	
60 - 131,997	

#### iv. Uso actual del suelo

La cobertura predominante en la cuenca del Río Sarapiquí es la boscosa (54,7% del área) (ITCR 2000). Sin embargo, 51,4% de esta cobertura se encuentra dentro de las áreas silvestres protegidas, y bajo la condición de bosques continuos, ubicados en la parte alta de la cuenca. El restante 48,6% se distribuye en la parte media y baja de la cuenca, y su condición de alta fragmentación, en parches de diferentes tamaños rodeados de usos antropogénicos, y en muchos casos con alto grado de alteración (casi un 30% del bosque fue catalogada como secundario en 1992). En el resto del área se presenta un mosaico de usos, donde destaca el pasto y la agricultura.

Uso actual del suelo	Valoración
Urbano	
Cultivo anual	
Cultivo permanente	
Pasto	
Pasto / agricultura	
Bosque natural	
Bosque intervenido	
Bosque secundario	
Charral / tacotal	
Terreno rocoso	
Laguna / embalse	

#### v. Densidad de población

En la cuenca, las comunidades se encuentran distribuidos en la totalidad del área (exceptuando las áreas protegidas y reservas privadas); un número considerable de ellas se ubican en la parte media y alta de la misma, y en menor proporción en la parte baja. En total se registran 51 comunidades, de las cuales destacan: Puerto Viejo, La Virgen, Horquetas, San Miguel y Río Cuarto. A partir de 1975, el Instituto de Desarrollo Agrario, con su programa de asentamientos campesinos, ha designado un total de 71 asentamientos, cubriendo un área de 52,40 km<sup>2</sup>, representando un 25,87% del territorio total de la cuenca.

Densidad de población (hab / km <sup>2</sup> )	Valoración
0 – 50	
50 – 100	
100 – 150	
150 – 200	
200 – 400	

#### vi. Proximidad del camino al río

El Río Sarapiquí, en su recorrido va paralelo a las carreteras principales. La cuenca se encuentra cruzada por las carreteras nacionales de las provincias de Alajuela, Limón y Heredia, además de las carreteras cantonales de Heredia y Alajuela con longitudes de 228,6 km y de 269,1 km respectivamente. Los caminos comunales internos son predominantemente de lastre suelto; en algunos segmentos se presentan en buen estado, en cambio en otros éste ha sido lavado por la lluvia, encontrándose expuesto y propenso a volverse fangoso y de difícil acceso. Los caminos secundarios de la cuenca alta en general presentan pendientes muy pronunciadas y onduladas.

Proximidad del camino al río (m)	Valoración
0 - 50	
50 - 100	
100 – 300	
300 – 500	
500 - 13 145,77	

### vii. Meses secos

La cuenca del Río Sarapiquí climáticamente se caracteriza por una variabilidad de meses secos. En la parte alta de la cuenca se presentan de dos hasta cuatro meses secos al año, no así en la parte media y baja donde se presenta un mes seco al año equivaliendo a un 82,0% del porcentaje total de la cuenca.

Meses secos	Valoración
1	
2	
3	
4	

### viii. Textura del suelo

La textura, es la proporción relativa entre los tamaños de las partículas de la fracción fina del suelo, a saber: arcilla, limo y arena. En la cuenca alta del Río Sarapiquí no se encontraron registros de textura, debido a que la mayor parte de este territorio se encuentra ocupado por el Parque Nacional Braulio Carrillo. Las texturas consideradas en la cuenca media y baja del Río Sarapiquí son: medianas (suelos franco arenosa fina, franca, franco limosa ó limosa), moderadamente finas (suelos arenosa franco fina, franco arenosa, media y gruesa o franco arcillosa, franco arcillo limosa, franco arcillo arenosa), finas (menos del 60% de arcilla y pueden ser arcillo arenosa ó arcillo limosa) y muy finas (con más del 60% de arcilla). Las clases texturales se distribuyen casi homogéneamente en la cuenca media y baja, predominando la textura fina con una proporción 56,48%, además de las muy finas, moderadamente finas y medianas con porcentajes de 29,58%, 11,51% y 2,43% respectivamente.

Textura del suelo	Valoración
Mediana	
Moderadamente fina	
Fina	
Muy finas	

### ix. Pendiente

El Río Sarapiquí, muestra grandes diferencias a lo largo de toda su trayectoria, con una pendiente muy pronunciada en su parte más alta, lo que lo hace bajar rápidamente, luego en la cuenca media continúa su descenso en forma menos abrupta, hasta llegar a convertirse en un río sereno y navegable en la mitad de la cuenca media hasta su desembocadura en la cuenca baja en el Río San Juan.

Pendiente (%)	Valoración
0 - 3	
3 - 8	
8 - 15	
15 - 30	
30 - 50	
50 - 75	
75 - 223,111	

#### OBSERVACIONES:

#### *VALORACIÓN DE LOS CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN PARA LA CANTIDAD APROVECHABLE DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO SARAPIQUÍ*

### i. Precipitación

La parte alta de la cuenca presenta los valor más bajos de precipitación (3 000 mm); conforme se desciende incrementa la intensidad, hasta obtenerse los valores más altos en la cuenca media (5 000 mm). Conforme se continua el descenso en la cuenca inicia un nuevo descenso de la precipitación llegando a la parte baja con precipitaciones promedio anuales de 3 000 mm.

Precipitación (mm)	Valoración
3 000 - 3 400	
3 400 - 3 800	
3 800 - 4 200	
4 200 - 4 600	
4 600 - 5 000	



## ii. Meses secos

La cuenca del Río Sarapiquí climáticamente se caracteriza por una variabilidad de meses secos. En la parte alta de la cuenca se presentan de dos hasta cuatro meses secos al año, no así en la parte media y baja donde se presenta un mes seco al año equivaliendo a un 82,0% del porcentaje total de la cuenca.

Meses secos	Valoración
1	
2	
3	
4	

## iii. Textura del suelo

La textura, es la proporción relativa entre los tamaños de las partículas de la fracción fina del suelo, a saber: arcilla, limo y arena. En la cuenca alta del Río Sarapiquí no se encontraron registros de textura, debido a que la mayor parte de este territorio se encuentra ocupado por el Parque Nacional Braulio Carrillo. Las texturas consideradas en la cuenca media y baja del Río Sarapiquí son: medianas (suelos franco arenosa fina, franca, franco limosa ó limosa), moderadamente finas (suelos arenosa franco fina, franco arenosa, media y gruesa o franco arcillosa, franco arcillo limosa, franco arcillo arenosa), finas (menos del 60% de arcilla y pueden ser arcillo arenosa ó arcillo limosa) y muy finas (con más del 60% de arcilla). Las clases texturales se distribuyen casi homogéneamente en la cuenca media y baja, predominando la textura fina con una proporción 56,48%, además de las muy finas, moderadamente finas y medianas con porcentajes de 29,58%, 11,51% y 2,43% respectivamente.

Textura del suelo	Valoración
Mediana	
Moderadamente fina	
Fina	
Muy finas	

**iv. Pendiente**

El Río Sarapiquí, muestra grandes diferencias a lo largo de toda su trayectoria, con una pendiente muy pronunciada en su parte más alta, lo que lo hace bajar rápidamente, luego en la cuenca media continúa su descenso en forma menos abrupta, hasta llegar a convertirse en un río sereno y navegable en la mitad de la cuenca media hasta su desembocadura en la cuenca baja en el Río San Juan.

Pendiente (%)	Valoración
0 – 3	
3 – 8	
8 – 15	
15 – 30	
30 – 50	
50 – 75	
75 - 223,111	

**OBSERVACIONES:**

**Anexo 4.** Descripción del tipo de suelo en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

Suelo	Suborden	Características	Gran grupo	Características
Entisol	Aquent	Régimen de humedo a acuico	Tropaquent	Caliente tropical. Terrenos plano.
	Orthent		Troporthent	Continuamente caliente tropical. Terrenos planos ó escarpados.
Inceptisol	Aquept	Régimen de humedad acuico	Tropaquept	Caliente tropicales. Terrenos planos.
	Tropept	Tropical	Eutropept	Alta saturación de bases. Terrenos planos.
			Dystropept	Bajos en saturación de bases. Terrenos planos, suavemente ondulados, ó moderadamente ondulados.
	Andept	Derivados de materiales volcánicos	Dystrandept	Baja saturación de bases. Terrenos planos, moderadamente ondulados, fuertemente ondulados ó escarpados
			Hydrandept	Presencia de agua. Terrenos moderadamente ondulados, fuertemente ondulados ó escarpados.
			Vytrandept	Presencia de vidrio volcánico. Terrenos escarpados
	Tropept / Aquept	Tropicales, con régimen de humedad acuico	Dystropept / Tropaquept	Bajos en saturación de bases y continuamente calientes tropicales. Terrenos planos ó suavemente ondulados.
Ultisol	Humult	Alto contenido de materia orgánica y generalmente en tierras de altura	Tropohumult	Continuamente calientes tropical. Terrenos suavemente ondulados, moderadamente ondulados ó fuertemente ondulados.
	Udult	Régimen de humedad udico	Tropudult,	Continuamente caliente y tropical. Terrenos moderadamente ondulados.
Histosol	Fibrist	Fibroso	Tropofibrist	Continuamente caliente tropical. Terrenos planos.

Nota: Los terrenos se clasifican como: plano (pendientes de 0 a 2%), suavemente ondulado (pendiente de 2 a 15%), moderadamente ondulado (pendiente de 15 a 30%), fuertemente ondulado (pendientes de 30 a 60%) ó escarpado (pendiente de más de 60%).

**Anexo 5.** Descripción de las clases de capacidad de uso del suelo para la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

Clase I. Dentro de esta clase se incluyen tierras con pocas limitantes o sin ellas para el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias o forestales, adaptadas ecológicamente a la zona.

Clase II. Las tierras de esta clase presentan leves limitaciones que, solas o combinadas, reducen la posibilidad de elección de actividades o se incrementan los costos de producción debido a la necesidad de usar prácticas de manejo y conservación de suelos.

Clase III. Las tierras de esta clase presentan limitaciones moderadas, solas o combinadas, que restringen la elección de los cultivos. Para desarrollar los cultivos anuales se requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas.

Clase IV. Las tierras de esta clase presentan fuertes limitaciones, solas o combinadas, que restringen su uso a vegetación semipermanente y permanente. Los cultivos anuales se pueden desarrollar únicamente en forma ocasional y con prácticas muy intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas.

Clase V. Las tierras de esta clase presentan severas limitaciones para el desarrollo de cultivos anuales, semipermanentes, permanentes o bosque, por lo cual su uso se restringe al pastoreo o manejo de bosque natural.

Clase VI. Las tierras ubicadas dentro de esta clase son utilizadas para la producción forestal, así como cultivos permanentes tales como frutales y café, aunque estos últimos requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas.

Clase VII. Las tierras de esta clase tiene severas limitaciones por lo cual sólo se permite el manejo forestal en caso de cobertura boscosa. En aquellos casos en que el uso actual sea diferente al bosque, se procurará la restauración forestal por medio de la regeneración forestal natural.

Clase VIII. Estas tierras no reúnen las condiciones mínimas para actividades de producción agropecuaria o forestal alguna. Las tierras de esta clase tienen utilidad sólo como zonas de preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica.

**Anexo 6.** Nombres de las comunidades y asentamientos en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

<b>Comunidades</b>	<b>Asentamientos</b>
<p>La Virgen, Bajos del Toro, La Cooperativa, Pueblo Nuevo, Delicias, Vara Blanca, San Rafael, Virgen del Socorro, Colonia Jesús María, Puerto Viejo, Horquetas, Trinidad, Arbolitos, Las Medias, Sardinal, Boca Río Sucio, Pangola, Golfito, Bajos de Chilamate, Desamparados, Chilamate, El Bosque, Magsasay, San Ramón, Ángeles, San José Sur, El Tigre, Los Maderos, La Rambla, Tapa Viento, San Jorge, Santa Clara, Bajo Latas, Punta Mala, Corazón de Jesús, San Miguel, Ujarráz, Cariblanco, Isla Bonita, Cinchona, Colonia del Toro, Crucero, Río Cuarto, Carrizal, Ángeles Norte, San Gerardo, Santa Rita, La Tabla, Santa Isabel, San Rafael y Santa Marta.</p>	<p>El Toro, La Cureña, La Gata, Chaparrón, Valle Hermoso, El Rubí, Kenny Fernández, Río Magdalena, Ganadera Veracruz, Santos López, California Ticos, Rojomaca, Tres Rosales, Hermanos León Hernández, La Chiripa, La Trinchera, Jormo, Sonora Sardinal, Los Lagos, Saborío Etienne, Gerika, Ramón Brenes, Hermanos Ramírez Marín, Estela Quesada, Rodrigo Guillén, Laki, Haita, Vito Starque, González Flores, Flaminia, La Tabla, La Legua de Río Cuarto, Montelirio, Cay Rica, Garrido Llovera, Búfalo, El Tigre, Santa Rita, Naranjales de Sardinal, La Ligia, Banco de Costa Rica, La Tirimbina, El Mortero, La Conquista, Rodrigo Chávez, Agua, Tapaviento, Platanera, Edgar Valerio, Najes, Pedernales, La Rambla, Río Frío 1 y 2, Agropecuario La Suerte, González Vega, Tikari, Otoya, El Manú, Raitacu, Horquetas, Sidón, Orán, Syma Charpentier, Colonia Toro Amarillo, Agrícola Seguro S.A., Nazaret, Huetares, Bajos del Toro, Cinchona y Cubujuquí.</p>

**Anexo 7.** Principales acueductos rurales, según el tipo de acueducto y número de abonados en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

<b>Acueducto rural</b>	<b>No. abonados</b>	<b>Tipo de acueducto</b>
Acueducto rural de Horquetas	2 100	Mixto
La Esperanza de Horquetas	158	Gravedad
Finca 4 de Río Frío de Horquetas	145	Gravedad
La Esperanza de Río Frío de Horquetas	39	Gravedad
Huertas de Horquetas	32	Gravedad
San Bernardito de Horquetas	118	Gravedad
Colonia San Luis de Finca 4 de Horquetas	-	-
Finca Asentamiento Río Chirripó de Horquetas	-	-
Acueducto rural de Puerto Viejo	600	Mixto
Cariblanco de Ujarráz de Puerto Viejo	98	Gravedad
Estero Grande de Puerto Viejo	78	Mixto
La Aldea de Puerto Viejo	68	Bombeo
La Delía de Puerto Viejo	137	Bombeo
San Jorge de Puerto Viejo	22	Gravedad
San José de Puerto Viejo	96	Gravedad
San Miguel de Puerto Viejo	28	Bombeo
Acueducto Pablo Presbere	-	-
Acueducto rural La Virgen	830	Mixto
Colonia Carvajal de La Virgen	77	Gravedad
Golfito de La Virgen	74	Bombeo
El Roble de La Virgen	50	Bombeo
La Guaria de Pangola de La Virgen	26	Bombeo
Santa Isabel de Pangola de La Virgen	300	Mixto
Pangola de La Virgen	200	Gravedad
Llano Grande de San Vicente de La Virgen	260	Gravedad
San Miguel de La virgen	43	Gravedad
San Ramón de La Virgen	132	Gravedad
Chilamate de Sarapiquí	-	-
Acueducto rural de San Miguel	500	Mixto

Fuente: Acueductos y Alcantarillados de Costa Rica (2002).

**Anexo 8a.** 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.

Capas de información	(%)	Categorías	Atributos	Valores
Pendientes	10			
		1	0 - 3	1
		2	3 - 8	2
		3	8 - 15	3
		4	15 - 30	3
		5	30 - 50	4
		6	50 - 75	4
		7	75 - 223	4
		Sin datos	Sin datos	Restringido
Textura del suelo	5			
		1	Medianas	1
		2	Moderadamente finas	2
		3	Finas	4
		4	Muy finas	5
		Sin datos	Sin datos	Restringido
Meses secos	5			
		1	1	1
		2	2	1
		3	3	2
		4	4	3
		Sin datos	Sin datos	Restringido
Proximidad del río al camino	20			
		1	0 - 50	5
		2	50 - 100	5
		3	100 - 300	4
		4	300 - 500	2
		5	500 - 13 145	1
		Sin datos	Sin datos	Restringido
Densidad de población	5			
		1	0 - 50	1
		2	50 - 100	2
		3	100 - 150	3
		4	150 - 200	4
		5	200 - 400	5
		Sin datos	Sin datos	Restringido

Uso actual del suelo	10	1	Urbano	5
		2	Cultivo anual	3
		3	Cultivo permanente	5
		4	Pasto	5
		5	Pasto / agricultura	5
		6	Bosque natural	1
		7	Bosque intervenido	1
		8	Bosque secundario	1
		9	Charral / tacotal	2
		10	Terreno rocoso	1
		11	Laguna / embalse	1
		Sin datos	Sin datos	Restringido
Profundidad de pozo	15	1	0 - 15	5
		2	15 - 30	5
		3	30 - 45	4
		4	45 - 60	3
		5	60 - 132	2
		Sin datos	Sin datos	Restringido
Proximidad al río	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
Precipitación	10	1	3 000 - 3 400	4
		2	3 400 - 3 800	4
		3	3 800 - 4 200	3
		4	4 200 - 4 600	3
		5	4 600 - 5 000	2
		Sin datos	Sin datos	Restringido



**Anexo 8b.** Tabla general de valoración de criterios de priorización para el manejo de la cantidad aprovechable del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica.

Capas de información	(%)	Categorías	Atributos	Valores
Pendientes	20			
		1	0 - 3	1
		2	3 - 8	2
		3	8 - 15	2
		4	15 - 30	3
		5	30 - 50	4
		6	50 - 75	4
		7	75 - 223	4
		Sin datos	Sin datos	Restringido
Textura del suelo	10			
		1	Medianas	1
		2	Moderadamente finas	2
		3	Finas	2
		4	Muy finas	3
		Sin datos	Sin datos	Restringido
Meses secos	35			
		1	1	2
		2	2	2
		3	3	3
		4	4	5
		Sin datos	Sin datos	Restringido
Precipitación	35			
		1	3 000 - 3 400	5
		2	3 400 - 3 800	5
		3	3 800 - 4 200	4
		4	4 200 - 4 600	4
		5	4 600 - 5 000	3
		Sin datos	Sin datos	Restringido