

# Manejo del recurso hídrico y vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Guaraní en la cuenca del arroyo Capiibary, Paraguay<sup>1</sup>

**Rafaela M. Laino**

*rlaino@catie.ac.cr*

**Francisco Jiménez**

*fcjimene@catie.ac.cr*

**Gilberto Páez**

*gpaez@catie.ac.cr*

**Fernando Casanoves**

*fcasanove@catie.ac.cr*

**Sergio Velásquez**

*svelasqu@catie.ac.cr*

El elemento más importante para definir la cuenca como unidad de planificación y de gestión es que la misma constituye un sistema donde el elemento integrador es el agua. La cuenca constituye un sistema conformado por las interrelaciones de diferentes subsistemas, tales como lo social, económico, político, institucional, cultural, legal, tecnológico, productivo, físico y biológico. Por lo tanto, este enfoque haría posible una gestión integral del manejo hídrico en la cuenca del arroyo Capiibary que garantice la producción en forma armónica con la conservación del ambiente.

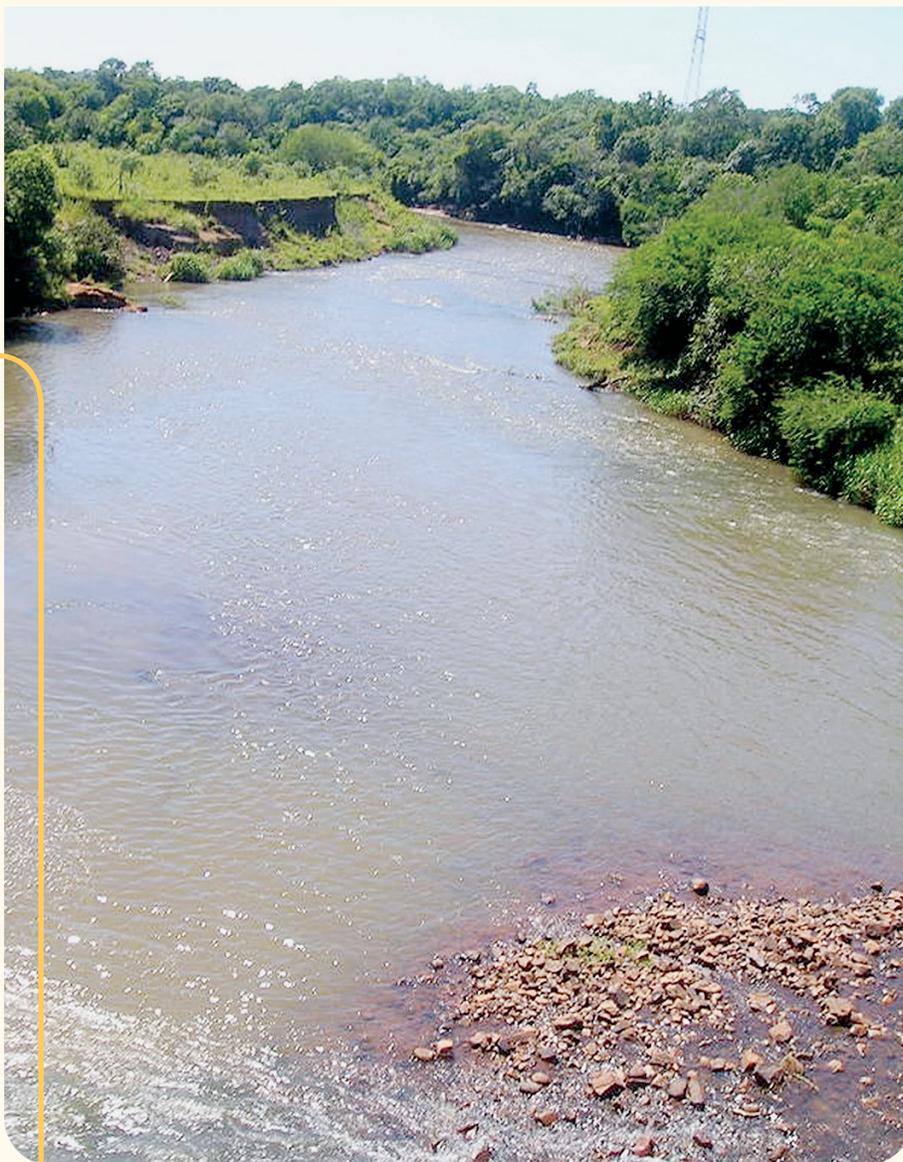


Foto: Rafaela M. Laino.

<sup>1</sup> Basado en Laino Guanes, RM. 2005. Manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary: implicaciones para la gestión ambiental del acuífero Guaraní. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 104 p.

## Resumen

Este trabajo analiza el manejo del recurso hídrico y la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Guaraní en la cuenca del arroyo Capiibary, Paraguay. Entre los principales problemas relacionados con el manejo del recurso hídrico en la cuenca se destacan la deforestación masiva por la expansión de la frontera agrícola, el uso excesivo y sin control de productos químicos en el manejo de los cultivos (principalmente la soya) y la pérdida de vegetación ribereña.

Entre las acciones prioritarias para el manejo sustentable del recurso hídrico se propone la creación de un organismo de cuenca conformado por representantes de todos los distritos asentados en la cuenca, el cual gestione el manejo y la conservación del agua utilizando a la cuenca como unidad de planificación. Como acción correctiva se propone el cobro de multas por contaminación del agua y degradación de los recursos naturales. El reto principal es buscar un equilibrio entre la producción y la conservación de los recursos naturales.

Si bien la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero es media o baja, es indispensable tomar medidas preventivas que protejan esta gran riqueza almacenada en el subsuelo porque, aunque las aguas subterráneas no se contaminan fácilmente, cuando la contaminación se produce es muy difícil y costoso revertir la situación.

**Palabras claves:** Recurso hídrico; aguas subterráneas; polución del agua; polución de aguas subterráneas; capa freática; vulnerabilidad; degradación ambiental; Paraguay.

## Summary

**Water management and vulnerability to pollution of the Guaraní aquifer in Arroyo Capiibary watershed, Paraguay.** This paper discusses water management and vulnerability to pollution to the Guaraní aquifer in Arroyo Capiibary watershed, Paraguay. Among the main problems related to water management in the watershed are: massive deforestation due to agriculture frontier expansion, excessive and uncontrolled use of chemicals for crop growing, and loss of riparian vegetation. The creation of a watershed bureau is proposed. It would be made up of representatives from all the settlements in the watershed. This bureau would be in charge of the sustainable management and conservation of water. Fines for polluting water and destructing natural resources would also be implemented. The challenge is to obtain a balance between production and natural resource conservation. Underground waters are not easily polluted, but once they get contaminated it is almost impossible to clean them back. So, even if vulnerability to contamination is low or mid in the watershed, it is essential to implement preventive measures to protect the aquifer.

**Keywords:** Water resources; groundwater; water pollution; groundwater pollution; groundwater table; vulnerability; environmental degradation; Paraguay.

## Introducción

El acuífero Guaraní es una de las reservas subterráneas de agua dulce más grandes e importantes del planeta. Está localizado en el centro-este de América del Sur entre 12° - 35° Sur y 47° - 65° Oeste. Tiene una extensión aproximada de 1.200.000 km<sup>2</sup>, de los cuales 840.000 km<sup>2</sup> se encuentra en Brasil,

225.500 km<sup>2</sup> en Argentina, 71.700 km<sup>2</sup> en Paraguay y 58.500 km<sup>2</sup> en Uruguay. Se estima que contiene una reserva de 50.000 km<sup>3</sup> de agua, volumen suficiente para abastecer a la población mundial actual (cerca de 6.000 millones) durante 200 años, a una tasa de 100 litros/día por habitante (PADS-SAG 2004).

El riesgo principal para el futuro de este cuerpo de agua lo constituyen la contaminación sin control en sus áreas de recarga y la extracción de agua con escasa regulación. Las áreas de mayor recarga son las más importantes de conservar; allí, hay que prestar especial atención a las características físicas de permeabi-

lidad que afectan la magnitud de la recarga y a las actividades antrópicas que producen contaminantes que pudieran infiltrarse al acuífero Guaraní, aproximadamente el 35% corresponde a zona de recarga directa o afloramiento. A pesar de la importancia de este acuífero para el abastecimiento de agua potable actual y futura, las condiciones hidrogeológicas del sistema, recarga, descarga y dinámica del flujo son hasta ahora casi desconocidas. Esto hace prácticamente imposible determinar sus reservas y permitir una gestión racional del recurso (PADS-SAG 2004).

En Paraguay, el acuífero está ubicado al este de la región Oriental, formando una faja que se extiende de norte a sur a lo largo del río Paraná, el cual constituye el límite oriental del país con Argentina. El 80% del abastecimiento de agua potable en el Paraguay proviene de las aguas subterráneas; de ahí la importancia de este recurso para el desarrollo socioeconómico. El 36% de la población del país habita sobre el acuífero Guaraní y es abastecida por sus aguas. La cuenca del arroyo Capiibary se encuentra en una de las zonas de recarga del acuífero en la región Oriental. Esta cuenca es una posible fuente de contaminación, ya que allí habitan numerosas familias que realizan actividades productivas que ponen en riesgo el mantenimiento de la potabilidad y calidad del agua del acuífero.

El objetivo del estudio fue analizar el manejo del recurso hídrico en la cuenca del arroyo Capiibary y estimar la vulnerabilidad de contaminación del acuífero, a fin de sustentar técnicamente el diseño de estrategias que orienten la toma de decisiones, la planificación e implementación de acciones que reduzcan el riesgo de contaminación.

## Metodología

### Ubicación

La cuenca del arroyo Capiibary se ubica en el departamento de Itapúa, región Oriental del Paraguay (Fig. 1), y cubre parte de diez distritos del departamento: Alto Verá, Pirapó, Obligado, Bella Vista, Hohenau, Jesús, La Paz, Trinidad, Capitán Miranda y una muy pequeña parte de Nueva Alborada. La superficie de la cuenca es de 96.854 ha, en el borde occidental del gran Sistema Acuífero Guaraní. El arroyo Capiibary desemboca en el río Paraná.

El área de la cuenca es una de las de mayor precipitación pluvial del país (>1900 mm anuales). Dentro de la cuenca se localizan áreas de recarga y de descarga del acuífero. El área de recarga está determinada principalmente por la arenisca y el de descarga por los campos bajos inundables en la desembocadura de la cuenca.

### Análisis del manejo del recurso hídrico

El análisis del manejo del recurso se realizó en cuatro etapas:

1. Recolección de información de fuentes secundarias sobre el marco legal e institucional que incide en el área, estudios hidrogeológicos

realizados en la cuenca y datos de estadísticas y censos a nivel nacional, departamental y distrital.

2. Visitas y entrevistas a funcionarios de instituciones y encuestas a productores asentados en la cuenca. Se realizaron 120 encuestas mediante un muestreo estratificado con asignación proporcional a un índice que resultó del producto del área de cada localidad por el número de viviendas (según datos del último Censo Nacional 2002, realizado por la Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos). En cada estrato se realizó un muestreo aleatorio simple de viviendas.
3. Organización y facilitación de talleres donde participaron pobladores de toda el área de la cuenca. Se organizaron tres talleres participativos con el apoyo de instituciones del sector público y privado. Además, se incluyeron dos actividades organizadas por otras instituciones donde se trató la misma problemática de interés para la investigación. En las encuestas realizadas también se incorporaron preguntas claves para complementar con los resultados de estos talleres. La información de las diferentes fuentes,



Figura 1. Ubicación de la cuenca del Arroyo Capiibary en Paraguay.

obtenida en estas tres etapas, fue contrastada y cotejada mediante el procedimiento de triangulación.

#### 4. Procesamiento, análisis e interpretación de la información.

##### Análisis de la vulnerabilidad a la contaminación y determinación de áreas críticas de contaminación

Para el análisis de vulnerabilidad de contaminación se utilizó el modelo DRASTIC desarrollado en Estados Unidos (Aller et ál. 1987) que es una herramienta para evaluar sistemáticamente el potencial de contaminación al agua subterránea de cualquier ambiente hidrogeológico (Alvarado 2000). DRASTIC permite determinar un valor numérico para cada punto mediante la siguiente ecuación:  $V = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W$ , donde  $V$  es el índice de vulnerabilidad, los subíndices  $R$  y  $W$  son el puntaje y el peso de ponderación, respectivamente (Bessouat et ál. 1999).  $D$ ,  $R$ ,  $A$ ,  $S$ ,  $T$ ,  $I$  y  $C$  corresponden a los parámetros hidrogeológicos que permiten obtener el índice DRASTIC:

$D =$  *Depth to water* (profundidad del nivel freático)

$R =$  *Recharge* (recarga neta)

$A =$  *Aquifer media* (tipo de acuífero)

$S =$  *Soil media* (tipo de suelo)

$T =$  *Topography* (topografía, pendiente)

$I =$  *Impact of the vadose zone media* (impacto del tipo de zona vadosa)

$C =$  *Conductivity of the aquifer* (conductividad hidráulica)

Para aplicar este modelo se realizó el reconocimiento del área de estudio y se recolectó información de 36 pozos. Los perfiles de los pozos perforados fueron proporcionados por las Juntas de Saneamiento, por el Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA) y por propietarios privados. La posición geográfica de los pozos fue tomada a través de un GPS (Global Position

System). La integración de los datos y el manejo de la información cartográfica se hicieron con el programa ArcView 3.3, usando varias extensiones del programa para el procesamiento de los datos.

Con el modelo DRASTIC se generó el mapa de vulnerabilidad de contaminación del acuífero. Mediante la combinación de este mapa con el mapa de uso actual de la tierra, se elaboró un mapa de áreas críticas de contaminación de las aguas subterráneas en la cuenca del arroyo Capiibary. Para el mapa de uso actual de la tierra se utilizó una imagen de satélite Landsat de enero del 2004 y ortofotos digitales. Los tipos de usos identificados fueron: bosques, praderas, agricultura no mecanizada, agricultura mecanizada y áreas urbanas. Al índice de vulnerabilidad DRASTIC y al uso actual de la tierra se los calificó del uno al cinco, según el riesgo de posible contaminación que cada uno ofrece al acuífero, siendo uno el valor que representa el menor riesgo a la contaminación y cinco el valor que representa el mayor riesgo. La metodología detallada de procedimiento de cálculo de cada parámetro hidrológico y la realización de mapas se puede consultar en Laino (2005).

### Resultados y discusión

#### Análisis del marco legal e institucional

A continuación se presentan las principales debilidades y fortalezas del marco legal e institucional para el manejo del recurso hídrico en la cuenca del arroyo Capiibary, identificadas con este estudio. Entre las *debilidades* destacan las siguientes:

- Falta de un registro completo oficial de datos de pozos pertenecientes al sector público y privado. Ninguna institución posee un registro completo; algunas tienen pozos registrados pero con información incompleta. Estos resultados sugieren que las autori-

dades gubernamentales debieran ejercer un mayor control sobre permisos para la perforación de pozos y registro de la información completa.

- Falta de control sobre la explotación del acuífero. La mejor forma de regular la explotación de acuíferos es mediante el control de la perforación de pozos. Por lo tanto, es importante clarificar el régimen de dominio de las aguas subterráneas, a fin de garantizar el manejo adecuado y la correcta administración de las aguas de los acuíferos. Un análisis de la legislación sobre el agua en el Paraguay, realizado por el Instituto de Derecho y Economía Ambiental en el 2003, expresa la confusión sobre la titularidad de las aguas subterráneas: el marco legal no es claro en cuanto a la posesión y dominio de este recurso.
- Desconocimiento e incumplimiento de la legislación ambiental por parte de la población y falta de control para hacer cumplir las leyes por parte de las autoridades. Durante el trabajo de campo, las entrevistas a informantes claves de las instituciones y a los productores, y los talleres realizados permitieron detectar un desconocimiento generalizado de la legislación existente en el ámbito ambiental. Por ejemplo, tanto quienes deben cumplir las leyes como quienes deben exigir que se cumplan, saben muy poco sobre el uso de agroquímicos.
- Dispersión y superposición de leyes y funciones. En la legislación general sobre el recurso agua existe una excesiva dispersión; varias instituciones manejan normativas que interesan a realidades sectoriales, lo que crea confusión y superposición de responsabilidades que finalmente afectan el manejo del recurso hídrico.
- Marcada diferencia en la organización institucional y en la calidad de vida de los distritos ubicados

en la cuenca. Esto se refleja en los indicadores de calidad de vida (salud, educación, vivienda y desarrollo en general) y finalmente repercute en la capacidad de auto-gestión y toma de decisiones sobre el manejo del recurso hídrico.

- Falta de recursos económicos manejados a nivel local en las instituciones gubernamentales. Las instituciones públicas locales debieran recibir asignaciones financieras o presupuestarias para que las soluciones sean realmente descentralizadas; debiera darse a los productores asistencia técnica y capacitación en el manejo del agua y otros recursos naturales.
- Ausencia de sistemas de tratamiento de aguas negras y aguas servidas (alcantarillado sanitario). Una gran debilidad que no solamente se da en la zona de estudio, sino a nivel nacional, es la escasa cobertura en saneamiento básico, como alcantarillado sanitario. En el Paraguay, solamente el 18% de la población urbana tiene servicio de alcantarillado sanitario; el problema más grave ocurre en zonas rurales donde ni siquiera el 1% tiene acceso a este servicio.
- Falta de conocimiento e incentivos efectivos para producir conservando el medio ambiente. En general, no existen conocimientos ni incentivos efectivos para una producción amigable con el ambiente. La incorporación de tecnologías limpias en los planes y acciones de manejo de cuencas resulta, hoy día, no solo una estrategia operativa sino también de imagen, fundamentalmente en una cuenca como esta donde la producción ocupa un lugar prominente, tanto para el mercado nacional como internacional.

En cuanto a las principales fortalezas, el estudio identificó las siguientes:

- Formación de la Comisión Local de apoyo al proyecto piloto Itapúa-Paraguay. Esta comisión se constituyó en abril 2005 en el



Foto: Rafeala M. Laino

La determinación participativa de los principales problemas asociados al recurso hídrico es fundamental para la búsqueda de alternativas de manejo sostenible

contexto del proyecto “Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní” que se desarrolla conjuntamente en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Este proyecto busca diseñar mecanismos de protección y conservación de las aguas subterráneas mediante la gestión integrada y sostenible a corto y largo plazo, con la participación activa de la población civil desde las etapas iniciales. Una de las primeras acciones ha sido la creación de áreas piloto en los países involucrados, destinadas a desarrollar proyectos demostrativos que ayuden a evaluar mecanismos relacionados con la gestión y protección de las aguas subterráneas.

- Inicio del proceso de descentralización de atribuciones y funciones. En diciembre 2004 se firmó el convenio de implementación del proceso de descentralización de atribuciones y funciones entre la gobernación de Itapúa y los municipios de Obligado, Alto Verá, Bella Vista, Pirapó, Capitán Miranda, La Paz, Edelira, Jesús, Hohenau, Capitán Meza, Nueva Alborada y

Trinidad. Con ello, los municipios tienen mayor espacio y responsabilidad para la toma de decisiones en diferentes campos, incluyendo la gestión de recursos naturales.

- Ejecución del proyecto de sistema de alcantarillado sanitario en la ciudad de Hohenau. Este proyecto forma parte del Proyecto Rural de Suministro de Agua y Saneamiento, que viene implementando el Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental. La ejecución de este proyecto en al menos uno de los cuatro centros urbanos asentados en la cuenca constituye una fortaleza, si se considera la escasa cobertura de saneamiento básico a nivel nacional.
- Acciones relacionadas con la producción limpia impulsadas por la Cooperativa Colonias Unidas, de gran influencia en la zona. La Cooperativa Colonias Unidas es una de las más grandes del país, y viene realizando importantes acciones relacionadas con la producción y conservación del medio ambiente, como la campaña de recolección y reciclado de envases vacíos de agroquímicos.

- Coordinación entre instituciones públicas y del sector privado para la ejecución conjunta de acciones que protejan el recurso hídrico. Por ejemplo, la instalación de “abastecedores comunitarios”, con el apoyo de productores, municipalidades y la Cooperativa Colonias Unidas. Estos abastecedores son puntos de abastecimiento de agua para los equipos de fumigación; con ello se evita que estos carguen directamente en el cauce de los ríos y se reduce la contaminación de las aguas.
- Lecciones aprendidas con la ejecución del proyecto de recuperación del arroyo Pirapó. Este ha sido uno de los pocos proyectos que utiliza la cuenca como espacio de gestión territorial; por ello las lecciones aprendidas podrían ser aprovechadas en otras cuencas.
- Participación comunitaria y de los gobiernos locales en la gestión del recurso hídrico y en el funcionamiento de las Juntas de Saneamiento. Estas son entidades locales, no gubernamentales, que tienen como objetivo colaborar en la orientación y organización de las comunidades en cuanto a los problemas de saneamiento, participar en la elaboración de los programas locales de saneamiento y en su ejecución, y administrar los sistemas de agua potable y disposición de excretas y basura.
- Autofinanciamiento y sostenibilidad financiera en el funcionamiento de las Juntas de Saneamiento. Estas organizaciones están conformadas por los mismos usuarios, quienes administran el servicio de provisión y distribución del agua, así como la determinación de las tarifas y cobro del consumo. Han funcionado exitosamente desde hace 30 años, con independencia y sostenibilidad financiera, lo que indica la importancia de la participación comunal y local en la gestión del recurso hídrico.

### Identificación de las principales actividades antrópicas

Las principales actividades antrópicas realizadas en el área rural de la cuenca en estudio son las siguientes: agricultura (agricultura de subsistencia, agroindustria, cultivos perennes, cultivos temporales), ganadería vacuna (extensiva y de subsistencia), combinación de agricultura y ganadería vacuna, combinación de agricultura y ganadería menor (cultivos, apicultura, cría de cabras, cría de cerdos, piscicultura). El 88% de las fincas encuestadas se dedican a la agricultura: 18% en combinación con ganadería y 4% en combinación con otros rubros, 66% se dedica exclusivamente a la agricultura y 12% se dedica exclusivamente a la ganadería (Fig. 2). Durante el estudio y los recorridos de campo se observaron otros tipos de actividades, como la extracción de arena gorda para la construcción y piedra para distintos usos (pisos, construcción, muebles, etc.).

El uso de la tierra en la cuenca sigue generalmente el mismo patrón. En los suelos derivados del basalto se encuentran cultivos mecanizados, como soya, trigo y maíz y una extensión menor con agricultura perenne, como yerba mate, tung y frutales. En la zona de arenisca se ubican los pequeños productores con cultivos de subsistencia (mandioca, maíz, poroto y animales menores) y algunos cultivos para la venta, como el algodón; sus propiedades son de tamaño pequeño. En los suelos más pobres, se encuentran establecimientos ganaderos con pasturas naturales y algunas cultivadas.

La población descendiente de europeos fue la primera en colonizar el área a principios del siglo XX; desde entonces, se han dedicado a la agricultura en suelos derivados de roca basáltica, en lo que actualmente se conoce como Colonias Unidas. Estos colonos y sus descendientes trajeron consigo una gran experiencia en la explotación de los recursos naturales, lo que les ha llevado a

alcanzar niveles económicos altos. La población nativa colonizó zonas con mayores limitaciones y donde la actividad agrícola solo permite el sustento de la familia y un ingreso muy bajo por venta de algunos productos. Poblaciones rurales de origen paraguayo se asentaron en lugares de topografía difícil y suelos pedregosos con afloraciones superficiales, lo que representa una fuerte limitación para la actividad agrícola o pecuaria, como a lo largo del río Paraná y en las colinas de arenisca.

### Determinación participativa de los principales problemas asociados al manejo del recurso hídrico

El área de estudio se encuentra en una zona geográfica de gran riqueza hídrica, como lo evidencian los resultados obtenidos: 72% de las fincas visitadas poseen cursos naturales de agua, el 44% posee un solo curso y el 28% posee más de uno. Sin embargo, los actores locales de la cuenca identificaron una serie de problemas relacionados con el manejo del recurso hídrico, aunque los dos primeros fueron destacados:

- Desigualdad en el acceso al agua para consumo humano.
- Márgenes de cauces sin protección vegetal (desaparición de los bosques ribereños).
- Falta de agua en verano por pozos superficiales que se secan en esta temporada.
- Uso excesivo y sin control de productos químicos en el manejo de los cultivos.
- Mal manejo de desechos y envases de agroquímicos.
- Contaminación del agua por desechos y agroquímicos vertidos directamente en los arroyos.
- Contaminación del agua y del aire causa problemas de salud.
- Muerte de especies animales y vegetales por contaminación del agua.
- Deforestación masiva, expansión de la frontera agrícola a expensas de tierras de bosques.

- Falta de incentivos para la reforestación con especies nativas.
- Uso de tecnologías de producción que no incorporan medidas conservacionistas de suelo y agua.
- Crecimiento poblacional sin considerar el ordenamiento territorial.
- Incumplimiento de la legislación vigente.

Solamente el 7% de los encuestados tienen conexión a la red de distribución de agua potable, el 80% usa agua de pozos y el 9% consume agua directamente desde las nacientes o arroyos. El 30% de las familias transportan el agua a pie, en baldes. El 2% de los encuestados mencionó como principal problema de su finca, la falta de agua en verano porque a veces sus pozos se secan en esta temporada.

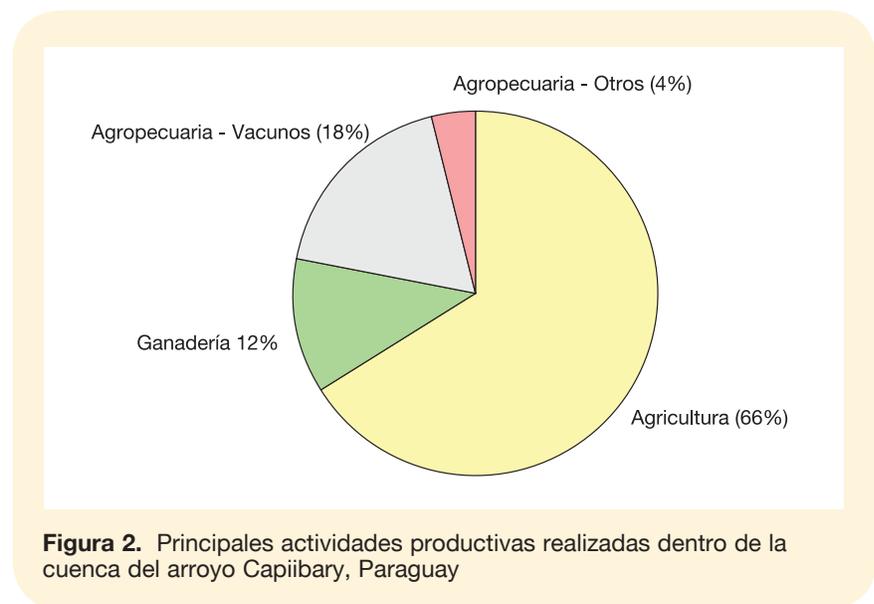
Otro de los principales problemas identificados fue la ausencia de cobertura vegetal en las márgenes de los cauces. Con base en una escala de tres niveles de protección, el 35% de las propiedades que poseen cuerpos naturales de agua tienen una buena protección de las zonas ribereñas, el 22% regular y el 39% mala. Los pobladores de la cuenca también mostraron preocupación por la deforestación, con la consecuente extinción de especies nativas (tanto animales como vegetales), en todos los talleres realizados. Otros problemas mencionados fueron el mal manejo forestal, la falta de reforestación y la deforestación a lo largo de los cauces.

El avance de la frontera agrícola a expensas de los bosques naturales es un serio problema en la cuenca del arroyo Capiibary. Más de la mitad del área deforestada correspondía a los mejores bosques con especies forestales valiosas. La disminución de áreas boscosas ha ocasionado también el deterioro de la fauna silvestre, abundante en décadas pasadas y de gran importancia como fuente de alimento y de biodiversidad genética. La expansión de la frontera agropecuaria ha venido

acompañada del uso de tecnologías de producción que no toman en cuenta prácticas conservacionistas de suelos y aguas y aceleran los procesos de degradación.

La vegetación nativa del área ha sufrido alteraciones a tal punto que quedan pocos remanentes. La reforestación en la zona ha sido limitada (solamente 28% de los productores encuestados han realizado algún tipo de reforestación), faltan

de salud que esto acarrea, el escaso conocimiento sobre uso y manejo de agroquímicos, la contaminación del aire con efectos nocivos para la salud y la infiltración de residuos químicos que pueden contaminar el acuífero. La producción de soya se evidenció como la actividad agrícola que hace mayor uso irracional de agroquímicos y posiblemente la que más contribuye a los efectos antes mencionados.



**Figura 2.** Principales actividades productivas realizadas dentro de la cuenca del arroyo Capiibary, Paraguay

incentivos para promover esta práctica y la mayoría de las plantaciones forestales establecidas han empleado especies exóticas como eucalipto, pino, incienso y cedro australiano.

Los problemas relacionados con el uso inadecuado de agroquímicos se mencionaron en todos los talleres realizados. Los habitantes expresaron su preocupación por el uso excesivo y sin control de estos productos, el mal manejo de desechos tóxicos (los envases de agroquímicos son enterrados, pero las fuertes lluvias erosionan el suelo y, en consecuencia, los recipientes afloran y contaminan el área), la muerte de especies animales por la contaminación de los arroyos, la fumigación sin protección adecuada y los problemas

Otro problema mencionado en los talleres, y observado durante los recorridos de campo, es el acelerado crecimiento poblacional. En la mayoría de los casos, no se tiene un plan de ordenamiento territorial; zonas periféricas de centros urbanos, que apenas hace tres años se consideraban dentro del área rural, ahora se están urbanizando rápidamente. A medida que crece la población humana, crece también la demanda por agua -especialmente de aguas subterráneas- y aumentan las posibilidades de contaminación del acuífero y de los cursos de agua superficiales. A esto se debe agregar el incumplimiento de las leyes y normativa vigente con respecto al ambiente y los recursos naturales.

## Alternativas de manejo sostenible del recurso hídrico

Las alternativas de manejo sostenible del recurso hídrico que fueron identificadas de manera participativa junto con los pobladores de la cuenca del arroyo Capiibary se presentan a continuación:

- Mayor control y cobro de multas por incumplimiento de las leyes en lo referente a deforestación, eliminación de la cobertura vegetal en los márgenes de los cursos de agua y vertido de basura y productos químicos directamente a los cursos de agua. En este contexto, podría analizarse la incorporación de pagos por los daños ambientales causados por los procesos productivos; nótese, sin embargo, que estos representan pagos por unidad de contaminación, la cual muchas veces resulta difícil de medir y controlar.
- Asignación de un valor al recurso agua como insumo dentro del proceso productivo. Por ejemplo, los productores de soya utilizan grandes cantidades de agua para la fumigación con productos químicos, sin un costo adicional. También existen industrias en la cuenca que vierten los desechos de su proceso productivo en los cauces. Es necesario que los productores dejen de ver el ambiente como un insumo gratuito; solo así se logrará un uso y manejo más racional de los recursos.
- Incentivos o estímulos para la conservación del agua. Esto incluye mecanismos como el pago por servicios ambientales y otros incentivos y procedimientos para estimular a aquellos productores que realizan acciones que favorezcan al bienestar público y promuevan un mejor manejo de los recursos naturales.
- Incorporación de prácticas de conservación y recuperación del suelo. Por ejemplo, la implementación de sistemas silvopastoriles en las fincas ganaderas, ya que la

ganadería es uno de los usos de la tierra más importantes en la cuenca y se practica con bajo nivel tecnológico.

- Promoción de campañas de concientización para la protección del agua. Por ejemplo, crear conciencia sobre el daño que causa la basura al ambiente, colocar carteles prohibitivos en sitios estratégicos y mencionar el número de Ley que prohíbe esta práctica.
- Programas de educación ambiental y generación de conocimientos sobre el recurso agua y el funcionamiento del acuífero. Una comunidad conocedora de la riqueza natural que posee, que conoce como funciona y el peligro que corre un recurso natural, lo valora y lo protege. El conocimiento se constituye así en un instrumento para priorizar las necesidades hídricas más urgentes y asegurar un futuro al recurso hídrico.
- Capacitación y asistencia técnica para la adopción de prácticas de producción limpia, tales como agricultura orgánica, actividades agrícolas, pecuarias, forestales, industriales y agroindustriales no contaminantes, uso de tecnologías de descontaminación, manejo de desechos líquidos y sólidos y recuperación de suelos degradados (uso abonos verdes).
- Organización de los productores y las comunidades para mejor enfrentar las diferentes situaciones que se presenten en la cuenca; promoción de acciones grupales (campañas de reforestación, educación ambiental, protección de nacientes de agua, etc.); comercialización y adquisición de productos en forma grupal, ya que rinde mayores beneficios que de manera individual; gestión ambiental y social.

Para impulsar alternativas de protección y mantenimiento de la calidad del agua y el manejo sostenible de la cuenca es necesario contar con un organismo representativo de

la cuenca del arroyo Capiibary. Este organismo debiera conformarse con representantes de cada uno de los distritos asentados en la cuenca. El elemento más importante para definir la cuenca como unidad de planificación y de gestión es que la misma constituye un sistema donde el elemento integrador es el agua. La cuenca constituye un sistema conformado por las interrelaciones de diferentes subsistemas, tales como lo social, económico, político, institucional, cultural, legal, tecnológico, productivo, físico y biológico. Por lo tanto, este enfoque haría posible una gestión integral que garantice la producción en forma armónica con la conservación del ambiente. Las propuestas de ordenamiento territorial debieran enmarcarse dentro de este enfoque de cuenca hidrográfica como un mecanismo para viabilizar la aplicación de políticas y acciones requeridas para la planificación de los recursos naturales, de acuerdo con la capacidad de uso de la tierra y las necesidades presentes y futuras de las poblaciones.

## Vulnerabilidad a la contaminación y áreas contaminantes críticas *Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Guaraní*

El mapa de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Guaraní a causa de las actividades productivas y asentamientos humanos en la cuenca del arroyo Capiibary se creó por medio del modelo DRATIC (Fig. 3). Los resultados indican que, en la cuenca, 34.890 ha (36%) presentan baja vulnerabilidad de contaminación y 61.717 ha (64%) presentan vulnerabilidad media. No se encontraron zonas de vulnerabilidad muy alta, alta ni muy baja. Estos resultados sugieren que las características hidrogeológicas del acuífero en la cuenca del arroyo Capiibary protegen de la contaminación a las aguas subterráneas. De hecho, algunos estudios preliminares realizados por el Proyecto Piloto Itapúa-PY y

SAG-PY no han evidenciado contaminación del acuífero. Sin embargo, este es el momento oportuno para tomar medidas preventivas que protejan esta riqueza almacenada en el subsuelo. Las aguas subterráneas son más difíciles de contaminar que las aguas superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es más difícil de revertir la situación porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento (Hirata 2002). Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua de los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su purificación.

Una limitante en este estudio fue que solamente se pudo obtener información de 36 pozos para aplicar el modelo DRASTIC y crear el mapa de vulnerabilidad, además la distribución de los pozos estaba concentrada en los centros urbanos de los distritos de Hohenau y Obligado, por este motivo los datos tienden a estar más concentrados en las proximidades a estas zonas.

#### Áreas críticas de contaminación del acuífero Guaraní en la cuenca del arroyo Capiibary

Los resultados indican que 15.526 ha (16%) de la cuenca del arroyo Capiibary presentan condiciones muy críticas de contaminación a las aguas del acuífero Guaraní, 47.786 ha (50%) presentan condiciones medianamente críticas y 33.117 ha (34%) no son críticas (Fig. 4). Las áreas muy críticas corresponden a las zonas urbanas y zonas dedicadas a la agricultura mecanizada en áreas de vulnerabilidad media según el índice DRASTIC (Cuadro 1). Las urbanizaciones son focos puntuales de contaminación debido a que el aumento de la población produce una mayor generación de residuos sólidos y líquidos, lo que aumenta el riesgo de contaminación de aguas superficiales y subterráneas, más aún en zonas donde no

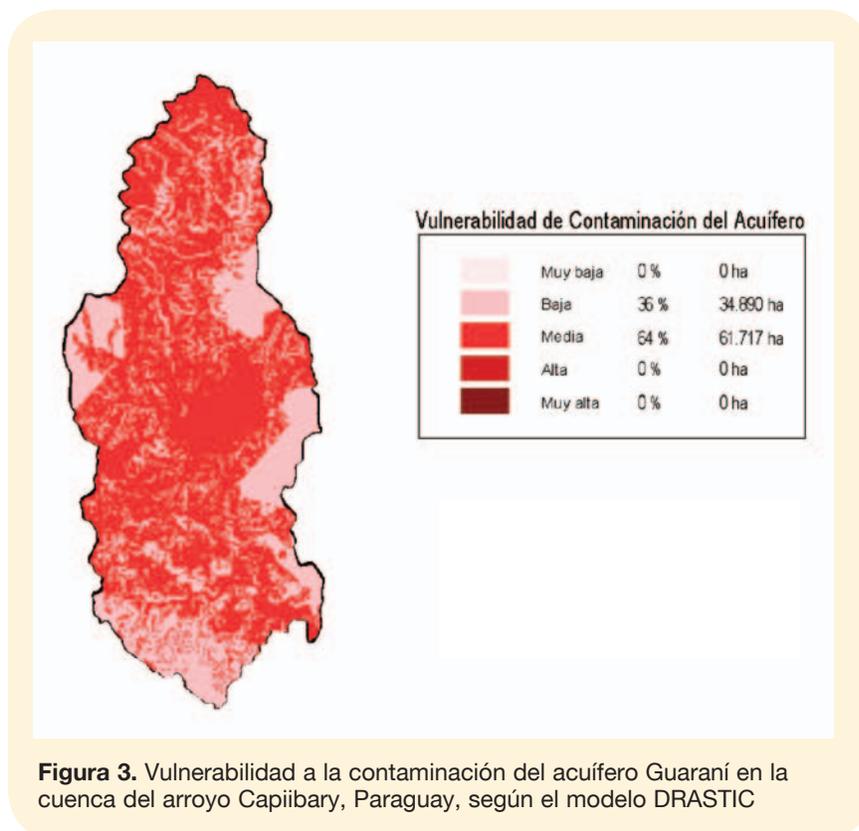


Figura 3. Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Guaraní en la cuenca del arroyo Capiibary, Paraguay, según el modelo DRASTIC

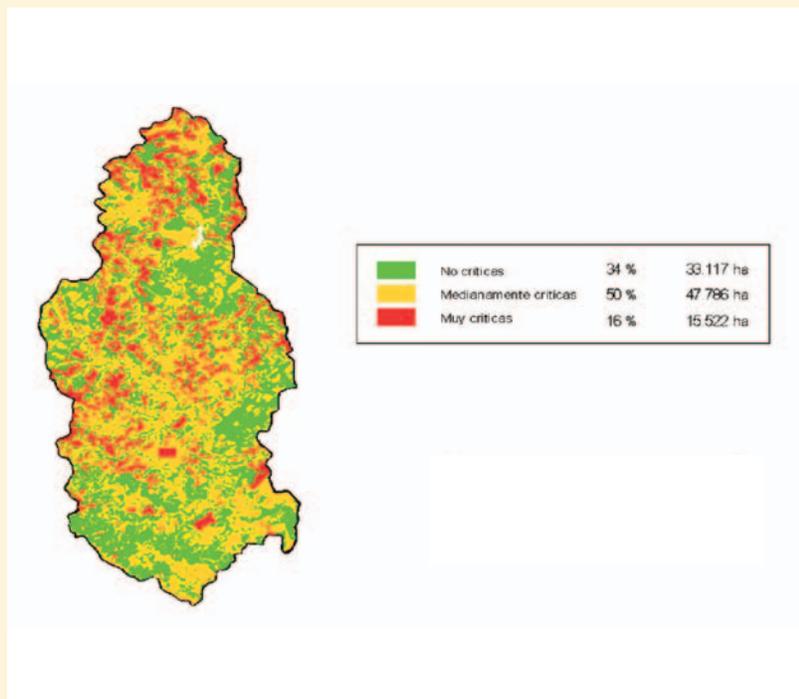
#### Cuadro 1.

Superficie y distribución de las áreas muy críticas de contaminación a las aguas subterráneas dentro de la cuenca del arroyo Capiiraby, Paraguay

| Distrito               | Superficie (ha) | Superficie (%) |
|------------------------|-----------------|----------------|
| Trinidad               | 777             | 5,00           |
| Pirapó                 | 1.225           | 7,90           |
| Obligado               | 5.405           | 34,81          |
| Nueva Alborada         | 8               | 0,05           |
| La Paz                 | 1.110           | 7,15           |
| Jesús                  | 2.519           | 16,22          |
| Hohenau                | 1.779           | 11,46          |
| Capitán Miranda        | 53              | 0,34           |
| Bella Vista            | 271             | 1,74           |
| Alto Verá              | 2.379           | 15,32          |
| Área muy crítica total | 15.526          | 100            |

existe un sistema de alcantarillado sanitario. Además de la agricultura mecanizada, la deforestación que deja al suelo desprotegido, el uso de herbicidas, insecticidas, fungicidas y

fertilizantes químicos en el manejo de los cultivos y el manejo inadecuado de los envases de productos químicos son factores que tienden a agravar la situación.



**Figura 4.** Áreas críticas de contaminación del acuífero Guarani en la cuenca del arroyo Capiibary, Paraguay

## Conclusiones

La inexistencia de controles detallados y precisos de los pozos perforados en la cuenca del arroyo Capiibary revela la necesidad de implementar un control sobre la explotación de las aguas subterráneas, para así determinar con precisión la cantidad de agua que está siendo extraída del acuífero.

Entre los principales problemas relacionados con el manejo del recurso hídrico en la cuenca del arroyo Capiibary se destacan la deforestación masiva por la expansión de la frontera agrícola, el uso excesivo y sin control de productos químicos en el manejo de los cultivos y la pérdida de las zonas ribereñas de los cauces.

En la zona de estudio se da una marcada inequidad en cuanto al uso del agua. Los pequeños productores utilizan escasas cantidades de agua para subsistir; en cambio, los grandes productores que trabajan con agricultura mecanizada extraen grandes cantidades de agua para la fumigación de sus cultivos sin prácticamente pagar nada por el recurso.

Entre las acciones prioritarias para el manejo sustentable del recurso hídrico se propone la creación de un organismo de la cuenca del arroyo Capiibary conformado por representantes de todos los distritos. Este organismo sería el responsable de gestionar el manejo y la conservación del agua, utilizando a la cuenca como unidad de planificación. Como acción correctiva se propone el cobro de multas por contaminación del agua y degradación de los recursos naturales.

Si bien la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero es media o baja, es indispensable tomar medidas preventivas que protejan esta gran riqueza almacenada en el subsuelo porque, aunque las aguas subterráneas no se contaminan fácilmente, cuando la contaminación se produce es muy difícil y costoso revertir la situación. 🌱

## Literatura citada

- Aller, L; Leer, J; Petty, R; Hackett, G. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. s.e. EPA-600/2-87-0305.
- Alvarado, J. 2000. Sobreexplotación, vulnerabilidad y protección de las aguas subterráneas en Cochabamba, BO. Consultado 09-11-2004. <http://www.aguabolivia.org/PublicarX/GESTION/TEMA3>
- Bessouat, C; Castagnino, G; Santos, J; Oleaga, A; Pacheco, F. 1999. Vulnerabilidad del Acuífero Raigón. Montevideo, UY. Consultado 09-11-2004. <http://www.iica.org.uy/p2-17-pon13.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1981. Contaminación de las aguas subterráneas: tecnología, economía y gestión. Roma, IT, FAO. 161 p.
- Hirata, R. 2002. Contaminación del agua subterránea: mejor prevenir que remediar. *In* Manejo integrado de aguas subterráneas: un reto para el futuro. San José, CR, EUNED. 325 p.
- Laino Guanes, RM. 2005. Manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary: implicaciones para la gestión ambiental del acuífero Guarani. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 104 p.
- PADS-SAG (Proyecto de "Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guarani"). 2004 PADS-SAG (en línea). Consultado 01-2004. Disponible en [http://www.sg\\_guarai.org](http://www.sg_guarai.org).