

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA  
CONSERVACIÓN  
ESCUELA DE POSGRADO**

**MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL  
ARROYO CAPIIBARY: IMPLICACIONES PARA LA GESTIÓN  
AMBIENTAL DEL ACUÍFERO GUARANÍ**

Tesis sometida a 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 para optar por el grado de:

*Magister Scientiae* en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas

Por

**RAFAELA MARÍA LAINO GUANES**

Turrialba, Costa Rica, 2005

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, Dr.Sc.  
**Consejero Principal.**

---

Gilberto Páez, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**

---

Fernando Casanoves, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**

---

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

---

Glenn Galloway, Ph.D.  
**Director Programa de Educación y  
Decano de la Escuela de Posgrado**

---

Rafaela María Laino Guanes  
**Candidata**

## DEDICATORIA

A mis padres.

## AGRADECIMIENTOS

A mi Profesor Consejero, Francisco Jiménez.

A los miembros de mi Comité Consejero, Gilberto Páez, Sergio Velásquez y Fernando Casanoves.

A todos los profesores y el personal del CATIE.

A Irma Juan Carlos, Karim Musálem y a mis compañeros del CATIE.

A todas las instituciones tanto del sector público como del sector privado que colaboraron con esta investigación.

A las instituciones y comunidades ubicadas en la cuenca del Arroyo Capiibary (Itapúa, Paraguay) que hicieron posible la realización de esta tesis.

A mi familia.

## BIOGRAFÍA

La autora nació en Asunción - Paraguay el 14 de marzo de 1977. Se graduó en la Universidad Nacional de Asunción en la carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrarias en el año 2000. Se desempeñó como Jefa de Trabajos Prácticos de la asignatura Manejo de Praderas en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. Posteriormente obtuvo una beca del Programa de Cooperación Interuniversitaria a través de la cual realizó una pasantía en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica en Industrias Forestales de la Universidad de Vigo (Pontevedra, España). Trabajó como Asistente Técnico – Fiscalizadora del Proyecto “Apoyo al Programa Algodonero del MAG” del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Ministerio de Agricultura y Ganadería. Ocupó los cargos de Docente Investigadora en el Departamento de Suelo y Ordenamiento Territorial y de Jefa de Trabajos Prácticos de la asignatura Manejo de Suelos en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. En el año 2004 ingresó como becada de la OEA al Programa de Maestría del CATIE en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas.

# CONTENIDO

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO.....	VI
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
LISTA DE CUADROS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XII
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1    Objetivos .....	4
1.1.1    Objetivo general.....	4
1.1.2    Objetivos específicos .....	4
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1    Cuencas hidrográficas .....	5
2.2    Aguas subterráneas .....	6
2.2.1    Acuíferos .....	6
2.2.2    Zonas de recarga de un acuífero .....	8
2.2.3    Contaminación de aguas subterráneas.....	10
2.3    Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH).....	11
2.3.1    Marco jurídico y regulatorio.....	11
2.3.2    Marco institucional.....	13
2.3.3    Institucionalidad y conservación de los recursos naturales .....	14
2.3.4    Enfoque participativo en la GIRH.....	16
2.4    Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero.....	17
2.4.1    Modelo DRASTIC.....	19
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>20</b>
3.1    Descripción del área de estudio .....	20
3.2    Metodología general .....	23
3.3    Metodología para el análisis del marco legal e institucional .....	24
3.4    Metodología para la identificación de las principales actividades antrópicas que se desarrollan en la cuenca del Ao Capiibary .....	25
3.5    Metodología para la determinación de los principales problemas asociados al manejo del recurso hídrico y de las alternativas de manejo sustentable de la cuenca de manera participativa.....	29
3.5.1    Talleres participativos.....	29
3.5.2    Actividades organizadas por otras instituciones .....	31
3.6    Metodología para el análisis de vulnerabilidad de contaminación del acuífero e identificación de áreas críticas en la cuenca.....	32
3.6.1    Vulnerabilidad de contaminación del acuífero.....	32

3.6.2	<i>Identificación de áreas críticas en la cuenca</i> .....	39
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>42</b>
4.1	Análisis del marco legal e institucional.....	42
4.1.1	<i>Debilidades del marco legal e institucional</i> .....	42
4.1.2	<i>Fortalezas del marco legal e institucional</i> .....	47
4.2	Identificación de las principales actividades antrópicas que se desarrollan en la cuenca.....	52
4.2.1	<i>Agricultura</i> .....	54
4.2.2	<i>Ganadería</i> .....	57
4.2.3	<i>Otras actividades</i> .....	59
4.3	Determinación participativa de los principales problemas asociados al manejo del recurso hídrico y de las alternativas de manejo sustentable de la cuenca.....	59
4.3.1	<i>Principales problemas</i> .....	60
4.3.2	<i>Alternativas de manejo sustentable</i> .....	68
4.4	Análisis de vulnerabilidad de contaminación del Acuífero Guaraní e identificación de áreas críticas en la cuenca del Ao Capiibary.....	73
4.4.1	<i>Vulnerabilidad de contaminación del acuífero por medio del método DRASTIC</i> .....	73
4.4.2	<i>Identificación de áreas críticas en la cuenca del Ao Capiibary</i> .....	77
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>79</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>81</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>83</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>86</b>
Anexo 1.	Guía de entrevista aplicada en la realización de las encuestas para el análisis del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary.....	87
Anexo 2.	Listas de los participantes en los talleres realizados en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay....	92
Anexo 3.	Diagrama de Venn, taller realizado con los alumnos de la Escuela Agrícola San Benito. ....	95
Anexo 4.	Clasificación de índices DRASTIC para la profundidad (D) y distribución de los pozos en la zona de estudio.....	96
Anexo 5.	Precipitación promedio anual en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay. ....	97
Anexo 6.	Clasificación de índices DRASTIC para la recarga (R).....	98
Anexo 7.	Clasificación de índices DRASTIC para el tipo de acuífero (A). ....	99
Anexo 8.	Clasificación de índices DRASTIC para el tipo de suelo (S).....	100
Anexo 9.	Clasificación de índices DRASTIC para la pendiente (T). ....	101
Anexo 10.	Ubicación (distrito y coordenadas UTM), nivel estático (NE) y promedio ponderado del material existente en la zona vadosa según el perfil litológico de cada pozo y su respectiva clasificación según los índices DRASTIC. ....	102
Anexo 11.	Clasificación de índices DRASTIC para el impacto de la zona vadosa (I).....	103
Anexo 12.	Clasificación de índices DRASTIC para la conductividad hidráulica (C). ....	104

## RESUMEN

Esta investigación analiza el manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary y sus implicaciones para la gestión ambiental del Acuífero Guaraní. La cuenca se encuentra en el Departamento de Itapúa (Paraguay) en una zona de recarga del acuífero. El enfoque participativo fue muy importante en la recopilación de los datos, se realizaron entrevistas a representantes de instituciones públicas y privadas, encuestas a los productores asentados sobre la cuenca y talleres en diferentes comunidades. Se analizó la vulnerabilidad de contaminación del acuífero por medio de la metodología DRASTIC y se identificaron las áreas críticas de la cuenca con base en la vulnerabilidad de contaminación y el uso actual de la tierra. Esto se logró por medio del uso de Sistemas de Información Geográfica.

El principal problema en la cuenca es la deforestación masiva por la expansión de la frontera agrícola, es una zona de gran producción agropecuaria donde se destaca el cultivo de soja como principal fuente de ingreso. El reto principal es buscar un equilibrio entre la producción y la conservación de los recursos naturales.

Según el índice DRASTIC, por sus características hidrogeológicas, la cuenca del Arroyo Capiibary presenta vulnerabilidad baja y vulnerabilidad media de contaminación del Acuífero Guaraní en toda su extensión. Difícilmente las aguas subterráneas lleguen a contaminarse, sin embargo, si esto llegara a ocurrir, la recuperación del acuífero sería casi imposible. Es indispensable tomar medidas preventivas que protejan esta gran riqueza almacenada en el subsuelo, priorizando las áreas críticas de la cuenca.

**Palabras claves:** Itapúa, Paraguay, enfoque participativo, soja, aguas superficiales, aguas subterráneas, SIG, DRASTIC, vulnerabilidad, contaminación.



## ABSTRACT

This research analyses water resource management in the Capiibary River Watershed and its implications for the environmental management of the Guarani Aquifer. The watershed is located in the Department of Itapua (Paraguay) on an aquifer recharge area. Data was collected using a participative angle; interviews to persons representing public and private institutions were made; surveys to farmers living in the watershed and workshops in different communities were also carried out. Using Geographic Information Systems, underground water pollution vulnerability was analyzed through the use of DRASTIC methodology, afterwards, critical areas of the watershed were identified based on pollution vulnerability and current land use.

Massive deforestation is considered the main problem in the watershed due to the expansion of agricultural areas. Soybean production is the most important income source in the studied area. The main challenge is to achieve a balance between production and natural resources conservation.

Based on the DRASTIC index, due to its hydro-geological features, the Capiibary River Watershed presents low and medium vulnerability levels to pollution for the Guarani Aquifer in its whole extension. Underground water pollution is not likely to happen, on the other hand, these same hydro-geological features would almost make a further recovery of the aquifer impossible in case of pollution. Preventive actions to protect this most important water storage should be a priority, specially in critical areas of the watershed.

**Key words:** Itapua, Paraguay, participative angle, soybean, surface water, underground water, GIS, DRASTIC, vulnerability, pollution.

## LISTA DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Efectos del crecimiento demográfico sobre los acuíferos.....</i>	<i>9</i>
<i>Cuadro 2. Superficie total de cada distrito y superficie asentada sobre la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.....</i>	<i>21</i>
<i>Cuadro 3. Cantidad y distribución de las viviendas encuestadas en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.....</i>	<i>27</i>
<i>Cuadro 4. Índices DRASTIC para la profundidad del agua.....</i>	<i>33</i>
<i>Cuadro 5. Datos de la precipitación promedio anual (P) y ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas para obtener la precipitación en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.....</i>	<i>35</i>
<i>Cuadro 6. Índices DRASTIC para la recarga neta del acuífero.....</i>	<i>35</i>
<i>Cuadro 7. Unidades geológicas que dieron origen a los diferentes suelos y la superficie ocupada por cada una dentro de la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.....</i>	<i>35</i>
<i>Cuadro 8. Índices DRASTIC para el tipo de acuífero.....</i>	<i>36</i>
<i>Cuadro 9. Índices DRASTIC para el tipo de suelo.....</i>	<i>36</i>
<i>Cuadro 10. Índices DRASTIC para la pendiente.....</i>	<i>36</i>
<i>Cuadro 11. Ubicación (distrito y coordenadas UTM) y nivel estático (NE) de los pozos utilizados para obtener el impacto de la zona vadosa y su respectiva clasificación según los índices DRASTIC.....</i>	<i>37</i>
<i>Cuadro 12. Índices DRASTIC para conductividad hidráulica.....</i>	<i>38</i>
<i>Cuadro 13. Peso asignado a los distintos parámetros establecidos por el modelo DRASTIC.....</i>	<i>39</i>
<i>Cuadro 14. Vulnerabilidad relativa y rango de clasificación del índice DRASTIC pesticida.....</i>	<i>39</i>
<i>Cuadro 15. Riesgo de contaminación del acuífero según el índice de vulnerabilidad DRASTIC.....</i>	<i>40</i>
<i>Cuadro 16. Riesgo de contaminación del acuífero según el uso actual de la tierra.....</i>	<i>40</i>
<i>Cuadro 17. Valores resultantes de riesgo de contaminación del acuífero según la vulnerabilidad relativa y el uso actual de la tierra en la cuenca del Arroyo Capiirary, Paraguay.....</i>	<i>41</i>
<i>Cuadro 18. Clasificación de áreas críticas de la cuenca del Arroyo Capiibary resultante de la vulnerabilidad de contaminación del acuífero y del uso actual de la tierra.....</i>	<i>41</i>
<i>Cuadro 19. Debilidades del marco legal e institucional en el manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.....</i>	<i>42</i>
<i>Cuadro 20. Porcentaje de la población del Paraguay con acceso al agua potable.....</i>	<i>45</i>
<i>Cuadro 21. Porcentaje de la población del Paraguay con servicio de alcantarillado sanitario.....</i>	<i>46</i>
<i>Cuadro 22. Fortalezas del marco legal e institucional en el manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.....</i>	<i>47</i>

<i>Cuadro 23. Actividades antrópicas realizadas en el área rural de la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005. ....</i>	<i>53</i>
<i>Cuadro 24. Superficie por cultivo, síntesis histórica de la producción agrícola del Paraguay. ....</i>	<i>56</i>
<i>Cuadro 25. Superficie, producción y rendimiento del cultivo de soja por departamento. Paraguay, año agrícola 2002/03. ....</i>	<i>56</i>
<i>Cuadro 26. Especies cultivadas, porcentaje de los productores que las siembran y total de superficie ocupada por cada cultivo en las 120 fincas encuestadas en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005. ....</i>	<i>57</i>
<i>Cuadro 27. Especies animales y cantidad de productores encuestados que poseen esos animales en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005. ....</i>	<i>58</i>
<i>Cuadro 28. Principales problemas asociados al manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay. ....</i>	<i>60</i>
<i>Cuadro 29. Categorización de la protección vegetal de márgenes de los cursos de agua para el análisis del manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005. ....</i>	<i>61</i>
<i>Cuadro 30. Área rural y urbana en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay. ....</i>	<i>67</i>
<i>Cuadro 31. Alternativas de manejo sustentable del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay. ....</i>	<i>72</i>
<i>Cuadro 32. Cantidades de nitrato obtenidas en análisis químicos de las aguas subterráneas y ubicación de los pozos muestreados dentro de la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay. ....</i>	<i>75</i>
<i>Cuadro 33. Superficie y distribución de las áreas muy críticas para la contaminación de las aguas subterráneas dentro de la cuenca del Arroyo Capiiraby, Paraguay. ....</i>	<i>77</i>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	<i>Cobertura geográfica del Acuífero Guaraní en América del Sur.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2.</i>	<i>Ubicación de la cuenca del Arroyo Capiibary en el Paraguay. ....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3.</i>	<i>Esquema metodológico general utilizado para la realización del trabajo.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4.</i>	<i>Distribución geográfica de las fincas visitadas para la realización de las encuestas en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 5.</i>	<i>Actividades de producción realizadas dentro de la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005. ....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 6.</i>	<i>Presencia de cursos naturales de agua dentro de la propiedad en la muestra de fincas estudiadas en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay. ....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 7.</i>	<i>Grado de protección vegetal de márgenes de los cursos de agua en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 8.</i>	<i>Proceso de deforestación del Bosque Atlántico Alto Paraná desde el año 1900 hasta el año 2000.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 9.</i>	<i>Plantaciones forestales en las propiedades de los productores, cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005. ....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 10.</i>	<i>Mapa de vulnerabilidad de contaminación del Acuífero Guaraní en la cuenca del Arroyo Capiibary según el método DRASTIC.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 11.</i>	<i>Mapa de áreas críticas de contaminación del Acuífero Guaraní en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.....</i>	<i>78</i>

# 1. INTRODUCCIÓN

El Acuífero Guaraní es una de las reservas subterráneas de agua dulce más grandes e importantes del planeta. Se sabe muy poco de este inmenso reservorio de agua pura, conocido como el Gigante del MERCOSUR (Mercado Común del Sur) porque se ubica en el subsuelo de los cuatro países que integran el MERCOSUR. Se extiende desde Brasil, ocupa parte de Paraguay y Uruguay, y finaliza en Argentina (Figura 1). Hasta antes del descubrimiento de que realmente se trata de un sistema interconectado, el acuífero se conocía, en sus diversas localizaciones geográficas, bajo los nombres de Botucatu en Brasil, Misiones en Paraguay y Tacuarembó en Uruguay y Argentina.

El acuífero posee aproximadamente 132 millones de años. Sus orígenes se remontan a cuando África y América aún se encontraban unidas. Está localizado en el centro-este de América del Sur entre 12° y 35° de Latitud Sur y entre 47° y 65° de Longitud Oeste. Tiene una extensión aproximada de 1.200.000 km<sup>2</sup> (superficie más grande que la que España, Francia y Portugal juntas ocupan en Europa) 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, que representan respectivamente el 10% del territorio de Brasil, el 6% del territorio de Argentina, el 18% del territorio de Paraguay y 25% del de Uruguay. En Argentina, la profundidad a la que se encuentra está por debajo de los 900 metros, pero en Brasil, Paraguay y Uruguay se dan situaciones muy diferentes, desde los 50 metros de profundidad hasta un máximo de 1.500 metros.

Se estima que contiene una reserva de 50.000 km<sup>3</sup> de agua, con una explotación adecuada este volumen es 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.

Debido a su inmenso tamaño, el Acuífero Guaraní resulta atractivo para el "Mercado del Agua", ya que dos tercios de la población mundial enfrentará déficit de agua potable para el 2025 de acuerdo a proyecciones de la ONU (Organización de las Naciones Unidas), por lo tanto, éste constituye una reserva estratégica para futuras generaciones.



*Figura 1. Cobertura geográfica del Acuífero Guaraní en América del Sur.*

Es una fuente de agua y recurso elemental para la región del MERCOSUR, que aún está a buen tiempo de preservarse si se le protege y gestiona en forma adecuada, por parte de la sociedad, los usuarios de sus aguas y los gobiernos.

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 sus aguas con escasa regulación, ambas características en otras latitudes han contribuido al daño irreparable de estas fuentes de agua. Por lo tanto, se justifica plenamente actuar en forma adecuada, con programas eficaces y acordes con la realidad para proteger el Acuífero Guaraní hoy, para ser utilizado por las actuales y futuras generaciones.

La zona de recarga directa o afloramiento del acuífero es muy delicada porque de la misma forma que el agua se infiltra directamente, los contaminantes también pueden hacerlo. Es sumamente importante hacer un trabajo de protección y conservación de estas regiones.

Del área total del Acuífero Guaraní, aproximadamente el 35% sería zona de recarga directa o afloramiento. El área más importante y fundamental de recarga y descarga es el corredor transfronterizo entre Paraguay, Brasil y Argentina, ubicado en la zona de la triple frontera. Se estima que para todo el Sistema Acuífero Guaraní la recarga hídrica es de 166 km<sup>3</sup>/año.

A pesar de la importancia de este acuífero para el abastecimiento de agua potable, las condiciones hidrogeológicas de este sistema, recarga, descarga y dinámica del flujo son hasta ahora casi desconocidas, haciendo prácticamente imposible determinar sus reservas y permitir una gestión racional del recurso.

Este acuífero está ubicado al este de la Región Oriental del Paraguay, formando una faja que se extiende de norte a sur, a lo largo del Río Paraná que constituye el límite oriental del país con Argentina. Se entiende como Sistema Acuífero Guaraní al paquete de rocas sedimentarias triásicas de la Formación Misiones y se le incorpora al estudio de ese Sistema Acuífero al grupo de rocas volcánicas cretácicas de la Formación Alto Paraná.

El 80% del abastecimiento de agua potable en el Paraguay se realiza a través de las aguas subterráneas, de ahí la importancia de este recurso para el desarrollo socio-económico. El 36% de la población del país habita sobre el Acuífero Guaraní y es abastecida por sus aguas.

La cuenca del Ao Capiibary se encuentra en una de las zonas de recarga del Acuífero Guaraní, en la Región Oriental del Paraguay. Esta cuenca es muy importante para dicho acuífero por representar una posible fuente de contaminación del mismo. Existe un gran número de familias que viven en la zona, realizando actividades de producción, que en muchos casos, no son realizadas en forma sostenible, lo que se constituye en un gran riesgo para el mantenimiento de la potabilidad y calidad del agua del acuífero.

## 1.1 Objetivos

### *1.1.1 Objetivo general*

Analizar el manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary para diseñar estrategias que orienten la toma de decisiones, la planificación e implementación de acciones que reduzcan el riesgo de contaminación del Acuífero Guaraní.

### *1.1.2 Objetivos específicos*

- 1) Analizar el marco legal e institucional referente a la utilización y conservación de los recursos hídricos en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.
- 2) Describir las principales actividades antrópicas que contribuyen a la contaminación de las aguas del Arroyo Capiibary y con ello al Acuífero Guaraní.
- 3) Identificar, de manera participativa, los principales problemas asociados al manejo del recurso hídrico y proponer soluciones para el manejo sostenible de la cuenca.
- 4) Estimar por medio de la aplicación del modelo DRASTIC, la vulnerabilidad de contaminación del Acuífero Guaraní en la cuenca del Arroyo Capiibary e identificar áreas críticas con base en la vulnerabilidad de contaminación y el mapa de uso actual de la tierra.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Cuencas hidrográficas

La cuenca de drenaje de una corriente es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido (Villón 2002).

La cuenca hidrográfica es una unidad definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dado. Las cuencas hidrográficas son unidades morfográficas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones; también conocido como "parteaguas". Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como parteaguas secundarias. La cuenca hidrológica es más integral y abarca a la primera; es definida como las unidades morfológicas integrales que además de incluir todo el concepto de cuenca hidrográfica, abarcan en su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo (Jiménez 2004a).

En el sistema de una cuenca hidrográfica, el componente social altera otros componentes en busca de satisfacer sus necesidades, generando procesos de degradación de los recursos naturales que afectan la calidad y disponibilidad de los mismos (Cruz 2002).

La degradación de cualquiera de los recursos naturales afecta directamente en la conservación de toda la cuenca hidrográfica donde se encuentra. La cuenca la forman componentes biofísicos (agua, suelo), biológicos (flora, fauna) y antropocéntricos (socioeconómicos, culturales, institucionales), que están todos interrelacionados y en equilibrio entre sí, de tal manera que al afectarse uno de ellos, se produce un desbalance que pone en peligro todo el sistema (Ramakrishna 1997).

## 2.2 Aguas subterráneas

Agua subterránea es aquella que ocupa todos los vacíos dentro del estrato geológico, comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático (Villón 2002). Losilla (1986) define al agua subterránea como aquella que se encuentra naturalmente por debajo de la superficie de la tierra ocupando espacios vacíos de la roca o suelo.

Las aguas subterráneas provienen de la infiltración directa en el terreno de las lluvias o nieves, o indirectas de ríos o lagos. La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en las capas superiores del suelo, mientras que la percolación es el movimiento del agua en la capas del subsuelo (Villón 2002).

Si el nivel del agua superficial está por encima del nivel freático (influyente) se produce un aporte a las aguas subterráneas, por el contrario, si el nivel de las aguas superficiales está por debajo del nivel freático (efluente), se produce un aporte a las aguas superficiales, es por esto que se tienen las corrientes perennes, a pesar de que no se produzca precipitación (Villón 2002).

La calidad físico-química natural del agua subterránea es mucho más constante que la del agua superficial, y normalmente es de calidad potable con muy poco o nada de tratamiento; por la existencia de suelo y/o roca arriba del reservorio de aguas subterráneas, están más protegidas de la contaminación (natural y antrópica) que las aguas superficiales; sus variaciones en cantidad y disponibilidad en épocas de sequía y de precipitación son muy pequeñas comparadas con la del agua superficial, en la que los ríos se secan o pueden producir inundaciones; las aguas subterráneas bien manejadas son también una reserva estratégica importante (Losilla *et al.* 2001).

### 2.2.1 Acuíferos

Como acuífero se entiende la parte saturada del perfil del suelo y que tiene la facilidad de almacenar y transmitir el agua. El perfil del suelo está formado por sedimentos no consolidados o débilmente consolidados, depositados horizontalmente o simplemente estructurados, en capas mejor o peor definidas. Una característica común de estas capas es la de ser de poco espesor en relación con su extensión horizontal. Villón (2002) clasifica estas capas en:

- Permeables.
- Semipermeables.
- Impermeables.

Se dice que una capa es permeable cuando sus propiedades transmisoras de agua son favorables o, al menos favorables en comparación con los estratos superiores o inferiores. En una capa de este tipo la resistencia al flujo vertical es pequeña y puede ser generalmente despreciada de forma que únicamente deben tenerse en cuenta las pérdidas de energía causadas por el flujo horizontal.

Una capa se considera semipermeable si sus propiedades transmisoras de agua son relativamente desfavorables. El flujo horizontal a lo largo de una distancia significativa es despreciable, pero el flujo vertical no puede despreciarse ya que la resistencia hidráulica del flujo es pequeña debido al espesor relativamente pequeño de las capas. Por consiguiente el flujo de agua en las capas semipermeables se considera esencialmente vertical.

Una capa es impermeable cuando sus propiedades transmisoras de agua son tan desfavorables que solamente fluyen a través de ella, sea vertical u horizontal, cantidades de agua despreciables. Capas completamente impermeables son poco frecuentes cerca de la superficie del suelo, pero son comunes a mayores profundidades, donde han tenido lugar la compactación, cementación y otros procesos de consolidación.

Las capas que contienen agua subterránea se combinan en sistemas acuíferos. Para un tratamiento matemático de los problemas del flujo superficial un sistema acuífero debe ser relativamente simple y pertenecer a alguno de los siguientes acuíferos:

Acuífero libre: llamado también acuífero freático o capa freática. Es una formación permeable saturada limitada en su parte inferior por una capa impermeable. El límite superior está formado por la tabla de agua, la se encuentra es equilibrio con la presión atmosférica. El agua en un acuífero libre se llama agua freática o libre. El nivel del agua producido por la instalación de un pozo de observación o de un agujero que penetra en dicha formación por lo general no se eleva más arriba del nivel freático.

Acuífero confinado: es una formación permeable completamente saturada de agua y cuyos límites superior e inferior son capas impermeables. En los acuíferos confinados, la presión del agua en

ellos, es generalmente mayor que la atmosférica, por tal razón, el agua en pozos que penetran en tales acuíferos permanecen por encima del nivel superior de las capas permeables. El agua de un acuífero confinado se denomina agua confinada o agua artesiana.

Acuífero semiconfinado: es una formación permeable saturada, cuyo límite superior está constituido por una capa semipermeable y cuyo límite inferior puede ser una capa impermeable o semipermeable. En la capa superior se encuentra la tabla de agua, cuya altura difiere a menudo a la carga piezométrica y al agua confinada en la capa permeable. En esos acuíferos para la obtención de la superficie piezométrica se utilizan los piezómetros. Debido a la diferencia en la carga hidráulica (entre la tabla de agua y superficie piezométrica) hay un componente del flujo que tiende a bajar la capa freática. El agua de un acuífero semiconfinado se llama semiconfinada.

Acuífero semilibre: es en realidad una formación casi semiconfinada, en la cual la conductividad hidráulica de la capa semipermeable (grano fino) es tan grande que el componente horizontal de flujo de esta capa no puede ser despreciado. Este tipo de acuífero es una forma intermedia entre el tradicional, acuífero semiconfinado y el acuífero libre.

### ***2.2.2 Zonas de recarga de un acuífero***

En términos generales se denomina recarga al proceso por el se incorpora a un acuífero agua procedente del exterior del contorno que lo limita. Son varias las procedencias de esa recarga, desde la infiltración de la lluvia (la más importante en general) y de las aguas superficiales (importantes en climas poco lluviosos), hasta la transferencia de agua desde otro acuífero, si los mismos son externos al acuífero o sistema acuífero en consideración (Custodio 1998).

Los acuíferos potencialmente recargan en cualquier área en que: a) exista suelo o roca permeable en superficie, b) que esté en comunicación hidráulica con los acuíferos, y c) que esté temporalmente en contacto con agua. Todos estos factores definen la recarga, ocurren en diferentes grados relativos en las capas que sobreyacen a los acuíferos (Losilla 1986).

Estrictamente hablando toda el área que sobreyace a un determinado acuífero es susceptible de recarga del mismo. Sin embargo un área relativamente pequeña compuesta por materiales de alta permeabilidad, en comunicación hidráulica directa con el acuífero, y bajo un régimen de precipitación prolongado podría aportar el 70 u 80% de la recarga de ese acuífero, y todavía más

si en esa área existen cuerpos influentes de agua superficial (ríos o lagos) en contacto permanente con los materiales en superficie (Losilla 1986).

Las áreas de mayor recarga son las más importantes de conservar, tanto en sus características físicas de permeabilidad, que afectan la magnitud de la recarga como en actividades que produzcan contaminantes que fácilmente se puedan infiltrar al acuífero afectando la calidad de sus aguas (Losilla 1986).

Los crecimientos urbanos, industriales, agropecuarios y explotación de otros recursos naturales consecuentes del desarrollo y crecimiento demográfico producen efectos e implicaciones en los acuíferos como se indica en el Cuadro 1.

*Cuadro 1. Efectos del crecimiento demográfico sobre los acuíferos.*

Efectos	Implicaciones en el acuífero
Mayor explotación de aguas subterráneas	Descenso de niveles de agua - Mejoramiento de drenaje en tierras bajas (control de inundaciones) - Aumento en costos de bombeo - Intrusión salina en zonas costeras (degradación) - Disminución de descargas naturales (manantiales, flujo base)
Impermeabilización de suelos (zonas de recarga) - Deforestación (compactación de suelos por lluvias y erosión por mayor escorrentía superficial) - Construcciones (urbanizaciones, carreteras, etc.)	Menor recarga (menor potencial acuífero, aumento escorrentía superficial y erosión en zonas de recarga)
Intensificación de actividades humanas	Contaminación de aguas y suelos

Fuente: Losilla 1986.

El cambio de uso de la tierra, especialmente urbanización y deforestación, en algunos casos tiene una influencia directa en la reducción de la recarga a los acuíferos, al disminuir, a veces en forma directa, la capacidad de infiltración de los suelos, por la compactación o impermeabilización de áreas de recarga con urbanizaciones y carreteras (Losilla *et al.* 2001).

Estas alteraciones del régimen hídrico afectan no solo la disponibilidad del agua subterránea, sino que aumentan la escorrentía superficial, causando mayor erosión de suelos e incremento de la magnitud y frecuencia de avenidas extraordinarias, las que pueden causar pérdidas de vidas humanas, amenaza de la seguridad social y daños económicos en las cuencas afectadas (Losilla *et al.* 2001).

### ***2.2.3 Contaminación de aguas subterráneas***

Los cambios en la calidad de las aguas subterráneas son causados por diferentes factores: por la introducción de sustancias químicas o biológicas en el medio ambiente subterráneo debida a la actividad humana, por la interferencia cuantitativa con los esquemas naturales de circulación, por procesos completamente naturales, o por diversas combinaciones posibles entre todos ellos (FAO 1981).

Las aguas subterráneas pueden ser deterioradas o contaminadas por sobreexplotación y otras actividades humanas. Una vez contaminado el reservorio de aguas subterráneas, su recuperación es difícil y en muchos casos prácticamente imposible por el costo y tiempo que toma su limpieza, lo cual podría alcanzar décadas o siglos (Losilla *et al.* 2001).

El hombre introduce elementos extraños en los acuíferos subterráneos a través de un gran número de actividades. En lo que se refiere a las prácticas agrícolas, el empleo de pesticidas y plaguicidas puede resultar a largo plazo muy peligroso para las aguas superficiales y subterráneas, asimismo la utilización de cantidades excesivas de abonos y fertilizantes puede plantear serios problemas debido a una acumulación de nutrientes en las aguas. En cuanto a su distribución, la mayor parte de estas formas de contaminación se distinguen por su carácter no puntual, ya que sus efectos se extienden sobre amplias zonas (FAO 1981).

Existen otras formas de contaminación de tipo agrícola que pueden ser consideradas como fuentes puntuales; entre ellas se encuentran las deyecciones del ganado, sobretodo la producida bajo régimen de estabulación, el almacenamiento de fertilizantes y pesticidas, los restos de cosechas, etc. (FAO 1981).

La entrada de agentes contaminantes al manto acuífero subterráneo, puede tener lugar de muy diversas maneras. Los materiales que inician su trayectoria en la superficie del terreno están sujetos a una serie de procesos entre los que se encuentran la lixiviación, la infiltración a través de la zona no saturada del terreno y la llegada al nivel saturado, es decir al acuífero. Algunos materiales pueden llegar al acuífero inmediatamente, como el caso de inyección directa de aguas residuales. Una vez incorporado el agente contaminante al sistema hidráulico subterráneo, se desplaza siguiendo el flujo general del agua subterránea y en muchos casos, su efecto se ve

atenuado con la distancia, dependiendo de una larga serie de factores, tanto físicos, como químicos y biológicos (FAO 1981).

La percepción y concientización de la sociedad ante problemas de degradación de la calidad de los recursos hídricos subterráneos son fenómenos recientes en todo el mundo y particularmente en Latinoamérica. Los estudios de detección de contaminación de acuíferos aún son limitados, y el conocimiento real de la extensión del problema es prácticamente inexistente. Intentar controlar las actividades potencialmente contaminantes, estudiar casos conocidos, e incluso subsanar el problema en todas las áreas degradadas es práctica y económicamente imposible. Se ha hecho urgente que los países empiecen un programa efectivo y sistemático de protección de acuíferos. De no hacerse así, la pérdida del recurso y de las inversiones hechas en el mismo será inminente. Para una administración ambientalmente segura de las aguas subterráneas, la mejor práctica es proteger el recurso antes de su contaminación (Hirata 2002).

## **2.3 Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH)**

La GIRH es un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales (GWP 2000).

Es importante generar un ambiente propicio para la GIRH, que implique un marco general de políticas, legislación, regulaciones e información oportuna para los gerentes de gestión. Así mismo, se debe trabajar en la definición clara del rol de las instituciones y en sus funciones (Astorga 2004).

### ***2.3.1 Marco jurídico y regulatorio***

El agua es un recurso efímero y escaso para múltiples usos, lo que puede ser causante de conflictos, influencias negativas externas y conflictos encontrados. Es también renovable y su uso sostenible requiere una gestión integrada. La legislación hídrica puede crear un marco para la gestión integrada y determina la forma como los factores económicos se relacionan con los recursos del agua, proporcionando el contexto para las actividades hídricas individuales, comunales, públicas y privadas (GWP 2004).

A mayor escasez del agua o de capital, y a mayores conflictos que surjan sobre el agua, más importante es la necesidad de tener una ley de agua comprensiva y coherente. En muchos casos el principal problema no es la carencia de una legislación adecuada, sino la carencia de una voluntad política, de recursos y medios para llevar a cabo la aplicación incluso coactiva de la legislación actual (GWP 2000).

Mientras aumenta la presión sobre los recursos hídricos, los gobiernos deben considerar el agua como un recurso por derecho propio y gestionarlo de acuerdo con esto. Las políticas son el marco dentro del cual se gestionan los recursos hídricos, y por consiguiente son el marco dentro del cual se desarrolla el enfoque de la GIRH. Para integrarse, las políticas de los recursos hídricos deben enlazarse con las políticas económicas nacionales en general y las políticas nacionales sectoriales relacionadas. La GIRH implica también tomar en cuenta en la gestión hídrica, los asuntos hídricos dentro de todos los sectores económicos y sociales (GWP 2004).

Todos los sistemas naturales de vida en el planeta dependen de la disponibilidad de agua. La civilización y el bienestar comunal actual necesitan del agua para consumo humano, para diversos usos domésticos, para sus sistemas productivos agrícolas e industriales y para producir la energía que mueve las ciudades e industrias. Todas las políticas sociales y ambientales deben incluir el agua como elemento integrador y clave. Las políticas y el manejo racional del agua son componentes críticos en la sostenibilidad de estrategias ambientales (Losilla *et al.* 2001).

La formulación de políticas es un rol gubernamental medular. Políticas apropiadas pueden impulsar el desarrollo participativo, orientado por la demanda y sostenibilidad. Las políticas que promueven la gestión integrada de los recursos hídricos incluyen los más amplios objetivos sociales y económicos de la nación, que conforman los objetivos de desarrollo de la sociedad. Las políticas llevan al desarrollo de las leyes, reglamentos y regulaciones diseñadas para lograr todos los objetivos de las políticas (GWP 2004).

La legislación provee la base para la intervención y acción del gobierno y establece el contexto y el marco para la acción de entidades no gubernamentales, por ende, es un elemento importante para un ambiente socioeconómico y social apropiado. Leyes de aguas específicas han sido estipuladas en un número considerable de países, pero algunos todavía carecen de una ley de recursos de agua *per se*. En estos países, aunque se pueden encontrar referencias sobre



recursos de agua en la legislación nacional, están frecuentemente dispersas en una multitud de leyes orientadas sectorialmente y pueden ser contradictorias o inconsistentes en algunos aspectos del uso del recurso hídrico (GWP 2000).

Varios países reflejan los propósitos y objetivos de sus políticas de agua en sus legislaciones de agua. La declaración de las políticas es relevante para la interpretación, uso y aplicación de la legislación. Varias leyes incluyen principios de políticas donde los múltiples roles del agua son reconocidos. Así, el Acta Canadiense de Agua de 1970 promueve el uso óptimo de las fuentes de agua para el beneficio de todos los canadienses. La Ley de Agua de Alemania (modificada en 1986) establece que el agua (tanto superficial como subterránea) sea manejada de manera que sirva al interés común, beneficiando a los usuarios individuales y al mismo tiempo previniendo impactos dañinos evitables. El Documento de Políticas de Manejo de Agua de Holanda establece una política de manejo integrado de recursos hídricos que incluye los aspectos cuantitativos y cualitativos del manejo del agua. La política de la Ley de Agua de China (1988) asegura el desarrollo racional, utilización y protección de las fuentes de agua, haciendo notar los beneficios del agua, para el desarrollo económico y los medios de vida de la población. Las políticas de la Ley de Agua de México (1992) incluye la preservación de la calidad del agua y la promoción del desarrollo sostenible (Solanes y Gonzalez-Villarreal 1999).

Muchos países han firmado y ratificado convenciones internacionales y tratados que guían e influyen en el uso de leyes que afectan el agua por lo que las leyes nacionales deben ser vistas en este contexto (GWP 2004).

Las preocupaciones ambientales, la manera cómo las políticas hídricas pueden tener impacto sobre otros medios ambientales y viceversa, se debe reconocer. Al mismo tiempo, las políticas económicas y sociales deben considerar las posibles implicaciones en el recurso hídrico. Los desarrollos fuera del sector hídrico, por ejemplo las políticas nacionales energética y alimentaria, deben evaluarse por sus posibles impactos sobre el recurso hídrico (GWP 2004).

### ***2.3.2 Marco institucional***

Las actividades de desarrollo son necesarias y no pueden ser detenidas, pero deben controlarse y adecuarse al medio, lo principal es tomar conciencia de sus repercusiones y tener información para la planificación (Losilla 1986).

El control gubernamental en asuntos hídricos se refiere al diseño e implementación de políticas públicas para la gestión y la inversión sostenible del agua y necesita del apoyo completo de la sociedad. Sin políticas apropiadas las instituciones no pueden funcionar. Sin un buen control gubernamental la sociedad civil no apoyará las políticas y será muy difícil lograr el uso sostenible y equitativo del agua. Un buen control gubernamental requiere, sobre todo, transparencia por parte de las instituciones y participación de los ciudadanos (GWP 2004).

Hay una correspondencia entre la falta de existencia o vigencia de instituciones y la ocurrencia de conflictos socio-ambientales. En ausencia de reglas claras y aceptables, reina una especie de anarquía, en que cada uno hace lo que se le antoje. Es lo opuesto a gobernabilidad. Por ende, se deben crear, en el proceso de resolver un conflicto, instituciones efectivas, equitativas y compartidas. En la medida en que haya reglas acordadas, razonables y equitativas, habrá menos campo para conflictos y más posibilidades para resolverlos cuando ocurran (Prins 2004).

Una gran variedad de instituciones puede involucrarse en la integración de un ente administrador para recursos hídricos, desde muy grandes, transfronterizos o internacionales a locales, gobiernos regionales, grupos pequeños de la sociedad civil y organizaciones comunitarias. La formación en cada país dependerá de la experiencia y las necesidades del país. Hoy día las organizaciones del agua están experimentando, tanto cambios estructurales como institucionales, reflejando los deseos nacionales para una mayor eficiencia y un mejor desempeño (GWP 2004).

Pero en este momento, muchas organizaciones cuya función primordial no es la gestión del agua, son responsables de sectores donde el impacto de los recursos hídricos es enorme, algunos ejemplos son agricultura, industria, comercio y energía. Las estructuras institucionales varían de país a país, pero cualquiera que sea su estructura, es esencial tener mecanismos para el diálogo y la coordinación para asegurar medidas de integración (GWP 2004).

### ***2.3.3 Institucionalidad y conservación de los recursos naturales***

La institucionalidad juega un papel muy importante para el desarrollo humano y la conservación de los recursos naturales puesto que las reglas de juego sobre el acceso y uso de los recursos naturales son como una bisagra que une a la sociedad con el medio ambiente. Si se analiza una situación de conflicto socio ambiental, resulta que no hay claridad y acuerdo sobre las reglas de juego. De modo que el manejo de un conflicto socio ambiental, implica formar, en el proceso,

instituciones (códigos de conducta) aceptables para las partes en pugna y amigables para el ambiente (Prins 2004).

Una función social de las instituciones es fomentar y regular el tipo de conductas y relaciones sociales consideradas deseables. Las instituciones regulan las relaciones entre el medio ambiente biofísico y el social. Su presencia, vigencia y contenido hacen la diferencia entre depredación y conservación (Prins 2004).

Si algo no tiene valor, no hay instituciones que lo protegen. No se pueden implementar prácticas y tecnologías de conservación y buen manejo de los recursos naturales, mientras no haya instituciones que lo faciliten y fomenten (Prins 2004).

Comunidades y naciones con niveles similares de recursos naturales, físicos y humanos demuestran alcanzar muy distintos niveles de desarrollo. Países con enormes riquezas naturales persisten en la pobreza, mientras que otros países que carecen de estos recursos lograron construir economías complejas y más desarrolladas. Realidades semejantes se observan a nivel de comunidades, donde unos prosperan mientras otros no, aun cuando comparten áreas aledañas, muy similares en recursos materiales y humanos (Prins 2004).

Según North, las tradicionales teorías del desarrollo carecen de capacidad para generar explicación satisfactoria de estas realidades: "La disparidad de performance económica y la persistencia de economías dispares en el tiempo no ha sido explicada satisfactoriamente por la economía del desarrollo, a pesar de cuarenta años de esfuerzos inmensos... Lo que ha estado faltando es un entendimiento de la naturaleza de la coordinación y cooperación humana". Y esta coordinación y cooperación humana depende de la calidad de la institucionalidad de las naciones y comunidades. En esta perspectiva, el subdesarrollo se entiende primordialmente como consecuencia de deficiencias institucionales (Prins 2004).

Se podría decir que institucionalidad se refiere a la dimensión organizativa de cada sociedad. Se refiere al grado de facilidad con el cual los miembros de sociedades (locales o nacionales) logran relacionarse para cooperar de manera mutuamente beneficiosa, y para resolver sus diferencias de intereses sin que éstos lleguen a conflictos y enfrentamientos (Bastiaensen y Vaessen 2002).

La tragedia de los comunes de Harding establece que los recursos de libre acceso o uso común están destinados a depredarse y desaparecer.

Norman Uphoff (1987) citado por Bastiaensen y Vaessen (2002) analiza las múltiples formas en que las comunidades campesinas en el mundo se han organizado en torno al manejo de sus recursos naturales y productivos. Demuestra que precisamente para conservar y manejar los recursos de importancia para su subsistencia, las comunidades han diseñado gran parte de sus instituciones sociales.

El estado en que están los recursos, refleja el estado de la organización y de la vigencia de las reglas de uso. Es preciso analizar el fondo del mal o buen manejo de los recursos, para poder mejorarlo. Debe garantizarse el usufructo de los bienes, por largo tiempo, y delimitar claramente los límites del territorio y del grupo social usuario (Bastiaensen y Vaessen 2002).

Un plan de manejo implica también previsión y reglamentación. Las reglas, además de basarse en el conocimiento, deben ser transparentes y equitativas. El parámetro crítico ecológico es: no extraer más de lo que se puede regenerar naturalmente; el parámetro crítico social es: la reciprocidad. Quienes se aprovechan de los recursos deben contribuir a su mantenimiento y reposición. Debe haber una proporcionalidad entre beneficios y costos, derechos y obligaciones. En fin, las reglas de uso deben fijar los límites de la apropiación ecológica y socialmente aceptable (Prins 1998).

### ***2.3.4 Enfoque participativo en la GIRH***

El agua es un elemento del cual todos son responsables por su custodia. La participación real se logra sólo cuando los interesados forman parte del proceso de toma de decisiones. Un enfoque participativo es el único medio para alcanzar consensos duraderos y un acuerdo común (GWP 2000).

Debido a la competencia entre los múltiples usuarios y al aumento en la presión sobre los recursos por la creciente contaminación, la participación de la mayor cantidad posible de interesados y de las autoridades en gestión de los recursos hídricos es crucial. El agua es un asunto central para el desarrollo, por lo tanto, su gestión afecta a casi todas las actividades dentro de la sociedad y la economía (GWP 2004).

La investigación participativa involucra a los usuarios de tecnologías en su creación o validación, para así generar mejores condiciones para su aplicación viable, sostenible y masiva. Potencia la capacidad de innovación y la calidad de toma de decisiones de las familias productoras (Prins 2004).

Con los conocimientos científicos se puede definir una agenda, pero dejando un amplio espacio de diálogo con los finqueros para que ellos puedan expresar sus preferencias de una u otra tecnología y proponer su adaptación a las condiciones particulares de su finca (Prins 2004).

Es de suma importancia la participación de los productores para el empoderamiento de las nuevas tecnologías, es decir, potenciar su capacidad de observación, experimentación e innovación y la calidad de su toma de decisiones (Prins 2004).

No se trata únicamente de aumentar la producción sino también de conservar su base productiva. El reto actual, y de fondo por lo tanto, es la agricultura sostenible: una agricultura rentable y sostenible a la vez; aumentar el nivel de producción a un nivel que es posible de mantener en el tiempo. Producir, conservando; conservar, produciendo. Buscar un equilibrio entre producción y conservación (Prins 2004).

## **2.4 Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero**

La vulnerabilidad se refiere al grado de daño que puede sufrir un elemento bajo riesgo (aguas subterráneas) resultado de la probable ocurrencia de un evento de una magnitud e intensidad dada (contaminación) (Jiménez 2004b).

La vulnerabilidad a la contaminación es una característica de los acuíferos difícil de determinar y depende de la interacción entre diferentes factores, como profundidad del nivel freático o techo del acuífero, la capacidad de atenuación de las capas litológicas sobrepuestas al acuífero, la tasa de recarga y otros factores. Alrededor del mundo se han propuesto diferentes modelos para la determinación de la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero. Estos son modelos matemáticos y hacen uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para generar los mapas de vulnerabilidad y de esta forma, tomando en cuenta la amenaza, estimar el riesgo de contaminación. Estos mapas forman parte de un conjunto mayor de información, necesaria para el

manejo racional de los recursos hídricos, tomando en cuenta tanto la administración como la protección de dicho recurso (Agüero y Pujol 2000).

Losilla (1986) identifica como actividades humanas causantes de riesgo de contaminación de acuíferos a las urbanizaciones, industrias, extracciones minerales, prácticas agropecuarias como cultivos de suelos y cría de animales, principalmente si están ubicadas en zonas de recarga. También menciona que dichas actividades están controladas por algunos factores naturales y antropogénicos como:

Vulnerabilidad del acuífero (natural):

- Tiempo de retardo (precipitación, capacidad de infiltración, profundidad de nivel de agua, retención específica).
- Retención físico-química (tamaño y distribución de poros y fisuras, tipo mineralógico, contenido de arcilla, contenido orgánico).
- Potencial de dilución (flujo de agua subterránea, almacenamiento de agua subterránea).

Carga contaminante (antropogénico):

- Sobre carga hidráulica/inyección (profundidad de descarga, carga hidráulica).
- Movilidad/persistencia (biodegradabilidad, reactividad química, características de absorción y adsorción).
- Proporción de recarga afectada (puntual con poco o mucho volumen de fluido, puntos múltiples, dispersa sobre toda o parte del área).

Para asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo es necesaria una adecuada protección. Conociendo las zonas de mayor vulnerabilidad a la contaminación pueden establecerse en ellas programas específicos de inspección y monitoreo sobre posibles fuentes de contaminación (Agüero y Pujol 2000).

### 2.4.1 Modelo DRASTIC

Alrededor del mundo se han llevado a cabo muchos análisis de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos con la ayuda de Sistemas de Información Geográfica. Mapas de vulnerabilidad se han desarrollado a diferentes escalas y en diferentes países y regiones. Existen muy diversos métodos de determinación de la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero. Internacionalmente son utilizados los métodos DRASTIC, GOD y SINTACS entre otros. Estos métodos buscan determinar la vulnerabilidad intrínseca del acuífero de la manera más objetiva posible, por lo que suelen utilizar rangos de clasificación definidos para cada una de las variables (Agüero y Pujol 2000).

El método DRASTIC fue desarrollado en Estados Unidos, con el objeto de crear una herramienta para evaluar sistemáticamente el potencial de contaminación del agua subterránea de cualquier ambiente hidrogeológico con la información existente (Alvarado 2000).

Los parámetros hidrogeológicos que permiten obtener el índice DRASTIC son:

- D = *Depth to water* (profundidad hasta el 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)

DRASTIC permite determinar un valor numérico para cada punto mediante la siguiente ecuación:

$$D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W = \text{Índice de vulnerabilidad}$$

Donde los subíndices R y W son el puntaje (*rating*) y el peso de ponderación (*weight*) respectivamente (Bessouat *et al.* 1999).

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Descripción del área de estudio

El Paraguay se divide política geográficamente en dos grandes regiones, la Región Oriental y la Región Occidental o Chaco, cada región se divide en departamentos, que a su vez se subdividen en distritos. Este trabajo se desarrolló en la cuenca del Ao Capiibary ubicada dentro del Departamento de Itapúa en la Región Oriental del Paraguay (Figura 2) y ocupa parte de 10 distritos de Itapúa: Alto Verá, Pirapó, Obligado, Bella Vista, Hohenau, Jesús, La Paz, Trinidad, Capitán Miranda y una muy pequeña parte de Nueva Alborada.

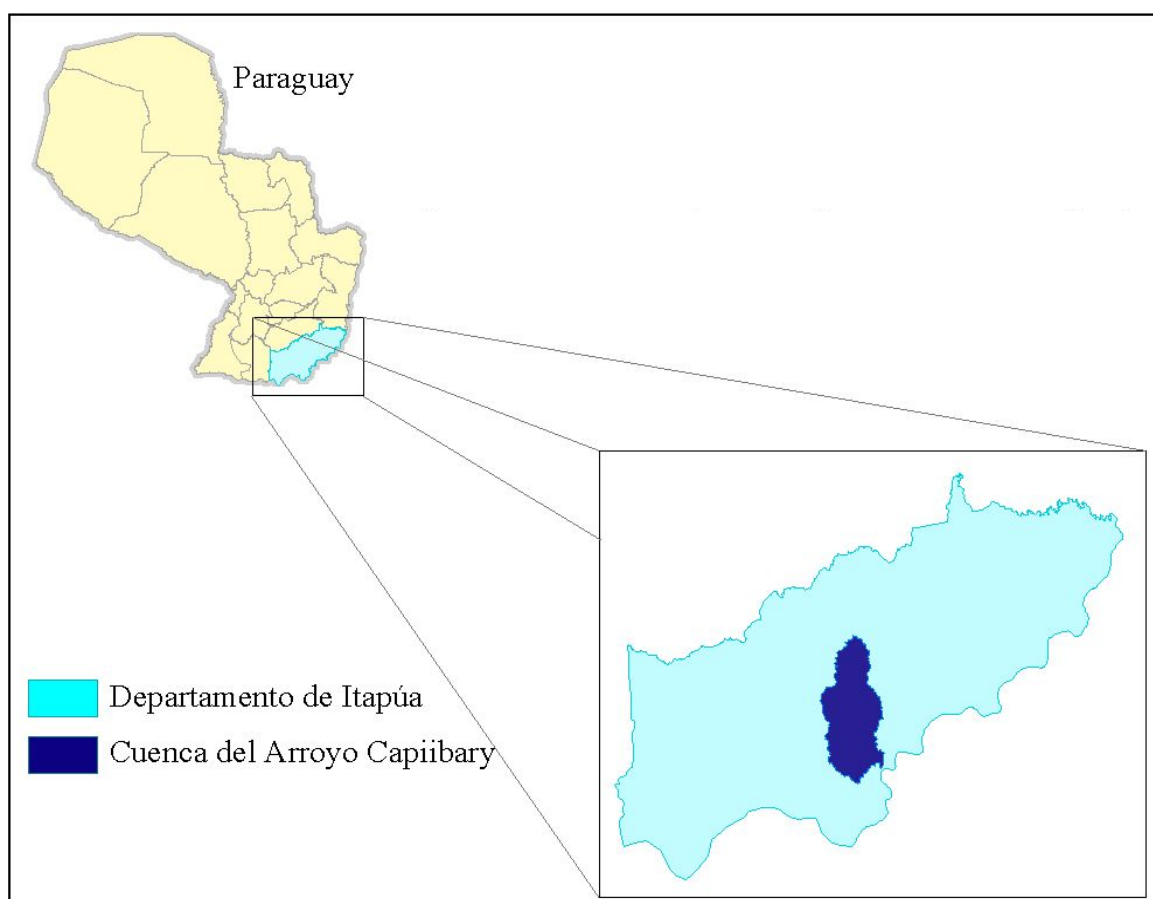


Figura 2. Ubicación de la cuenca del Arroyo Capiibary en el Paraguay.



La cuenca, que abarca una superficie de 96.854 ha, fue delimitada con base en los mapas digitales de red hidrográfica y de curvas de nivel utilizando el programa *ArcView* 3.3 y las superficies fueron calculadas a través de extensiones del mismo programa. En el Cuadro 2 se observa la superficie total de cada distrito y la superficie de cada distrito que forma parte de la cuenca.

*Cuadro 2. Superficie total de cada distrito y superficie asentada sobre la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.*

Distrito	Superficie total del distrito (ha)	% de la superficie asentada sobre la cuenca	Superficie asentada sobre la cuenca (ha)	Superficie asentada sobre la cuenca (%)
Alto Vera	90.000	8	7.380	7,6
Pirapó	84.100	5	4.591	4,7
Obligado	41.355	78	32.376	33,4
Bella Vista	29.800	7	2.116	2,2
Hohenau	19.812	68	13.506	13,9
Jesús	14.400	88	12.662	13,1
La Paz	23.900	20	4.775	4,9
Trinidad	17.598	96	16.834	17,4
Capitán Miranda	21.900	11	2.383	2,5
Nueva Alborada	23.200	1	231	0,2
Superficie total de la cuenca	-	-	96.854	100

La cuenca del Ao Capiibary se encuentra hacia el borde occidental del gran Sistema Acuífero Guaraní. El Ao Capiibary nace en la Cordillera de San Rafael y desemboca en el Río Paraná, es decir, la cuenca forma parte de la cuenca del Río Paraná que a su vez pertenece a la gran cuenca del Río de la Plata.

La cuenca se encuentra ubicada en la zona con mayores precipitaciones pluviales del país, llegando a superar los 1.900 mm anuales. Dentro de la cuenca se localizan tanto áreas de recarga como de descarga del acuífero. El área de recarga está determinada por la arenisca principalmente y el de descarga por los campos bajos inundables formados en la desembocadura del Ao Capiibary en el Río Paraná.

La cuenca se ubica dentro del el Bosque Atlántico del Alto Paraná (BAAPA), este bosque se extiende en casi todos los departamentos de la Región Oriental del Paraguay. Este bosque además abarca parte de Brasil y Argentina.

A pesar de que Paraguay presenta una elevada tasa de deforestación, aún conserva un área importante de bosques densos y varias zonas de bosques pequeños, que constituyen un lugar de vida para especies animales y plantas. La supervivencia del BAAPA tiene gran importancia no solamente a nivel local, sino mundial, por conservar la calidad del aire, de los suelos, del agua y una fuente invaluable de material genético, así como la calidad de vida de dos millones de personas que lo habitan. Es especialmente importante para los suelos, manteniéndolos ricos, fértiles y protegidos de la erosión. De igual manera es muy beneficioso para la calidad y cantidad del agua potable, el agua de riego y el agua que necesitan nuestras grandes represas Itaipú y Yacyretá, aumentando su vida útil. También es fundamental para la conservación del Acuífero Guaraní.

### 3.2 Metodología general

El trabajo se llevó a cabo en cuatro etapas como se ilustra en la Figura 3. La primera etapa consistió básicamente en la recolección de información de fuentes secundarias, referente al marco legal e institucional que incide en el área, estudios hidrogeológicos hechos en la zona y datos de censo y estadística a nivel nacional, departamental y distrital.

Las dos siguientes etapas consistieron en la obtención de información de fuentes primarias. En la segunda etapa se realizaron visitas y entrevistas a instituciones, así como encuestas a productores de los distintos distritos asentados sobre la cuenca. La tercera etapa consistió en la elaboración y asistencia a talleres donde participaron pobladores de toda el área de la cuenca.

Luego de contrastar y cotejar la información de las diferentes fuentes, obtenida en las tres etapas (triangulación), se efectuó la cuarta y última etapa donde se realizó un análisis de fortalezas y debilidades del marco legal e institucional, un análisis de las actividades antrópicas que se realizan en la cuenca, un análisis de los problemas relacionados al manejo del recurso hídrico y las posibles soluciones, y finalmente un análisis de vulnerabilidad de contaminación del acuífero y determinación de áreas críticas en la cuenca. Una vez obtenidos todos los resultados de los análisis, se procedió a la elaboración de las conclusiones y las recomendaciones finales del trabajo.

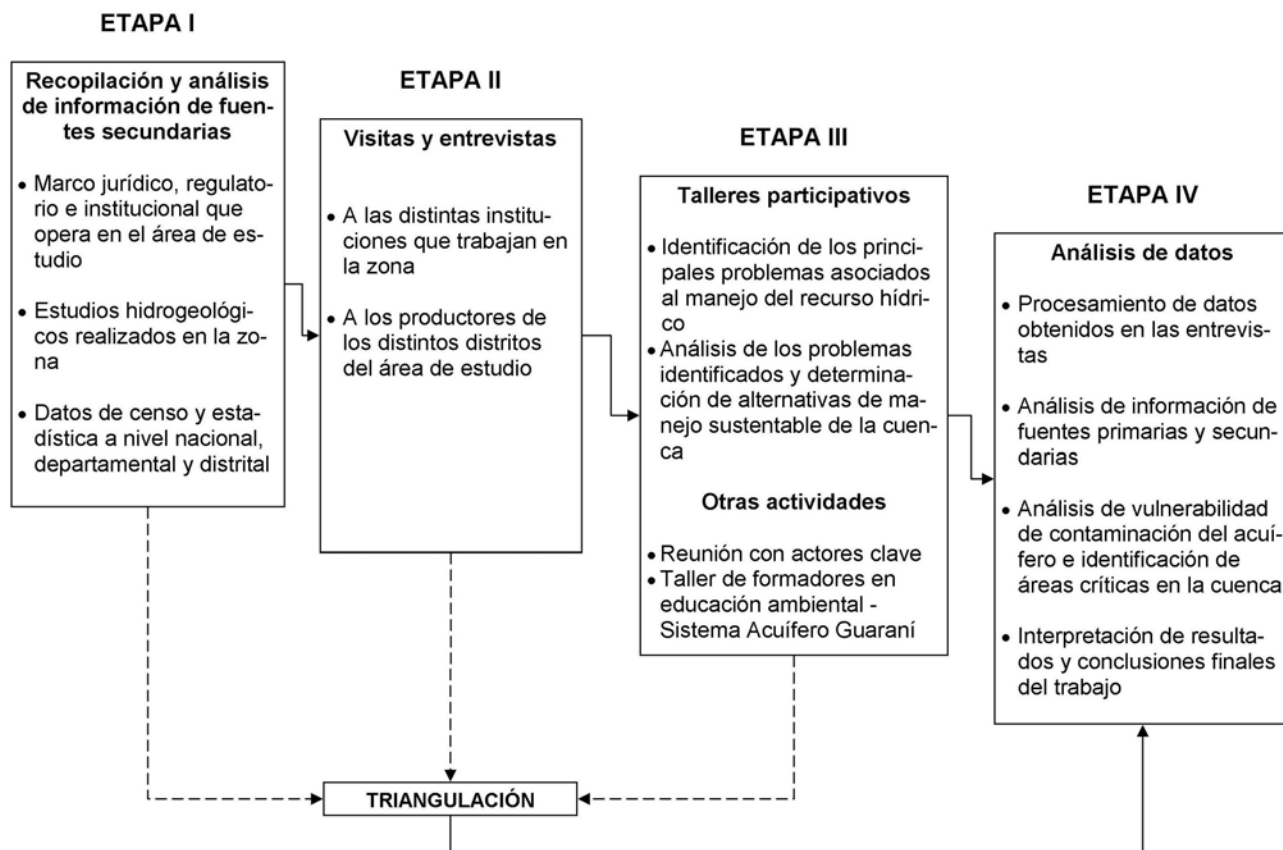


Figura 3. Esquema metodológico general utilizado para la realización del trabajo.

### 3.3 Metodología para el análisis del marco legal e institucional

El primer objetivo específico se logró mediante una revisión de literatura e investigación de las leyes, reglamentos, convenios, tratados, ordenanzas y otros trabajos relacionados a la utilización y conservación de los recursos hídricos (información de fuentes secundarias) y mediante visitas y entrevistas a distintas instituciones, tanto del sector público como del sector privado (información de fuentes primarias).

#### *Instituciones del sector público*

- La Dirección de Defensa Vegetal (DDV) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).
- La Dirección de Extensión Agropecuaria (DEAG) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).
- La Secretaría del Ambiente (SEAM).
- Las Municipalidades de Obligado, Hohenau, Jesús y Trinidad.
- El Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA).

#### *Instituciones del sector privado*

- Juntas de Saneamiento (JS) que operan en la zona.
- La Cooperativa Colonias Unidas.
- La Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción (sede Hohenau).
- Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF) con sede en Asunción.

La información primaria y secundaria recopilada se trianguló con la información obtenida de las encuestas realizadas a los productores (donde fueron incorporadas preguntas para este análisis) y con los resultados de los talleres. Posteriormente, una vez triangulada la información se realizó un análisis de las fortalezas y debilidades que se detectaron dentro de este marco.

### **3.4 Metodología para la identificación de las principales actividades antrópicas que se desarrollan en la cuenca del Ao Capiibary**

Para alcanzar el segundo objetivo específico se efectuaron visitas a los pobladores de los distintos distritos ubicados en el área de estudio. Se utilizó la técnica del “Diálogo semi-estructurado” (Geilfus 1997) que tiene como objetivo recolectar información mediante diálogos. Con esta técnica se buscó evitar algunos de los efectos negativos de los cuestionarios formales. La diferencia entre un diálogo y una entrevista, es que se busca un intercambio. Esta información fue complementada con los resultados de los talleres realizados posteriormente.

Para la realización de las encuestas primeramente se estableció una guía de entrevista (Anexo 1) donde se encontraron los puntos fundamentales necesarios para el cumplimiento de los objetivos el trabajo:

- Datos generales y ubicación de la finca.
- Tipo de asistencia técnica y organización a la que pertenece el productor.
- Actividades de producción.
- Uso de la tierra.
- Manejo del recurso suelo.
- Manejo del recurso agua.
- Manejo de residuos.
- Opiniones personales del productor.

Posteriormente 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 realizado en el año 2002 por la Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos). Sobre cada estrato se realizó un muestreo aleatorio simple de viviendas.

La cantidad de encuestas realizadas por distrito y por localidad se puede observar en el Cuadro 3. En cada finca visitada para la realización de la encuesta se tomaron las coordenadas geográficas del lugar a través de un GPS (*Global Position System*) a fin de tener la ubicación geográfica exacta del recorrido realizado en el campo (Figura 4).

*Cuadro 3. Cantidad y distribución de las viviendas encuestadas en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.*

Distrito	Cantidad de viviendas encuestadas por distrito	Localidad	Cantidad de viviendas encuestadas por localidad
Alto Verá	7	Caraguata	3
		Caronay	4
Pirapó	2	Campo Guaraní	2
Obligado	40	Fisco (Obligado km 42)	3
		Palmito	3
		Obligado km 28	4
		Arribada Pyta-i (Cantera)	3
		Morena-i	7
		Lapachal	13
		Obligado km 17	6
		Obligado km 10	1
Hohenau	21	Hohenau 5	7
		Hohenau 4	4
		Campo Ángel	2
		Hohenau 3	2
		Hohenau 2	2
		San José	4
Trinidad	23	San Antonio	2
		Picada Boca	6
		San Pedro	3
		Villa Santa María	4
		Paso Gumbre	8
Jesús	23	Caquarené	2
		Carumbey	3
		Caaguazu	3
		San Roque	3
		Cambay	4
		Colonia Guaraní	8
Capitán Miranda	3	Federico Chávez	3
La Paz	1	Santa Rosa	1
TOTAL	120		120

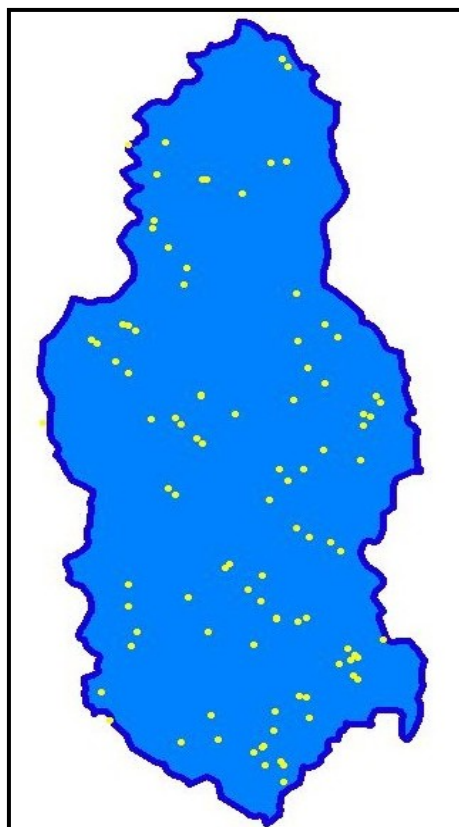


Figura 4. *Distribución geográfica de las fincas visitadas para la realización de las encuestas en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.*

Para el recorrido de campo se contó con el valioso apoyo de los agentes de la Dirección de Extensión Agropecuaria (DEAG) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG); estos agentes son los encargados de dar asistencia técnica a los productores de los comités que se encuentran ubicados en toda la zona de estudio. Los agentes están encargados de distintas localidades dentro de cada distrito, por lo tanto, son los que mejor conocen las distintas zonas y a sus pobladores. La mayoría de los recorridos para la realización de las encuestas se desarrollaron sin mayores dificultades gracias a este apoyo. Para la interpretación de los datos obtenidos en las entrevistas se utilizó el programa *Infostat*.



### **3.5 Metodología para la determinación de los principales problemas asociados al manejo del recurso hídrico y de las alternativas de manejo sustentable de la cuenca de manera participativa**

Para el cumplimiento del tercer objetivo específico se organizaron tres talleres participativos con el apoyo de instituciones tanto del sector público como privado. Además se incluyeron dos actividades organizadas por otras instituciones donde se trató la misma problemática de interés para la investigación. También en las encuestas realizadas se incorporaron preguntas claves para complementar con los resultados de estos talleres.

#### ***3.5.1 Talleres participativos***

Se realizaron tres talleres teniendo como base el enfoque participativo en la identificación de los principales problemas asociados al manejo del recurso hídrico y en la elaboración de las alternativas sustentables en los procesos de producción. Las listas de todos los participantes de los talleres se encuentran en el Anexo 2. Los talleres también apuntaron a impartir educación ambiental concientizando a la población sobre la posibilidad de conservar o contaminar el acuífero con las actividades que realizan por encontrarse ubicados en una zona de recarga directa.

El primer taller participativo se realizó el día 9 de junio del 2005 en el domicilio de la Familia Izaza en el Distrito de Obligado, Localidad de San Roque, con un total de 19 personas. El encuentro se organizó con el apoyo de la Secretaría de RRNN de la Municipalidad de Obligado con los miembros de un Comité de Agricultores llamado "Ñepuarekavo" y un Comité de Señoras llamado "Mujeres Unidas". El segundo taller participativo se llevó a cabo el día 10 de junio del 2005 en la Escuela Agrícola "San Benito" en el Distrito de Obligado, Localidad de Pastoreo, con un total de 45 alumnos del último curso del Bachillerato Técnico Agrícola. El tercer taller participativo se realizó el 24 de junio del 2005 en la casa de la Familia Andino en el Distrito de Jesús, Localidad de Carumbey, con un total de 17 mujeres. El encuentro contó con el apoyo de la DEAG del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Los talleres fueron divididos en cuatro partes:

Primera parte: apertura del taller, se hizo la presentación de la tesista, una breve descripción del trabajo de tesis, la definición de los objetivos del taller y la presentación de cada uno de los participantes.

Segunda parte: identificación de los principales problemas asociados al manejo del recurso hídrico. Para la identificación de problemas se utilizaron tres técnicas (Geilfus 1997):

Técnica 1: lluvia de ideas (problemas)

El objetivo de este ejercicio fue obtener información pertinente, en forma rápida, trabajando en con la gente directamente involucrada en la problemática estudiada. A diferencia de las encuestas, los temas fueron más abiertos y se buscó recolectar todas las ideas y percepciones de la gente.

Técnica 2: análisis organizacional/institucional (diagrama de Venn)

El objetivo de este ejercicio fue obtener información sobre las organizaciones y grupos activos en la comunidad, como sus miembros los visualizan y entender las interacciones que tienen estas organizaciones entre sí. Al final se obtuvieron diagramas de las relaciones interinstitucionales en las comunidades (Anexo 3).

Técnica 3: matriz de análisis de conflictos

El objetivo de este ejercicio fue determinar las principales ideas de conflictos que ocurren en la comunidad, este análisis fue muy importante para el trabajo porque el agua es un recurso de uso común.

Tercera parte: análisis de los problemas identificados y determinación de alternativas de manejo sustentable de la cuenca. Se utilizaron dos técnicas (Geilfus 1997):

Técnica 1: matriz de priorización de problemas

El objetivo del ejercicio fue establecer un diagrama con los principales problemas enfrentados por la comunidad y ordenarlos por orden de prioridad.

Técnica 2: lluvia de ideas (soluciones)

Una vez identificados los principales problemas por orden de prioridad se procedió al análisis de las posibles soluciones.

Cuarta parte: cierre del taller. En la última parte del taller se enumeraron las principales conclusiones obtenidas en cada encuentro, resaltando la importancia del manejo sostenible de la cuenca del Ao Capiibary para la conservación del Acuífero Guaraní, por encontrarse ubicada en una zona de recarga directa.

Las conclusiones de los talleres fueron distribuidas a las instituciones que colaboraron con la organización de los encuentros: Dirección de Extensión Agrícola del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Secretaría del Medio Ambiente de la Municipalidad de Obligado y la Escuela Agrícola San Benito.

### ***3.5.2 Actividades organizadas por otras instituciones***

Además de los tres talleres participativos, también se incluyeron dos actividades más a fin de ampliar y validar la información recaudada.

La primera actividad consistió en la asistencia a una reunión realizada el 13 de abril del 2005 con actores claves de la zona para la formación un Comité de Apoyo del Proyecto Sistema Acuífero Guaraní que maneja la Secretaría del Ambiente (SEAM). Representantes de la SEAM y el encargado del proyecto del lado uruguayo presentaron los objetivos del proyecto, se contó con la presencia de representantes de todos los distritos involucrados en el área del proyecto piloto, tanto del sector público como del privado.

La segunda actividad fue el "Taller de formadores en Educación Ambiental – Sistema Acuífero Guaraní" realizado el 25 de junio del 2005 en la Fundación Universitaria Ciencias Agrarias Itapúa (FUCAI) y dictado por el Centro de Tecnología Apropriada de la Universidad Católica. El taller fue dirigido a autoridades comunales, docentes, estudiantes secundarios y universitarios, y personas interesadas en general. Además de presentar información acerca del acuífero, se formaron grupos para discutir la problemática de la contaminación del recurso hídrico y las posibles soluciones.

## 3.6 Metodología para el análisis de vulnerabilidad de contaminación del acuífero e identificación de áreas críticas en la cuenca

### 3.6.1 Vulnerabilidad de contaminación del acuífero

Para cumplir el cuarto objetivo específico se aplicó el modelo DRASTIC. Primeramente se recolectó información de trabajos de hidrogeología realizados en la zona de estudio y se realizó una revisión de varios trabajos relacionados a la vulnerabilidad de contaminación de los acuíferos realizados en distintas partes del mundo, específicamente trabajos donde se utilizó el índice DRASTIC para este propósito.

Posteriormente se realizó el trabajo de campo, se hizo el reconocimiento del área y se recolectó información de 36 pozos ubicados en la zona de estudio. 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 como la Misión Chica (Bella Vista), el Frigorífico Upisa (La Paz), la Cooperativa Colonias Unidas (Obligado) y la empresa perforadora Geobras S.R.L. 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 fueron realizados a través del programa *ArcView 3.3* (ESRI, 2000) usando varias extensiones de este programa para el procesamiento de los datos.

Los parámetros hidrogeológicos que permiten obtener el índice DRASTIC son:

- 1) D = *Depth to water* (profundidad hasta el nivel freático)
- 2) R = *Recharge* (recarga neta)
- 3) A = *Aquifer media* (tipo de acuífero)
- 4) S = *Soil media* (tipo de suelo)
- 5) T = *Topography* (topografía, pendiente)
- 6) I = *Impact of the vadose zone media* (impacto del tipo de zona vadosa)
- 7) C = *Conductivity of the aquifer* (conductividad hidráulica)

A continuación se describen los pasos seguidos para obtener los siete mapas para la aplicación del índice DRASTIC:

1) Profundidad hasta el nivel freático ( $D = Depth$ )

Para determinar la profundidad del agua se utilizaron los niveles estáticos de los pozos. Se realizaron interpolaciones mediante tres métodos: IDW (*Inverse Distance Weighting*), SPLINE y KRIGING, se escogió el método IDW por ser el que más se ajustaba a la distribución de los datos disponibles.

Posteriormente se realizó la reclasificación de la profundidad del agua con los índices DRASTIC como puede verse en el Cuadro 4.

*Cuadro 4. Índices DRASTIC para la profundidad del agua.*

Profundidad (m)	Índice DRASTIC
0 – 1,5	10
1,5 – 4,6	9
4,6 – 9,1	7
9,1 – 15,2	5
15,2 – 22,9	3
22,9 – 30,5	2
Mayor a 30,5	1

La distribución de los pozos y la interpolación realizada luego de la reclasificación de la profundidad con los índices DRASTIC pueden observarse en el Anexo 4.

2) Recarga ( $R = Recharge$ )

La recarga natural del acuífero ocurre por medio de la infiltración directa de las aguas de las precipitaciones en las áreas de afloramientos de las rocas, y por la infiltración del agua en el suelo que sobreyace al reservorio de agua subterránea. Hidrogeológicamente se puede decir que la zona de afloramiento de areniscas constituye un área de recarga directa al acuífero, mientras que la zona con cobertura de basaltos proporciona una recarga indirecta a través de las fracturas del basalto. Es importante resaltar que la roca basáltica presenta numerosas fracturas verticales y horizontales y un suelo muy permeable sobre ellas, por lo tanto representan vías de recarga rápida del acuífero localizado en las estructuras de la Formación Alto Paraná, y además sirve de

comunicación y contacto con las aguas más profundas de las areniscas subyacentes de la Formación Misiones.

Para estimar la recarga del acuífero en las zonas de la cuenca que derivan de la Formación Alto Paraná, se tomaron como referencia las consideraciones de Santa Cruz y Silva (2002) del Programa Piloto Concordia-Salto, presentadas en una investigación realizada por el Proyecto Acuífero Guaraní sobre estratigrafía e hidrogeología, en esta investigación se asumió que la recarga natural del acuífero, en territorio uruguayo, es igual al 3% de la precipitación anual, dejando constancia de que el valor de la recarga presenta un alto grado de incertidumbre propio de la metodología de estimación. Pero ante la falta de datos para estimar este parámetro, se utilizó la misma estimación por tratarse de un área hidrogeológica similar que forma parte de la Formación Alto Paraná del mismo Sistema Acuífero Guaraní analizado en este trabajo.

En el estudio experimental realizado por Wendland *et al.* (2002) en la cuenca de Ribeirao de Lobo (Brasil), que presenta afloramiento del Acuífero Guaraní en gran parte, se utilizó un lisímetro y se verificó que la tasa de infiltración directa en la superficie corresponde al 55,6% de la precipitación anual, según estudios de comportamiento del agua en el suelo, la recarga en acuíferos subterráneos representa el 90% del total infiltrado. Pero de esta estimación resultan valores de recarga muy elevados, comparando con cálculos preliminares del Proyecto SAG-PY que se está llevando a cabo en una zona de la Región Oriental del Paraguay que incluye a la cuenca del Ao Capiibary, estos datos preliminares establecen valores inferiores de recarga que también se aproximan a los datos obtenidos en la investigación realizada por Külls (2003) que establece una recarga de 136 a 150 mm/año para zonas que derivan de la Formación Misiones en el área piloto Ribeirao Preto (Brasil). Por lo tanto, estos valores son los utilizados en esta investigación.

En los campos bajos inundables formados al sur de la desembocadura del Ao Capiibary en el Río Paraná, también se asumieron estos valores de recarga por tratarse de zonas de litología arenosa.

La precipitación promedio anual se calculó con datos de la Dirección de Meteorología e Hidrología de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC). Se usaron datos de precipitación promedio mensual de 20 años (1985-2005), medidos en cinco estaciones meteorológicas distribuidas en la zona de estudio, para los cálculos se eliminaron los años donde la información estaba incompleta

y se hallaron los promedios anuales (Cuadro 5). Una vez obtenida la precipitación promedio anual para cada estación, se realizó una interpolación con el método IDW (Anexo 5).

*Cuadro 5. Datos de la precipitación promedio anual (P) y ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas para obtener la precipitación en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.*

Estación meteorológica	Latitud (Sur)	Longitud (Oeste)	Altitud (msnm)	P (mm)
Caazapá	26°11'	56°22'	140	1.673,9
San Juan Bautista Misiones	26°40'	57°09'	126	1.781
Capitán Meza	26°56'	55°12'	248	1.633,5
Capitán Miranda	27°17'	55°50'	223	1.937,9
Encarnación	27°20'	55°50'	91	1.848,6

En síntesis, en las zonas de arena formadas al sur de la desembocadura del Ao Capiibary y en las zonas donde los suelos derivan de la arenisca (Formación Misiones) se asumió una recarga de 136 a 150 mm/año. Y en las zonas donde los suelos derivan del basalto (Formación Alto Paraná) se asumió que la recarga del acuífero es el 3% de la precipitación anual. La reclasificación según los índices DRASTIC puede observarse en el Cuadro 6 y el mapa resultante en el Anexo 6.

*Cuadro 6. Índices DRASTIC para la recarga neta del acuífero.*

Recarga (mm)	Índice DRASTIC
50 - 103	3
103 - 178	6

### 3) Tipo de acuífero (A = *Aquifer media*)

Las unidades geológicas, su litología y la superficie que cada una ocupa dentro de la cuenca del Ao Capiibary se pueden observar en el Cuadro 7. Esta información procede del Mapa Geológico del Paraguay (1986).

*Cuadro 7. Unidades geológicas que dieron origen a los diferentes suelos y la superficie ocupada por cada una dentro de la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.*

Época	Unidad geológica Grupo formación	Litología	Ambiente	Superficie (ha)	Superficie (%)
Cuaternario	-	Sedimentos (arena)	Aluvial	1.684	1,74
Cretácico	Alto Paraná	Basalto	Volcánico	52.269	53,96
Jurásico Triásico	Misiones	Arenisca	Eólico Fluvial	42.907	44,30
Superficie total de la cuenca	-	-	-	96.860	100

En base a la litología del mapa geológico se hizo la reclasificación según el índice DRASTIC (Cuadro 8), y el mapa resultante puede observarse en el Anexo 7.

*Cuadro 8. Índices DRASTIC para el tipo de acuífero.*

Tipo de acuífero	Índice DRASTIC
Arenisca	6
Arena	8
Basalto	9

#### 4) Tipo de suelo (S = *Soil media*)

El tipo de suelo se reclasificó según los índices DRASTIC (Cuadro 9) utilizando el mapa de taxonomía de los suelos USDA y la textura que corresponde a cada subgrupo.

*Cuadro 9. Índices DRASTIC para el tipo de suelo.*

Orden	Gran grupo	Subgrupo	Textura	Índice DRASTIC
Alfisol	Paleudalf	Arenic Paleudalf	Arenosa	9
Ultisol	Paleaquult	Typic Paleaquult	Franca	4
Ultisol	Paleudult	Rhodic Paleudult	Arcillosa	3
Ultisol	Paleudult	Typic Paleudult	Franca	4
Oxisol	Haplaquox	Typic Haplaquox	Franca	4
Oxisol	Eutrudox	Kandiudalfic Eutrudox	Arcillosa	3
Oxisol	Kandiudox	Typic Kandiudox	Arcillosa	3
Entisol	Udorthent	Lithic Udorthent (derivado de areniscas)	Franca	4
		Lithic Udorthent (derivado del basalto)	Arcillosa	3

El mapa resultante con los tipos de suelo presentes en la cuenca del Ao Capiibary luego de la reclasificación con los índices DRASTIC puede observarse en el Anexo 8.

#### 5) Topografía (T = *Topography*)

Se calculó la pendiente (en porcentaje) a partir de un modelo de elevación digital, luego se realizó la reclasificación según los índices DRASTIC como se muestra en el Cuadro 10.

*Cuadro 10. Índices DRASTIC para la pendiente.*

Pendiente (%)	Índice DRASTIC
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	6
12 - 18	3
Mayor a 18	1



Los rangos de clasificación de los índices DRASTIC para la pendiente en el área de la cuenca pueden observarse en el Anexo 9.

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

Para obtener este parámetro se utilizaron los perfiles litológicos de los pozos, se analizó cada tipo de medio existente entre la superficie y el nivel estático (NE) del agua, se estableció un promedio ponderado según el tipo de material existente en cada capa y su respectivo índice DRASTIC, estos cálculos pueden observarse en el Anexo 10. Los resultados de la reclasificación según los índices DRASTIC y la ubicación (distrito y coordenadas UTM) para cada pozo se detallan en el Cuadro 11.

*Cuadro 11. Ubicación (distrito y coordenadas UTM) y nivel estático (NE) de los pozos utilizados para obtener el impacto de la zona vadosa y su respectiva clasificación según los índices DRASTIC.*

Distrito	X	Y	NE (m)	Indice DRASTIC
Hohenau	633779	7003373	3,80	3
Hohenau	634943	7004755	30	
Obligado	635200	7005597	2,80	
Obligado	635856	7005184	22	4
Bella Vista	651301	7006378	30	
Cap. Miranda	617632	6987257	25	5
Obligado	635482	7008464	26,50	
Trinidad	627813	6998506	35	6
La Paz	605462	7008898	10	
Hohenau	632544	7001808	15	
Alto Verá	616036	7044037	10	
Trinidad	628871	6991319	75,50	
Bella Vista	640651	7006813	7	
Bella Vista	639938	7009016	9	7
Cap. Miranda	618851	6989244	24,50	
Trinidad	628221	6998028	18	
La Paz	610151	7014315	5,05	
Bella Vista	637219	7022217	28	
Obligado	635425	7006430	10	8
Obligado	634867	7006014	51	
Hohenau	634102	7004601	69,30	
Hohenau	632195	7002841	29	
Obligado	635474	7005687	59	
Jesús	624478	7006221	65	9
Alto Verá	622302	7040321	51,22	
Obligado	627407	7015688	6	
Obligado	635439	7006670	98	
Alto Verá	623700	7046600	58	
Bella Vista	641408	7008282	0	10
La Paz	610820	7013649	0	

En dos pozos con NE iguales a cero se aplicó el mayor índice DRASTIC (igual a 10) por considerarse de mayor vulnerabilidad a la contaminación puesto que no existe ningún tipo de protección en la zona vadosa. Una vez obtenidos los valores reclasificados según los índices DRASTIC se realizó una interpolación por medio del método de polígonos de Thiessen, los resultados pueden observarse en el Anexo 11.

7) Conductividad hidráulica ( $C = \text{Conductivity of the aquifer}$ )

Según datos basados en pruebas de bombeo realizadas en el Departamento de Caaguazú (para zonas de areniscas), y según estimaciones hechas a partir de otros trabajos realizados en la zona (para zonas de arena y basalto), los cálculos preliminares del Proyecto SAG-PY estiman valores de conductividad hidráulica del acuífero que pueden observarse en el Cuadro 12 con sus respectivas reclasificaciones según los índices DRASTIC.

*Cuadro 12. Índices DRASTIC para conductividad hidráulica.*

Material de la zona	Conductividad hidráulica (m/día)	Índice DRASTIC
Basalto	0,1	1
Arenisca	5	2
Arena	6	2

Fuente: Vassolo, S. 2005. Datos preliminares del proyecto SAG-PY (comunicación personal). Asunción, Paraguay, Secretaría del Ambiente.

El mapa resultante puede observarse en el Anexo 12.

Una vez terminados los siete mapas que exige el modelo DRASTIC, luego de que a cada uno de los siete parámetros considerados se le asignó el índice DRASTIC ( $R = \text{rating}$ ) en función a diferentes rangos establecidos; a cada parámetro se le aplicó el peso de ponderación pesticide ( $W = \text{weight}$ ), que establece valores entre uno y cinco cuantificando la importancia relativa entre ellos (Cuadro 13). Este índice puede modificarse en función del contaminante, según sea pesticide o no pesticide. Se asumió el índice pesticide es este trabajo porque las actividades de producción realizadas en la cuenca del Ao Capiibary incluyen grandes áreas de agricultura mecanizada que incorporan el uso de agroquímicos.

Cuadro 13. Peso asignado a los distintos parámetros establecidos por el modelo DRASTIC.

Parámetro	Peso	
	Pesticida	No pesticida
1) Profundidad hasta el nivel freático (D = <i>Depth to water</i> )	5	5
2) Recarga neta (R = <i>Recharge</i> )	4	4
3) Tipo de acuífero (A = <i>Aquífer media</i> )	3	3
4) Tipo de suelo (S = <i>Soil media</i> )	5	2
5) Topografía (T = <i>Topography</i> )	3	1
6) Impacto del tipo de zona vadosa (I = <i>Impact of the vadose zone media</i> )	4	5
7) Conductividad hidráulica (C = <i>Conductivity of the aquifer</i> )	2	3

Por último se halló el índice de vulnerabilidad por medio de la siguiente ecuación:

$$D_{RDW} + R_{RW} + A_{RAW} + S_{RSW} + T_{RTW} + I_{RIW} + C_{RCW} = \text{Índice de vulnerabilidad}$$

Donde los subíndices R (*rating*) y W (*weight*) son el índice DRASTIC y el peso de ponderación respectivamente. Se obtuvo la vulnerabilidad relativa según el rango de clasificación del índice DRASTIC pesticida como se indica en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Vulnerabilidad relativa y rango de clasificación del índice DRASTIC pesticida.

Vulnerabilidad relativa	Índice DRASTIC
Muy baja	26 - 73
Baja	73 - 120
Media	120 - 167
Alta	167 - 214
Muy alta	214 - 260

### 3.6.2 Identificación de áreas críticas en la cuenca

A través de la aplicación del modelo DRASTIC se obtuvo el mapa de vulnerabilidad de contaminación del acuífero, que es una propiedad intrínseca que determina su susceptibilidad a ser afectado adversamente por una carga contaminante.

El riesgo de contaminación de las aguas subterráneas está formado por la interacción de dos partes:

- La que depende de las propiedades naturales intrínsecas del acuífero y no cambia perceptiblemente con el tiempo.
- La que depende de las actividades antrópicas realizadas en la superficie y puede cambiar con el tiempo.

La interacción de estas dos partes fueron analizadas para la determinación de las áreas críticas de contaminación de las aguas subterráneas en la cuenca del Ao Capiibary. Una vez obtenido el mapa de vulnerabilidad de contaminación del acuífero, se elaboró un mapa de áreas críticas de la cuenca del Ao Cappibary con base en el mapa de uso actual de la tierra. 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 el valor más bajo (uno) el nivel que representa el menor riesgo a la contaminación y el valor más alto (cinco) el nivel que representa el mayor riesgo (Cuadro 15 y Cuadro 16). Cabe mencionar que los resultados de la metodología DRASTIC identificaron áreas de vulnerabilidad baja y de vulnerabilidad media en el cuenca del Ao Capiibary.

*Cuadro 15. Riesgo de contaminación del acuífero según el índice de vulnerabilidad DRASTIC.*

Vulnerabilidad relativa	Riesgo de contaminación
Muy baja	1
Baja	2
Media	3
Alta	4
Muy alta	5

*Cuadro 16. Riesgo de contaminación del acuífero según el uso actual de la tierra.*

Uso actual de la tierra	Riesgo de contaminación	Valor asignado
Bosques	Muy bajo	1
Praderas	Bajo	2
Agricultura no mecanizada	Medio	3
Agricultura mecanizada	Alto	4
Zonas urbanas	Muy alto	5

Posteriormente se multiplicaron los valores resultantes luego de la calificación asignada según el riesgo de contaminación (Cuadro 17).

*Cuadro 17. Valores resultantes de riesgo de contaminación del acuífero según la vulnerabilidad relativa y el uso actual de la tierra en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.*

Uso actual Vulnerabilidad	Bosques (1)	Praderas (2)	Agricultura no mecanizada (3)	Agricultura mecanizada (4)	Áreas urbanas (5)
Baja (2)	2	4	6	8	10
Media (3)	3	6	9	12	15

Los valores obtenidos van del 2 al 15, a medida que aumenta el valor resultante, se incrementa el riesgo de contaminación del acuífero. Las áreas críticas fueron clasificadas como se indica en el Cuadro 18, estableciéndose así tres grados de clasificación dentro de la cuenca del Ao Capiibary.

*Cuadro 18. Clasificación de áreas críticas de la cuenca del Arroyo Capiibary resultante de la vulnerabilidad de contaminación del acuífero y del uso actual de la tierra.*

Valores obtenidos	Clasificación
2 – 5	Áreas no críticas
6 – 9	Áreas medianamente críticas
10 – 15	Áreas muy críticas

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis del marco legal e institucional

#### 4.1.1 Debilidades del marco legal e institucional

Los principales aspectos estudiados en el análisis de las debilidades del marco legal e institucional realizado en la cuenca del Ao Capiibary se citan en el Cuadro 19 y se analizan posteriormente.

*Cuadro 19. Debilidades del marco legal e institucional en el manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.*

Debilidades del marco legal e institucional
1) Ausencia de una institución que maneje un registro completo de todos los pozos del sector público y privado.
2) Necesidad de registros de pozos con información más completa.
3) Falta de implementación de algún tipo de control sobre la explotación de los acuíferos.
4) Desconocimiento de la legislación relacionada al ámbito ambiental.
5) Incumplimiento de las leyes por parte de la población.
6) Falta de control del cumplimiento de las leyes establecidas por parte de las autoridades.
7) Dispersión y sobreposición de leyes y funciones.
8) Marcada diferencia en la organización institucional y en la calidad de vida entre distritos.
9) Falta de recursos económicos manejados a nivel local en las instituciones gubernamentales.
10) Ausencia de sistemas de tratamiento de residuos cloacales (alcantarillado sanitario).
11) Falta de conocimiento e incentivos efectivos para producir conservando el medio ambiente.

*Ausencia de una institución que maneje un registro completo de todos los pozos del sector público y privado, y necesidad de registros con información más completa.*

Con el trabajo de recolección de datos de los pozos perforados en el área de estudio para el análisis de vulnerabilidad de contaminación del acuífero, se comprobó la necesidad de un registro completo oficial de datos de pozos pertenecientes al sector público y privado. No existe una institución que maneja un registro completo y en algunos casos se cuentan con registro de pozos pero con información incompleta. En este trabajo se contó con datos de 24 pozos provenientes del Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA), con seis pozos de las Juntas de Saneamiento (JS) de Obligado y Hohenau, y con información de dos pozos muestreados en el Proyecto SAG-PY. También se identificaron cuatro pozos de propietarios privados en el recorrido de campo durante la elaboración de las encuestas, dos pozos en la Cooperativa Colonias Unidas, uno en el Frigorífico Upisa y otro en la Misión China, en los dos últimos casos donde los propietarios no contaban con los perfiles litológicos de sus pozos, se recurrió a la empresa

Geobras S.R.L. que realizó las perforaciones. En la zona de la cuenca existe otra gran cantidad de pozos dentro del sector privado que no se encuentran registrados en ninguna institución oficial. Estos resultados revelan que es necesario ejercer un mayor control por parte de las autoridades, como permisos para la perforación de pozos y registros con información más completa.

*Falta de implementación de algún tipo de control sobre la explotación de los acuíferos.*

La regulación de la explotación de acuíferos es mejor lograda 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. A nivel general la legislación sobre las aguas subterráneas es aún escasa, menos desarrollada que la legislación sobre las aguas superficiales, que tiene ya varios años de ser tratada. Un análisis de la legislación del Paraguay sobre agua, realizado por el Instituto de Derecho y Economía Ambiental (IDEA) en el 2003, expresa la confusión sobre la titularidad de las aguas subterráneas, dentro del marco legal no hay claridad sobre la posesión y dominio de este recurso. Esta situación es más grave aún en el Paraguay puesto que posee gran cantidad de acuíferos incluyendo a uno de los más importantes del mundo como es el Acuífero Guaraní.

*Desconocimiento e incumplimiento de la legislación relacionada al ámbito ambiental por parte de la población y falta de control del cumplimiento de las leyes por parte de las autoridades.*

Durante el trabajo de campo, tanto en las entrevistas a informantes claves de las instituciones y a los productores, así como en la realización de los talleres, se encontró un elevado desconocimiento de la legislación existente en el ámbito ambiental, por ejemplo sobre el uso de agroquímicos, tanto de parte de los que deben cumplir las leyes, así como de parte de los que deben exigir que se cumplan. Para los alumnos del último curso de la Escuela Agrícola el principal problema relacionado al manejo del recurso hídrico es el incumplimiento de las leyes que en la mayoría de los casos se debe al desconocimiento, pero esta situación también se relaciona a la falta de control de la aplicación de las leyes establecidas y en este punto surge otra debilidad dentro del marco legal e institucional, que es la dispersión y sobreposición de leyes y funciones.

### *Dispersión y sobreposición de leyes y funciones.*

En la legislación general referente al recurso agua existe una excesiva dispersión, varias instituciones manejan normativas que interesan a realidades de su sector. Esta dispersión en la legislación hace más difícil la aplicación de las leyes. La legislación sobre aguas se centra en cuestiones puntuales enfocadas desde cada sector de interés. Cuando varias instituciones tienen, de una u otra forma, la misma responsabilidad, existe confusión en cuanto a las obligaciones que se deben cumplir, esta situación generalmente conlleva a una sobreposición de responsabilidades y cuando varias instituciones tienen que cumplir las mismas funciones el resultado es que nadie las cumple. Es indispensable reunir a las distintas áreas que utilizan el agua para unificar el control de este recurso.

### *Marcada diferencia en la organización institucional y en la calidad de vida entre distritos.*

Otra debilidad es la gran diferencia que existe entre los niveles de organización de los distintos distritos asentados sobre la cuenca, por ejemplo comparando los distritos de Hohenau, Obligado y Bella Vista con los distritos de Jesús, Trinidad y Alto Verá (estos seis distritos ocupan casi el 90% de la cuenca en estudio), se notó una marcada diferencia en cuanto a la organización institucional, los tres primeros forman parte de las Colonias Unidas que cuenta con una de las cooperativas más grandes y mejor administradas del país, en las áreas rurales generalmente se trabaja con asistencia técnica de primer nivel, se refleja la superior calidad de vida de los pobladores de estos distritos con niveles económicos altos, muy por encima de los niveles promedios del país. Esto también se refleja en los demás indicadores de calidad de vida, como salud, educación y vivienda. Mientras que en los otros tres distritos los centros de educación y de salud poseen infraestructuras más precarias con niveles tecnológicos inferiores por la falta de recursos.

### *Falta de recursos económicos manejados a nivel local en las instituciones gubernamentales.*

Si bien es cierto que los productores están asociados en comités y cuentan con la asistencia técnica ofrecida por la DEAG (Dirección de Extensión Agropecuaria) del MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) y que existen técnicos capacitados que llegan hasta las fincas, el principal problema manifestado fue la falta de recursos económicos manejados a nivel local. La



DEAG trabaja en todos los distritos y esta realidad se da en todas instituciones públicas, aunque más marcadamente en los distritos más pobres. En lo referente a la asistencia técnica pública se encontró que tan sólo el 6% de los encuestados en este trabajo recibe asistencia del MAG y el 1% de la Gobernación. Cabe señalar que el MAG ha firmado convenios con algunas municipalidades del área, entre ellas la de Obligado, para que un agente de la DEAG trabaje coordinadamente con la Secretaría de Agricultura y Recursos Naturales dentro de la misma oficina en la sede municipal buscando así armonizar la producción agropecuaria con la conservación del medio ambiente. Las asignaciones financieras o presupuestarias a las instituciones públicas locales deben ser consideradas para que las soluciones sean realmente descentralizadas.

Los actores locales tienen el papel principal en la implementación de acciones de conservación y producción en el manejo de la cuenca. Es necesario promover, apoyar y fortalecer un organismo de cuenca (grupo local interdisciplinario). El fortalecimiento de la capacidad local cobra más relevancia cuando los gobiernos centrales disponen de pocos recursos económicos para apoyar en todos los problemas que sufren las comunidades. Esta estrategia ha sido identificada actualmente también como una de las vías favoritas para lograr la apropiación, empoderamiento y sostenibilidad de las acciones de manejo de cuencas.

*Ausencia de sistemas de tratamiento de residuos cloacales (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 el problema del acceso al agua potable (que es la proveída por ESSAP, SENASA o aguateros privados) está en vías de solución. El mayor inconveniente está en la escasa cobertura de alcantarillado sanitario (Cuadro 20 y Cuadro 21).

*Cuadro 20. Porcentaje de la población del Paraguay con acceso al agua potable.*

Nivel país	Población con agua potable	
	Área urbana	Área rural
59,8%	78,3%	32,7%

Fuente: DGEEC, SENASA 2005.

*Cuadro 21. Porcentaje de la población del Paraguay con servicio de alcantarillado sanitario.*

Población con alcantarillado sanitario		
Nivel país	Área urbana	Área rural
11,1%	18,7%	0,2%

Fuente: DGEEC, SENASA 2005.

Tan solo el 11% de la población total del país tiene servicio de alcantarillado sanitario, esto implica que 89 de cada 100 habitantes no tienen una disposición correcta de excretas y aguas servidas. El problema es más grave en zonas rurales, donde ni siquiera el 1% tiene acceso a un sistema de tratamiento de residuos cloacales.

En el área rural, el manejo de las aguas servidas es muy precario, se utilizan las llamadas letrinas, que son pozos comunes que una vez llenos son tapados y otro pozo es cavado sin planificación de la ubicación del mismo. Las letrinas constituyen una amenaza directa a los pozos someros de donde se extrae el agua para el consumo humano y a los cursos de agua que se encuentran en la cercanía. El 47% de los encuestados en este trabajo se manejan con letrinas. El 50% utiliza los llamados pozos ciegos, que son cámaras sépticas que cuando se llenan se vacían con camiones cisternas y el contenido es esparcido en áreas agrícolas, esto también contribuye a la contaminación de las aguas tanto superficiales como subterráneas. Con estos resultados se hace urgente la necesidad de un sistema de alcantarillado sanitario, empezando como primer paso en los centros urbanos donde la población es más densa.

*Falta de conocimiento e incentivos efectivos para producir conservando el medio ambiente.*

Otro factor importante a ser tenido en cuenta es la ausencia de estímulos para una producción limpia, aunque se debe destacar que se encontró cierto grado de conciencia ambiental en muy pequeña proporción, a nivel general se puede decir que no existen conocimientos ni incentivos efectivos para producir conservando el medio 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 una activa participación tanto en el mercado nacional como en el internacional.

#### 4.1.2 Fortalezas del marco legal e institucional

Los principales aspectos estudiados en el análisis de las fortalezas del marco legal e institucional realizado en la cuenca del Ao Capiibary se citan en el Cuadro 22 y se analizan posteriormente.

*Cuadro 22. Fortalezas del marco legal e institucional en el manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.*

Fortalezas del marco legal e institucional
1) Formación de la Comisión Local de apoyo al proyecto piloto Itapúa-Paraguay. 2) Inicio del proceso de descentralización de atribuciones y funciones. 3) Ejecución del proyecto de sistema de alcantarillado sanitario en la ciudad de Hohenau. 4) Acciones relacionadas a la producción limpia impulsadas por la Cooperativa Colonias Unidas y su gran influencia en la zona. 5) Coordinación entre instituciones públicas y el sector privado para el emprendimiento conjunto de acciones que protegen el recurso hídrico. 6) Ejecución del proyecto de recuperación del Ao Pirapó como experiencia aprendida en el manejo de una cuenca ubicada en la misma zona. 7) Participación comunitaria y de los gobiernos locales en la gestión del recurso hídrico en el funcionamiento de las Juntas de Saneamiento. 8) Autofinanciamiento y sostenibilidad financiera en el funcionamiento de las Juntas de Saneamiento.

#### *Formación de la Comisión Local de apoyo al proyecto piloto Itapúa-Paraguay.*

Dentro de la Cuenca del Ao Capiibary existen varias instituciones tanto del sector público como del sector privado que están llevando a cabo importantes proyectos y acciones para la protección del recurso hídrico. Entre las acciones más importantes se puede mencionar la formación de una Comisión Local de Apoyo al Proyecto Acuífero Guaraní, esta comisión se formó el día 29 de abril del 2005 en el contexto del marco del proyecto "Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní (SAG)" que maneja la Secretaría del Ambiente (SEAM), el proyecto tiene por objetivo apoyar a Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay en la elaboración conjunta e implementación de un marco institucional coordinado para el manejo y preservación del SAG transfronterizo. El proyecto es ejecutado en dichos países, financiado por el GEF (Fondo Global para el Medio Ambiente) y el BM (Banco Mundial) y gerenciado por la OEA (Organización de Estados Americanos).

Una de las primeras acciones del proyecto ha sido la creación de áreas pilotos en los países involucrados, destinadas a desarrollar proyectos demostrativos que ayuden a evaluar mecanismos relacionados con la gestión y protección de las aguas subterráneas.

Para el Paraguay, el área piloto propuesta (Proyecto Piloto Itapúa-Paraguay) comprende los distritos de Bella Vista, Obligado, Hohenau, Jesús y Trinidad, con una superficie de aproximadamente 800 km<sup>2</sup>. Uno de los objetivos del proyecto fue la formación de la Comisión Local de Apoyo al Piloto Itapúa-Paraguay, integrada por personas nombradas por distintas instituciones públicas y privadas, para apoyar las actividades del mismo.

La formación de la Comisión Local tiene como objetivo principal el apoyo al Proyecto Piloto, desde las etapas de planificación, ejecución y evaluación de las actividades. El piloto diseñará mecanismos de protección y conservación de las aguas subterráneas mediante la gestión integrada y sostenible a corto y largo plazo en la que la población civil esté involucrada desde sus etapas iniciales.

*Inicio del proceso de descentralización de atribuciones y funciones.*

Otra fortaleza importante dentro del marco legal e institucional constituye el proceso de descentralización que se está dando en la cuenca, el 17 de diciembre del 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". Este convenio fue firmado en el marco del "Convenio marco de descentralización de atribuciones y funciones" firmado entre la SEAM y la Gobernación de Itapúa implementando las disposiciones contenidas dentro de la Ley N°156/00 que crea el Sistema Nacional del Ambiente, el Consejo Nacional del Ambiente y la SEAM, que en su Art. 13° promueve la efectiva descentralización de las atribuciones y funciones conferidas por la citada Ley a la SEAM.

A pesar de que la firma del convenio constituye un avance positivo para realización de actividades a nivel local, se debe tener en cuenta que en varias ocasiones no se cumple lo acordado, es decir, que el marco legal e institucional estén conformados es una buena señal de que existe voluntad política para el proceso de descentralización, pero se debe observar y evaluar el funcionamiento y la aplicación de los convenios firmados, y tener también en cuenta la gran responsabilidad que tiene cada uno de los municipios en aprovechar los espacios de acción que poseen y utilizarlos para el bien de cada una de sus comunidades.

*Ejecución del proyecto de sistema de alcantarillado sanitario en la ciudad de Hohenau.*

Se encuentra en ejecución el "Proyecto de Sistema de Alcantarillado Sanitario Condominal en la ciudad de Hohenau, Distrito de Hohenau", firmado por la Junta de Saneamiento (JS) de Hohenau y el Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA). Este proyecto de alcantarillado sanitario hace parte del Proyecto Rural de suministro de Agua y Saneamiento-Birf IV del BM, correspondiente al componente de "Eliminación de Aguas Residuales", que el SENASA viene realizando.

La ciudad de Hohenau está asentada sobre la Cuenca del Ao Capiibary que será el cuerpo receptor del efluente de la laguna de estabilización proyectada, el efluente tratado será lanzado al Ao Capiibary, que presenta en la época de sequía un caudal de aproximadamente 360.000 m<sup>3</sup>/h. Aguas abajo del punto de descarga de la planta de tratamiento en el arroyo, no existen áreas de esparcimiento, captación para sistemas de abastecimientos de agua potable o sistemas de riego para hortalizas ni frutales según datos del mismo documento del proyecto.

La ejecución de este proyecto, en al menos uno de los cuatro centros urbanos asentados sobre la cuenca, constituye una fortaleza teniendo en cuenta lo analizado previamente sobre la escasa cobertura de saneamiento básico a nivel nacional, entre las debilidades del marco institucional. Además del proyecto de abastecimiento de agua y alcantarillado conocido como Birf IV, actualmente el BM estudia un nuevo proyecto para financiar el sector de agua y saneamiento para el Paraguay que involucre a todas las instituciones del sector, aunque aún no se manejan cifras.

*Acciones relacionadas a la producción limpia impulsadas por la Cooperativa Colonias Unidas y su gran influencia en la zona.*

En el área de la cuenca es sumamente importante destacar la gran influencia de la Cooperativa Colonias Unidas, que es una de las más grandes del país, con su capacidad de producción y su extraordinario crecimiento ha contribuido al desarrollo económico y social de una extensa región del Paraguay. La sede central de esta cooperativa se encuentra en la ciudad de Obligado, 44% de los productores encuestados en este trabajo son socios de esta organización. La cooperativa viene realizando importantes acciones relacionadas a la producción y conservación del medio ambiente, como ejemplo se puede citar al inicio de la "Campaña de recolección de envases vacíos

de agroquímicos”, esta campaña tiene por objetivo la recolección y disposición final de los envases vacíos de productos agroquímicos, se recolectan todos los materiales (plásticos, metales, vidrios, etc.) que fueran previamente descontaminados mediante el triple lavado o el lavado con equipos de presión. La campaña se compone de dos etapas: la primera, a cargo de la cooperativa, tiene por finalidad la recolección y acopio de los envases vacíos descontaminados en lugares de concentración adecuados a tal fin, y la segunda, a cargo de la empresa recicladora, tiene por finalidad retirar y adecuar (moler o picar) esos materiales y trasladarlos a los centros de reciclado.

El 9% de los productores encuestados en este trabajo ya entregó sus envases de agroquímicos en el contexto de esta campaña que realizó la primera recolección en abril del 2005. Un total de 175 socios de la cooperativa entregaron 50.116 envases vacíos hasta dicha fecha.

*Coordinación entre instituciones públicas y el sector privado para el emprendimiento conjunto de acciones que protegen el recurso hídrico.*

Existe una coordinación entre instituciones públicas y el sector privado para el emprendimiento conjunto de acciones. Por ejemplo, la instalación de “Abastecedores Comunitarios” se dio con el apoyo de productores vecinos, las municipalidades y la Cooperativa Colonias Unidas, un abastecedor comunitario es un punto de carga de pulverizadores donde el agua llega a estos en forma controlada, normalmente por una canalización (manguera flexible), de modo que el pulverizador no necesita utilizar su bomba de agua para abastecerse en los cauces hídricos.

Se utiliza una plataforma de concreto o de otro material, que junte el exceso de agua derramada en el momento de la carga del pulverizador, canalizándolo hacia el lugar de purificación, reduciendo así la posibilidad de contaminación de cauces hídricos.

El 29% de los encuestados en este trabajo utiliza los abastecedores comunitarios como fuente de agua para uso agrícola. La instalación de puntos de abastecimiento de agua para los pulverizadores en forma controlada es una forma de impedir la contaminación de las aguas. Es importante sin embargo tener en cuenta que en épocas de intensas lluvias, con desbordes de ríos y arroyos, los filtros de estos abastecedores pueden sobresaturarse de agua y contaminar amplias áreas como denunció un productor que ocurrió en un abastecedor de la Localidad de Lapachal, en el Distrito de Obligado.

El control de la contaminación de las aguas es fundamental para mantener una buena calidad de vida. En este contexto el uso de abastecedores comunitarios es una práctica de fundamental importancia en el control de la contaminación ambiental.

*Ejecución del proyecto de recuperación del Arroyo Pirapó como experiencia aprendida en el manejo de una cuenca ubicada en la misma zona.*

Entre las organizaciones no gubernamentales presentes en la zona de estudio la WWF (Fondo Mundial para la Vida Silvestre) está ejecutando el “Proyecto piloto de recuperación de la Cuenca del Ao Pirapó”, este proyecto es considerado una fortaleza por compartir dos fuertes similitudes con este trabajo de investigación: la primera similitud es la ubicación de la Cuenca del Ao Pirapó, se encuentra dentro del Departamento de Itapúa, al lado de la Cuenca del Ao Capiibary, ambos arroyos desembocan en el Río Paraná, es decir, son dos cuencas que forman parte de algunos distritos en común y están ubicadas en la misma zona geográfica. La segunda similitud es el enfoque de “cuenca hidrográfica” con que este proyecto fue elaborado, también se considera importante este hecho puesto que la mayoría de los proyectos se enmarcan dentro de los límites políticos o límites imaginarios hechos por el hombre.

Aprovechar experiencias aprendidas es una buena estrategia, si son experiencias positivas de otras cuencas pueden ser adaptadas a la condición particular a fin de optimizar la eficiencia en el uso de los recursos económicos y humanos, favorecer los impactos a corto plazo e involucrar a los actores en el intercambio de sus resultados. Las experiencias desfavorables pueden ayudar también a no cometer los mismos errores, no investigar problemas ya conocidos y no desperdiciar recursos. Las facilidades de comunicación actuales son fundamentales en poder implementar esta estrategia.

*Participación comunitaria y de los gobiernos locales en la gestión del recurso hídrico en el funcionamiento de las Juntas de Saneamiento (JS).*

Entre las principales instituciones no gubernamentales que actúan en el sector se debe resaltar el funcionamiento de las JS, que tienen como objetivo colaborar con SENASA en la orientación y organización de las comunidades en relación a los problemas de saneamiento, participar en la elaboración de los programas locales de saneamiento y en su ejecución, administrar los sistemas

de agua potable y de disposición de excretas y basuras. A pesar de que en el área rural todavía es escaso el número de familias asociadas a una JS, la tendencia indica un número de comunidades con deseo de organizarse cada vez mayor. El 7% de los encuestados usa agua para consumo humano a través de JS.

El éxito que han tenido las JS en el sistema institucional encargado de provisión y administración del servicio de agua potable en gran parte del país es probado por la continuidad en el tiempo, están operando hace más de 30 años. Este éxito se debe sobre todo a la fuerte participación comunitaria.

#### *Autofinanciamiento y sostenibilidad financiera en el funcionamiento de las JS.*

Las JS son organizaciones locales que 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.

El funcionamiento de las JS es una prueba más de que una mejor gestión del recurso hídrico incorpora la participación comunitaria y de los gobiernos locales en la toma de decisiones, y de que el autofinanciamiento y la sostenibilidad financiera son importantes para el funcionamiento adecuado de una empresa.

## **4.2 Identificación de las principales actividades antrópicas que se desarrollan en la cuenca**

Datos preliminares del informe del Proyecto Piloro Itapúa-Paraguay (2005) describen que el uso de la tierra en la zona de la cuenca sigue generalmente el mismo patrón, los suelos derivados del basalto se encuentran mayoritariamente bajo siembra de agricultura mecanizada como la soja, el trigo y el maíz, y una extensión menor con agricultura perenne como yerba mate, tung y frutales. En la zona de arenisca se encuentra la agricultura del pequeño productor, es decir, menores superficies de terreno y su dedicación a una agricultura de subsistencia (mandioca, maíz, poroto y animales menores) con algunos cultivos de renta como el algodón. También se encuentran establecimientos ganaderos ocupando los suelos más pobres, con pasturas naturales y algunas cultivadas.



La población descendiente de europeos ha sido la primera en colonizar el área a principios del siglo pasado dedicándose desde entonces a la agricultura sobre suelos derivados de roca basáltica, en la zona conocida actualmente 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. Por otro lado, la población de origen paraguayo ha colonizado principalmente zonas con mayores limitaciones y donde la actividad agrícola solo permite el sustento de la familia y un muy bajo ingreso por rubros de renta. Poblaciones rurales de origen paraguayo, se asentaron en lugares donde la topografía es más severa en cuanto a pendiente y los suelos son pedregosos con afloraciones en la superficie, lo que representa una fuerte limitación para la actividad agrícola o pecuaria, como ocurre a lo largo de la costa del Río Paraná y en las colinas de areniscas.

Las principales actividades antrópicas realizadas en el área rural de la cuenca en estudio fueron clasificadas como indica el Cuadro 23. Como puede observarse en la Figura 5, el 88% de las fincas encuestadas se dedica a la agricultura, de las cuales 18% además de agricultura se dedica a la ganadería y 4% además de la agricultura se dedica a otros rubros. El 66% se dedica exclusivamente a la agricultura y 12% se dedica exclusivamente a la ganadería.

*Cuadro 23. Actividades antrópicas realizadas en el área rural de la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005.*

<b>Actividades antrópicas</b>	<b>Descripción</b>
Agricultura	Agricultura de subsistencia Agroindustria Cultivos perennes Cultivos temporales
Ganadería	Ganadería extensiva Ganadería de subsistencia
Agropecuaria-Vacunos	Agricultura y ganadería
Agropecuaria-Otros	Agricultura Apicultura Cría de cabras Cría de cerdos Piscicultura Tambo

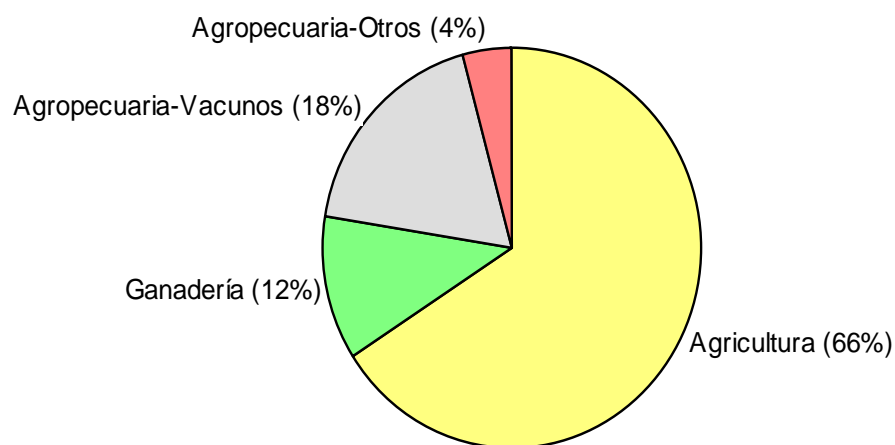


Figura 5. Actividades de producción realizadas dentro de la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005.

#### 4.2.1 Agricultura

En cuanto a cultivos temporales se destaca la soja como principal cultivo de renta y la mandioca como principal cultivo de autoconsumo. El 80% de los productores cultiva mandioca, este es uno de los principales cultivos de autoconsumo en el país; como no se lo utiliza para la venta nadie sabe exactamente la producción que obtiene.

El 60% de los productores cultiva soja como principal fuente de ingreso. La producción promedio fue de 1.359 kg/ha (periodo 2004/2005). Es importante destacar que en ese periodo la sequía fue uno de los principales problemas afrontados debido a que la falta de agua tuvo como consecuencia una reducción en los rendimientos de las cosechas. Según lo reportado por los productores, en algunos casos la sequía causó una disminución de más del 50% en los rendimientos del cultivo con respecto al año anterior.

El 81% de los sojeros maneja el cultivo bajo siembra directa, con este método de siembra la semilla es depositada directamente en el suelo sin previa preparación mecánica, donde los residuos del cultivo anterior permanecen en la superficie y las malezas son controladas mediante el uso de herbicidas y/o abonos verdes. Mantener el suelo cubierto la mayor parte del tiempo es una de las características de este sistema, ya sea con rastrojos secos o con especies vegetales en pie como los abonos verdes. Según relatos de los pobladores de la zona, la siembra directa

redujo bastante la erosión hídrica del suelo, esto se aprecia a través de la coloración de los arroyos luego de las lluvias; cuando se dejaban los suelos desnudos las lluvias arrastraban las partículas superficiales y las tierras rojas teñían los cursos de agua. La coloración roja de las aguas se redujo bastante luego de la implementación de la siembra directa que mantiene a los suelos protegidos de la erosión.

Pero también es importante destacar que este sistema de siembra no elimina la utilización de productos químicos como insecticidas, herbicidas, fungicidas y fertilizantes. La disminución de la utilización de agroquímicos en general se podría lograr con un buen sistema de manejo de la siembra directa, con rotaciones de cultivos y abonos verdes. Los abonos verdes contribuyen a lograr una agricultura sostenible, generando rastrojos que actúan como cobertura muerta, incrementando así el aporte de materia orgánica para mejorar las condiciones físicas del suelo, también favorecen el aumento de de la infiltración del agua.

El 31% de los sojeros rota el cultivo principalmente con maíz o trigo, además del sésamo, girasol o algodón. El 25% de los sojeros practica el monocultivo. El 17% incorpora abonos verdes en el manejo de cultivo, los abonos verdes más utilizados son la avena, el azeven y el sorgo, además del triticale, la canola y el nabo forrajero. El 19% rota el cultivo de soja con otros cultivos que generalmente son maíz o trigo y con algún abono verde que principalmente son avena o azeven. El 8% asocia el cultivo de soja con otros cultivos permanentes como la yerba mate, tung o cítricos, o con otros cultivos temporales como el algodón o el maíz. El 15% de los sojeros encuestados maneja el cultivo bajo siembra convencional que consiste en la utilización de arados y rastras para la preparación del suelo.

Es importante destacar que la soja representa el principal rubro dentro la producción agrícola del Paraguay y la tendencia indica que la superficie de este cultivo seguirá aumentando como se indica en el Cuadro 24. El Departamento de Itapúa ocupa el segundo lugar en producción de soja en el país; por las condiciones climáticas aptas para este cultivo y por el nivel tecnológico adoptado, en Itapúa se obtienen los rendimientos más elevados (Cuadro 25).

*Cuadro 24. Superficie por cultivo, síntesis histórica de la producción agrícola del Paraguay.*

Cultivos	Año agrícola-Superficie (ha)								
	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03
Algodón	332.280	306.632	110.697	202.000	166.204	194.760	297.865	169.671	186.405
Arroz	19.480	20.790	22.025	20.860	27.770	26.252	26.680	27.026	30.303
Caña de azúcar	56.000	57.000	57.815	58.000	61.173	59.450	59.580	60.244	62.255
Girasol	29.820	44.000	47.875	62.003	52.154	70.800	30.372	25.768	24.722
Maíz	330.961	324.601	384.114	355.600	356.602	331.725	406.365	369.960	442.600
Mandioca	211.406	190.847	220.006	236.696	247.946	201.792	243.075	258.164	284.383
Maní	30.258	29.423	24.083	30.300	30.988	29.330	30.254	29.059	33.410
Poroto	71.948	70.499	73.930	57.160	57.584	54.504	62.505	65.970	73.205
Soja	735.503	833.005	939.652	1.086.043	1.165.748	1.176.460	1.350.000	1.445.365	1.474.178
Tabaco	4.526	5.000	7.825	7.800	6.911	3.235	6.983	5.347	6.894
Trigo	172.497	221.415	224.046	200.700	187.900	127.680	159.342	245.410	310.931

Fuente: Síntesis Estadísticas de la Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias. MAG.

*Cuadro 25. Superficie, producción y rendimiento del cultivo de soja por departamento. Paraguay, año agrícola 2002/03.*

Departamento	Superficie (ha)	Producción (Tn)	Rendimiento (kg/ha)
Concepción	3.510	8.844	2.520
San Pedro	41.000	102.500	2.500
Guairá	4.001	10.003	2.500
Caaguazú	109.325	382.638	3.500
Caazapá	94.969	255.277	2.688
Itapúa	360.000	1.152.000	3.200
Alto Paraná	574.362	1.550.777	2.700
Amambay	30.986	77.240	2.493
Canindeyú	255.995	665.587	2.600

Fuente: Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias. MAG.

Siguiendo con los resultados del trabajo, casi el 57% de los productores cultiva maíz, tanto para autoconsumo como para la venta, la producción promedio fue de 2.950 kg/ha (periodo 2004/2005).

El 14% de los encuestados cultiva poroto para autoconsumo. Casi el 11% de los productores cultiva algodón, la producción promedio fue de 975 kg/ha (periodo 2004/2005). Existen otros cultivos que son sembrados por menor cantidad de productores como ajo, arveja, arroz, batata, girasol, habilla, maní, melón, sandía, sorgo y tabaco.

En lo relativo a cultivos perennes se encontró que casi el 30% de los productores tiene plantaciones de yerba mate, en la zona se encuentran las principales productoras y procesadoras

de yerba mate del país. El 22% de los encuestados tiene tung, este rubro se utiliza para la producción de aceites de uso industrial. Existen árboles frutales como naranja, mandarina, limón, pomelo, níspero, guayaba, aguacate, etc. en casi todas las fincas, en algunos casos obtienen ingresos temporales de la venta de estas frutas, sobre todo de cítricos.

En el Cuadro 26 se observan los cultivos que se encuentran en la zona de estudio, la cantidad de productores que los siembran y la superficie total ocupada por cada cultivo en las 120 fincas encuestadas.

*Cuadro 26. Especies cultivadas, porcentaje de los productores que las siembran y total de superficie ocupada por cada cultivo en las 120 fincas encuestadas en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005.*

Especies cultivadas	Cantidad de productores que las siembran (en %)	Total de superficie ocupada por cultivo (en ha)
Algodón	11	11
Ajo	0,8	0,5
Arveja	1,7	0,5
Arroz	0,8	0,25
Batata	5,8	2
Girasol	0,8	0,1
Habilla	2,5	1
Maíz	57	156,5
Mandioca	80	90
Maní	5,8	2
Melón	0,8	0,25
Poroto	14	7
Sandía	3,3	1
Soja	60	2.447,5
Sorgo	0,8	90
Tabaco	1,7	1
Tung	30	40
Yerba mate	22	202

#### **4.2.2 Ganadería**

La vegetación conocida como campo alto, con predominancia de especies de gramíneas, se encuentra sobre suelos derivados de roca arenisca, generalmente de poca profundidad efectiva y muy baja fertilidad y/o mucha acidez. El campo alto está asociado a islas de bosques de alturas medias. El uso de estos campos es generalmente de ganadería extensiva y en algunos casos de acopio de arena de construcción.

Como mencionamos anteriormente, el 12% de los encuestados se dedica exclusivamente a la ganadería, el 18% a la agricultura y ganadería, y el 4%, además de la agricultura, se dedica a otros rubros como la cría de cerdos y cabras.

En lo referente al ganado vacuno se encontró que el 34% de los productores tiene entre 1 y 10 cabezas para autoconsumo. El 28% tiene de 10 a 50 cabezas y el 4% tiene entre 50 y 100 cabezas para eventuales ingresos cuando es necesario y para autoconsumo. El 7% tiene entre 100 y 400 cabezas generando el principal ingreso de la finca.

En lo referente a las otras especies animales se encontró que el 29% de las fincas tiene menos de ocho caballos como medio de tracción. El 10% cuenta con menos de 15 ovejas para autoconsumo y tan sólo el 0,85% cuenta con más de 15 ovejas. El 1,7% de los encuestados tiene menos de tres cabras para autoconsumo y tan sólo el 1,7% cuenta con más de 50 cabras como fuente de ingreso. El 70% tiene menos de 20 cerdos para autoconsumo y el 9% tiene más de 20 cerdos como fuente de ingreso. En lo que se refiere a aves como gallinas, patos, pavos, gansos y guineas, el 76% tiene menos de 100 aves y el 14% tiene más de 100 aves.

En lo referente a cultivos forrajeros, se encontró que el 58% de los productores tiene praderas nativas en su finca, los pastos nativos de la zona son el jesuita y el estrellita. El 36% de lo encuestados tiene pequeñas extensiones de pasturas cultivadas de corte para alimentar al ganado, los pastos de corte más cultivados son el colonial y el pasto elefante. El 5% tiene pasturas cultivadas de pisoteo como la brachiaria y el jesuita mejorado. El 10% tiene pasturas de corte y de pisoteo. Y el 2% utiliza abonos verdes como avena y azeven para alimento del ganado.

En el Cuadro 27 se observan las especies animales y la cantidad de productores encuestados que tienen esos animales, tanto como fuente de ingresos como para autoconsumo.

*Cuadro 27. Especies animales y cantidad de productores encuestados que poseen esos animales en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005.*

Especie animal	Cantidad de productores que poseen (en %)
Vacunos	73
Equinos	29
Ovinos	11
Caprinos	3
Porcinos	80
Aves	90

### 4.2.3 Otras actividades

Durante el recorrido de campo también se observaron otros tipos de actividades como la extracción de las primeras capas de suelo para su utilización como arena gorda de construcción; y explotaciones de piedras que se destinan a distintos usos como para pisos, construcciones, muebles, etc.

### 4.3 Determinación participativa de los principales problemas asociados al manejo del recurso hídrico y de las alternativas de manejo sustentable de la cuenca

El área de estudio puede ser considerada privilegiada por encontrarse en una zona geográfica muy rica en recurso hídrico. Como puede observarse en la Figura 6, el 72% de las fincas visitadas posee cursos naturales de agua dentro de la propiedad, de este porcentaje el 44% posee un solo curso y el 28% posee más de uno. El 2% no respondió (NR).

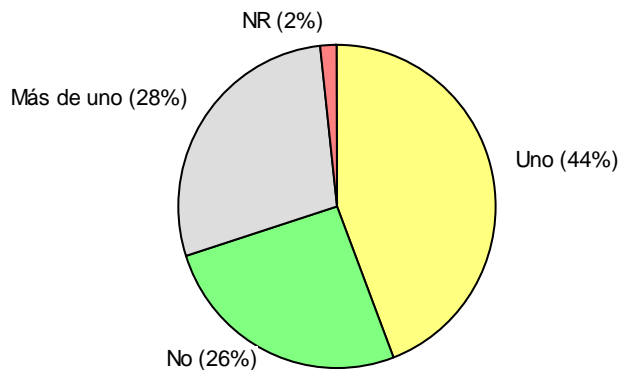


Figura 6. Presencia de cursos naturales de agua dentro de la propiedad en la muestra de fincas estudiadas en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.

### 4.3.1 Principales problemas

Los principales problemas relacionados al manejo del recurso hídrico en la cuenca del Ao Capiibary se citan en el Cuadro 28 y se analizan posteriormente.

*Cuadro 28. Principales problemas asociados al manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.*

Principales problemas
1) Desigualdad en el acceso al agua para consumo humano. 2) Falta de agua en verano por existencia de pozos someros que se secan en esta temporada. 3) Uso excesivo y sin control de productos químicos en el manejo de los cultivos. 4) Contaminación del agua por desechos y agroquímicos vertidos directamente en los arroyos. 5) Contaminación del agua y del aire causa problemas de salud. 6) Muerte de especies animales y vegetales por contaminación del agua. 7) Mal manejo de desechos y envases de agroquímicos. 8) Márgenes de cauces de agua sin protección vegetal. 9) Deforestación masiva, expansión de la frontera agrícola a expensas de tierras de bosques. 10) Falta de incentivos para la reforestación con especies nativas. 11) Uso de tecnologías de producción que no incorporan medidas conservacionistas de suelo y agua. 12) Crecimiento poblacional sin considerar el ordenamiento territorial. 13) Incumplimiento de las leyes.

Existe desigualdad en el acceso al agua para consumo humano. Solamente el 7% de los encuestados tiene conexiones de las Juntas de Saneamiento, el 80% usa agua de pozos (en el área rural predominan los pozos someros excavados manualmente), y el 9% consume agua directamente desde las nacientes o arroyos. El 30% de los productores transporta el agua a pie, mediante baldes. El 2% de los encuestados mencionó como principal problema de su finca a la falta de agua en épocas de sequía porque a veces sus pozos se secan en esta temporada.

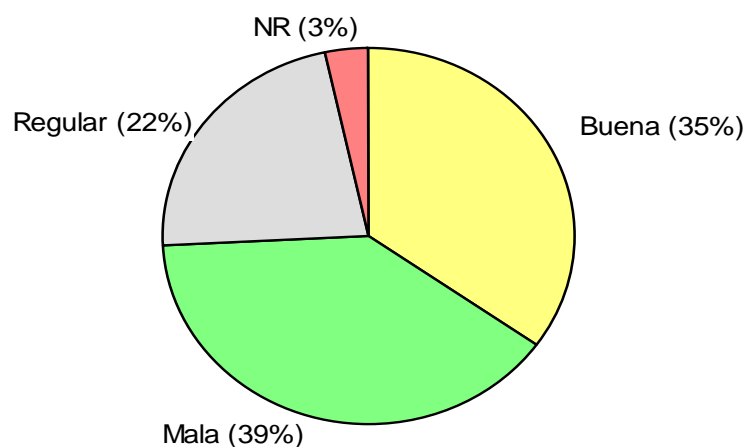
Otro de los principales problemas identificados fueron los cauces de agua sin protección vegetal en sus márgenes. Para el análisis de la protección vegetal de márgenes de los cursos de agua presentes en cada propiedad encuestada, se clasificaron tres niveles de protección: Buena, Regular y Mala. La descripción de cada categoría se observa en el Cuadro 29.



*Cuadro 29. Categorización de la protección vegetal de márgenes de los cursos de agua para el análisis del manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005.*

Descripción	Categoría
- Cursos de agua que circulan totalmente dentro de bosques nativos - Arroyos con más de 100 metros de cobertura boscosa a cada lado - Nacientes con más de 20 metros de cobertura boscosa en todo su alrededor	Buena
- Cursos de agua que circulan dentro de bosques muy degradados - Arroyos con buena protección boscosa sólo a un lado - Arroyos con protección boscosa entre 30 y 100 metros a cada lado - Nacientes con protección boscosa entre 10 a 20 metros a su alrededor	Regular
- Cursos de agua sin protección vegetal (por ejemplo en piquetes) - Cursos de agua protegidos solamente con algunos frutales dispersos - Arroyos con menos de 30 metros de cobertura vegetal a cada lado - Nacientes con cobertura boscosa inferior a 10 metros a su alrededor	Mala

Como puede verse en la Figura 7, el 35% de las propiedades que poseen cuerpos naturales de agua tiene una buena protección vegetal en los márgenes, el 22% tiene una protección vegetal regular y el 39% tiene una mala protección de márgenes. El 3% no respondió (NR).



*Figura 7. Grado de protección vegetal de márgenes de los cursos de agua en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005.*

La preocupación por la deforestación masiva también fue transmitida por los pobladores de la cuenca en todos los talleres realizados, con la consecuente extinción de especies nativas (tanto animales como vegetales). Se mencionó también el mal manejo forestal, la falta de reforestación y la deforestación alrededor de los cauces de agua.

El avance de la frontera agrícola a expensas de las tierras con bosques naturales es uno de los principales problemas, más de la mitad del área deforestada correspondía a los mejores bosques con alto potencial maderero; sus maderas duras tienen una alta cotización en el mercado. La disminución de áreas boscosas ha ocasionado también una disminución de la fauna silvestre, abundante en décadas pasadas y de gran importancia como fuente de alimentos y de la biodiversidad genética.

El uso de la tierra ha sufrido cambios muy acelerados en la cuenca, medibles por la expansión de la frontera agropecuaria a expensas de las tierras de bosques. Además de los efectos ambientales negativos citados, en la mayoría de los casos el uso de tecnologías de producción no incorpora medidas conservacionistas de suelos y aguas.

La vegetación nativa del área ha sufrido alteraciones a tal punto que quedan pocos remanentes de ella (Figura 8) y se encuentra muy relacionada al tipo de suelo del lugar. Los bosques altos pertenecen al Bosque Atlántico Alto Paraná (BAAPA) y se encuentran sobre suelos derivados de roca basáltica y también de roca arenisca, cuando el suelo es profundo y con buena fertilidad.

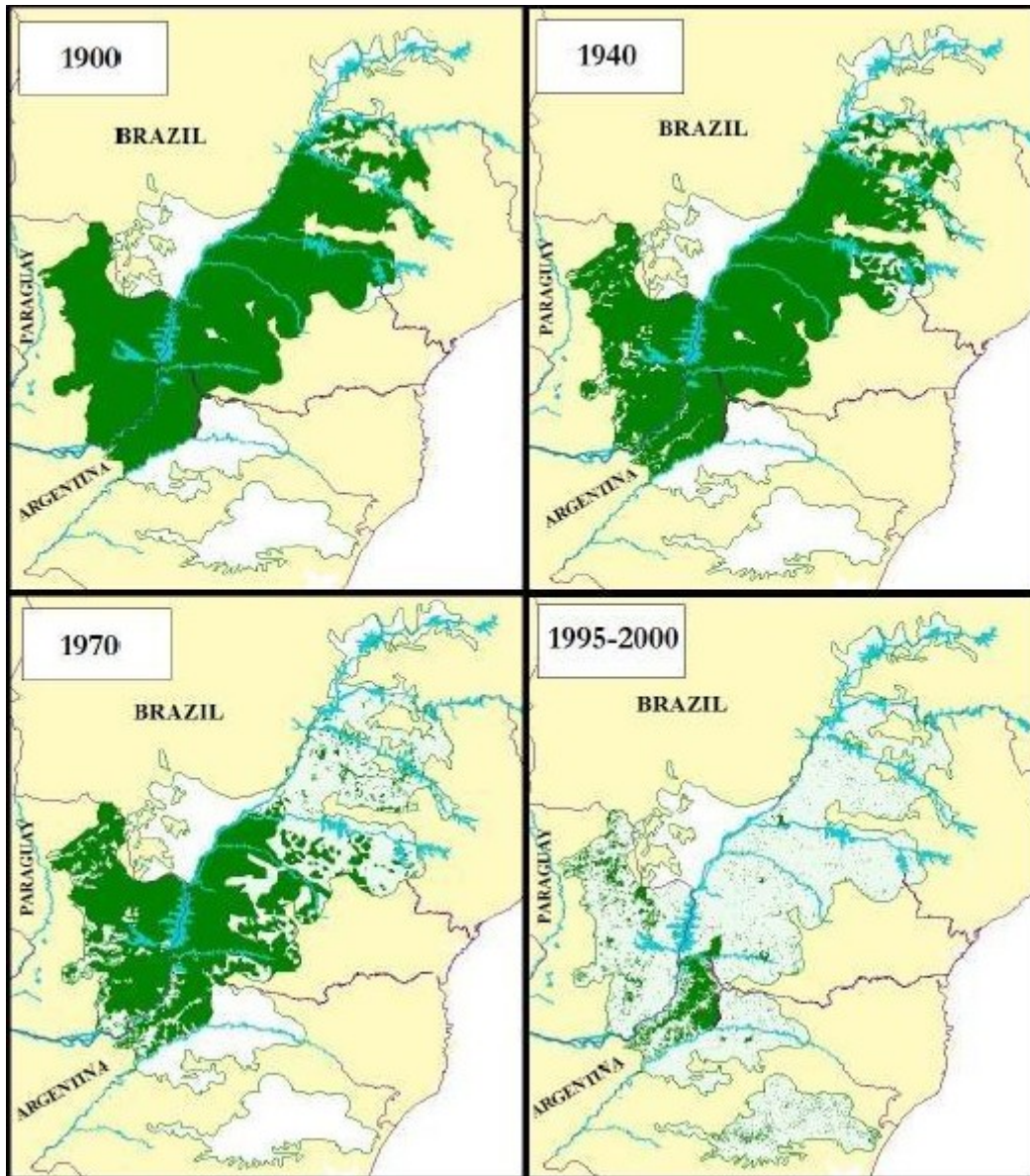
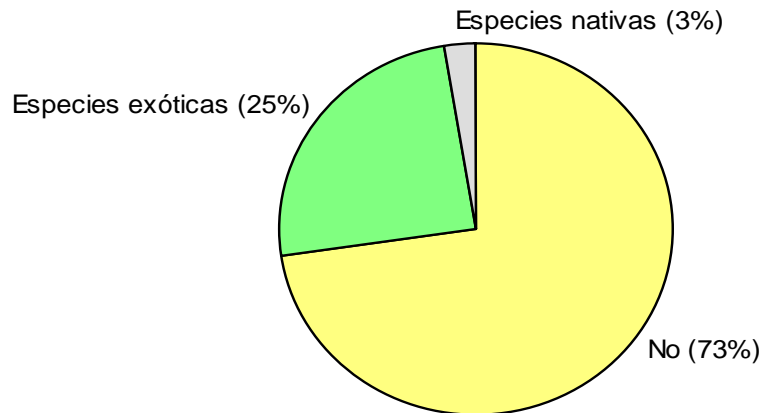


Figura 8. Proceso de deforestación del Bosque Atlántico Alto Paraná desde el año 1900 hasta el año 2000.

El 67% de las fincas visitadas conserva por lo menos pequeñas islas de bosques naturales. En cuanto a la reforestación realizada en la zona, el resultado de las encuestas confirmó plenamente la necesidad de incentivos para promover esta práctica como fue manifestado en los talleres.

Como puede verse en la Figura 9, el 73% de los productores encuestados no realizó reforestación. Solamente el 28% realizó algún tipo de reforestación y en la mayoría de los casos las superficies reforestadas son muy pequeñas; y solamente en el 3% de las propiedades se realizaron

reforestaciones de especies nativas como lapacho, cedro y guatambú. La mayoría de las plantaciones forestales fueron realizadas con especies exóticas como pino, eucalipto, cedro australiano e incienso.



*Figura 9. Plantaciones forestales en las propiedades de los productores, cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay, 2005.*

La plantación de árboles de elevado consumo hídrico, como la mayoría de las especies exóticas de rápido crecimiento, en zonas de recarga del acuífero puede tener efectos muy negativos, puesto que estas especies extraen cantidades importantes de agua produciendo un desbalance hídrico subsuperficial. Esta situación se produjo en extensos monocultivos de eucaliptos y pinos que se han establecido en zonas de recarga del Acuífero Guaraní en territorio uruguayo, estas especies por su ritmo de crecimiento atraparon gran parte del agua de lluvia e impidieron que se infiltre.

Otra consecuencia negativa de la deforestación es el inicio de un proceso de degradación de los suelos. Esta situación se ubicó en el primer lugar en la priorización de problemas en el taller realizado con las mujeres; ellas manifestaron que día a día perciben el empobrecimiento de los suelos a través del manejo sus huertas, donde antes crecía cualquier tipo de hortaliza, cada día notan mayores limitaciones. Durante el análisis del conflicto también atribuyeron el empobrecimiento de suelos al uso sin control de agroquímicos por parte de los productores de soja. La deforestación y el mal manejo de suelos también se ubicaron entre los cuatro principales

problemas en el taller realizado con los alumnos de la escuela agrícola, ellos mencionaron que el empobrecimiento de los suelos es consecuencia de la deforestación (a causa de la mayor erosión) y del manejo inadecuado del suelo (como ejemplo dieron el monocultivo que acidifica el suelo). En el taller realizado con los productores estos problemas se ubicaron en niveles inferiores de importancia, la deforestación apareció en quinto lugar como causa de la extinción de especies nativas tanto animales como vegetales, y el problema de la degradación del suelo se ubicó en el séptimo lugar como causa de los bajos rendimientos de sus cultivos.

Los problemas relacionados al uso inadecuado de agroquímicos se tocaron en todos los talleres realizados, se denunció el uso excesivo y sin control de estos productos, el mal manejo de desechos tóxicos como los envases de agroquímicos enterrados que con grandes lluvias afloran y contaminan el área, la deriva de los productos químicos que contaminan otros cultivos de la comunidad, la muerte de especies animales por la contaminación de los arroyos, la pulverización sin protección adecuada y los problemas de salud que esto acarrea, el escaso conocimiento sobre uso y manejo de agroquímicos, y la contaminación del aire con efectos nocivos para la salud.

Las actividades agrícolas son las principales fuentes de contaminantes de residuos químicos en el agua. El uso indiscriminado y sin control de agroquímicos cuya acción contaminante persiste durante mucho tiempo hace que estos se filtren a través del suelo pudiendo llegar a contaminar los acuíferos.

El 97% de los productores de soja encuestados utiliza agroquímicos para el desarrollo y crecimiento del cultivo. En el área rural de la cuenca la contaminación de los ríos y arroyos por productos químicos se da a consecuencia del lavado y abastecimiento de agua por los pulverizadores, hechos directamente en estos cursos de agua. Además está el manejo inadecuado de los envases de estos productos, una costumbre muy común es abandonar los envases en el campo, enterrarlos o quemarlos. Estas medidas presentan serios problemas puesto que en el caso del abandono o entierro en el campo se generan grandes focos de contaminación, y al quemarlos las consecuencias pueden ser peores aún, ya que las combustiones generan gases que afectan no sólo a la capa de Ozono sino también a la salud. El 70% de los que utilizan agroquímicos, quema o entierra los envases y muchos de ellos manifestaron el interés en recibir asistencia técnica en cuanto al manejo apropiado de los mismos.

En lo referente a los volúmenes de agua utilizados en el manejo de los cultivos, según el informe preliminar del Proyecto Piloto Itapúa-Paraguay (2005) para el cultivo de soja, con dos aplicaciones de herbicidas, una a dos de insecticidas y últimamente una a dos de fungicidas, se utilizan 150 a 200 litros de agua por aplicación, lo que resultaría en 1.000 litros de agua por ha. Para el cultivo que entra en rotación con la soja, como el trigo o el maíz, se utilizaría entre 600 a 800 litros de agua por ha, lo que resulta en un consumo de aproximadamente 1.700 litros de agua por ha/año, en la agricultura mecanizada. Dicho informe también habla de que la provisión de agua para los equipos de pulverización constituye un serio problema, ya que la ley prohíbe tomarlos directamente de los cuerpos naturales de agua. La construcción de los abastecedores comunitarios de agua en un lugar alejado de los cuerpos de agua es la solución encontrada. Con relación a la deriva o acarreo por el viento de las gotas muy pequeñas de agroquímicos, dice el informe que a partir del año 2004 se adoptó una legislación para reglamentar el uso de los agroquímicos en el país. Sin embargo, para la población en general continúa la preocupación del destino final de los agroquímicos en el suelo y en las aguas, preocupación a la que no se ha dado respuesta por carecerse de estudios o investigaciones básicas sobre este tema.

Otro problema mencionado en los talleres y observado durante los recorridos de campo es el acelerado crecimiento poblacional que se da en la mayoría de los casos sin considerar el ordenamiento territorial.

Dentro de la cuenca se encuentran asentados cinco centros urbanos: la totalidad de los centros urbanos de los Distritos de Alto Verá, Trinidad y Jesús, y parte de los centros urbanos de los Distritos de Hohenau y Obligado (Cuadro 30).

*Cuadro 30. Área rural y urbana en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.*

Distrito	Área urbana (ha)	Área rural (ha)
Hohenau	279	13.227
Obligado	68	32.308
Jesús	147	12.515
Trinidad	198	16.636
Alto Verá	36	7.344
Bella Vista	-	2.116
Capitán Miranda	-	2.383
La Paz	-	4.775
Pirapó	-	4.591
Nueva Alborada	-	231
Total	728	96.126

Localidades de las zonas periféricas de estos centros urbanos, que apenas hace tres años se consideraban dentro del área rural, ahora se están urbanizando rápidamente, como ejemplo se puede mencionar a la Compañía San José donde las fincas encuestadas cuentan con superficies inferiores a 1 ha y están recibiendo la expansión urbana de Hohenau. A medida que crece la población humana existe mayor demanda de agua, especialmente de aguas subterráneas, y al mismo tiempo pueden crecer las posibilidades de contaminación de las mismas y de los cursos de agua superficiales.

Además, los procesos de urbanización, debido a la migración de las personas, liberan grandes extensiones de tierras que son ocupadas para expandir las fronteras agropecuarias, lo que trae otros problemas ambientales asociados al agua. La migración de las poblaciones rurales a las ciudades también ha originado en los últimos años problemas socioeconómicos relevantes como el desempleo, la urbanización de tierras de vocación agrícola y el deterioro del medio ambiente, debido a que no existe un plan de ordenamiento territorial y las ciudades no se encuentran preparadas para recibir a las corrientes migratorias en constantes aumento. Esta situación se observó en una localidad llamada San Antonio en el Distrito de Trinidad, donde grandes ganaderos, que generalmente viven en las ciudades, compran tierras a los pequeños productores para ampliar sus campos, los pequeños productores migran hacia los centros urbanos. Uno de los encuestados manifestó su preocupación por el cierre de la única escuelita de la zona, si cada vez hay menos alumnos, la escuela se verá obligada a cerrar sus puertas, entonces las familias que van quedando también sufren la presión de ir a las ciudades para mantener la educación de sus hijos. Es decir, que además de los grandes campos que van rodeando a los pequeños productores dejándolos cada vez más aislados de una vida comunitaria y las ventajas de trabajar en

organizaciones, también la educación de los niños se ve afectada, puesto que las familias de los grandes productores viven y estudian en áreas urbanas.

Los asentamientos de poblaciones en tierras forestales sin considerar un plan de ordenamiento territorial basado en la aptitud de los suelos generan impactos ambientales negativos. Alteraciones ambientales también se producen con frecuencia en zonas de arenisca con la deforestación de tierras no aptas para la agricultura, la erosión de los suelos agrícolas por prácticas de métodos de labranza convencional y el uso de pesticidas.

Es necesario destacar que dentro de la cuenca se encuentran ubicadas las ruinas jesuíticas de Trinidad y Jesús, en los municipios que llevan esos nombres, respectivamente. Estas ruinas constituyen uno de los principales atractivos turísticos no solamente dentro del Departamento de Itapúa, sino también del país. Fueron declaradas Patrimonio Universal de la Humanidad por la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) en el año 1993, constituyéndose así en atractivos para el turismo nacional e internacional. Se espera que en un futuro cercano el turismo en la zona aumente considerablemente, y esta situación debe ser tomada en cuenta puesto que el turismo también traerá consigo mayor demanda de agua y producción de residuos sólidos y líquidos.

Otros problemas sociales nombrados en los talleres son los conflictos sobre tenencia de tierra, inseguridad, abigeo, robo de la producción, pobreza, falta de medios de transporte, bajos precios de la producción, falta de caminos a todo tiempo, falta de fuentes de trabajo para los jóvenes, falta de recolección de basuras, incumplimiento de las leyes, falta de rubros para la educación, falta de asistencia técnica en cuanto a la protección del medio ambiente y falta de personal e insumos en los centros de salud.

#### ***4.3.2 Alternativas de manejo sustentable***

Entre las alternativas para lograr un manejo sustentable de los recursos naturales que fueron analizadas en los talleres se propuso:

- 1) Mayor control y cobro de multas por incumplimiento de las leyes en lo referente a la deforestación, a la eliminación de la cobertura vegetal en los márgenes de los cursos de agua y al vertido de basuras y productos químicos directamente a los cursos de agua. Teniendo en cuenta



que estas situaciones son las que más afectan la calidad del agua en la cuenca, y que están todas contempladas dentro de las leyes, el problema radica en el desconocimiento y la falta de control y fiscalización de estas legislaciones.

En este contexto podría analizarse la incorporación de pagos por los daños ambientales que se realizan durante los procesos de producción, es importante tener en cuenta que estos representan pagos por unidad de contaminación y muchas veces es muy difícil de medir y controlar la contaminación.

2) Asignación de un valor al recurso agua como insumo dentro del proceso productivo. Los productores utilizan varios insumos y uno de esos insumos es el medio ambiente. Como ejemplo del área rural de la cuenca se puede decir que los productores de soja utilizan grandes cantidades de agua para la pulverización con productos químicos, esto les permite tener costos menores; si pagaran por el uso del agua, los costos de producción serían mayores. Un ejemplo del área urbana de la cuenca podría ser una industria que utiliza un arroyo para depositar los desechos de su proceso productivo; si pagaran por el uso del arroyo, los costos de producción serían mayores. Esto equivale a que se esté pagando un precio por el uso del medio ambiente como insumo en el proceso productivo, lo que reduciría el uso excesivo del recurso porque se volvería más caro. Los productores dejarán de ver al medio ambiente como un insumo gratuito, lo que conllevará a un uso más racional.

3) Aplicación de incentivos o estímulos para la conservación del agua. Este marco se hace propicio para incluir el pago por servicios ambientales, es decir, mecanismos para generar premios para aquellos productores que realizan acciones que favorezcan al bienestar público, por ejemplo un productor que se dedica al manejo sostenible de su bosque en la zona alta de la cuenca, como efecto generaría un beneficio a todas las poblaciones que utilizan el agua, porque el bosque contribuye a regular el flujo y la calidad del agua del arroyo. Los pagos por servicios ambientales promoverían un mejor manejo de los recursos naturales por parte de los dueños, porque representaría una ganancia por los servicios ambientales brindados, esto indicaría al dueño del bosque que éste no es un elemento ocioso en su propiedad, genera no solo un servicio ambiental, sino también un ingreso.

4) Entre las prácticas de conservación y recuperación del recurso suelo, una propuesta interesante a ser incorporada en las actividades de producción ganadera es la implementación de sistemas silvopastoriles, es decir, integrar el manejo del ganado vacuno y las pasturas con leñosas perennes (preferentemente nativas). Como ejemplos de sistemas silvopastoriles se pueden citar a la utilización de cercas vivas, a los bancos forrajeros, a los árboles dispersos en potreros o al pastoreo en plantaciones de árboles maderables o frutales.

5) Promoción de campañas de concientización para la protección del recurso agua, como ejemplo se citó la realización de campañas para no lanzar basuras a los cauces de agua, colocando carteles prohibitivos donde también se introduzca el número de la Ley que prohíbe esta práctica que deteriora el ambiente. Esto surgió como vía para educar a la población, puesto que el impacto negativo sobre la naturaleza se da como resultado del consumo y la producción que el ser humano realiza cada día y muchas veces es por desconocimiento.

6) Educación ambiental y generación de conocimientos sobre el recurso agua y el funcionamiento del acuífero, una comunidad que sabe 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 poder priorizar las necesidades hídricas más urgentes y asegurar un futuro al recurso hídrico.

7) Capacitación y asistencia técnica para la adopción de prácticas de producción limpia. Algunos ejemplos de componentes estratégicos frecuentemente incorporados en los planes de acción de manejo en microcuencas son:

- Agricultura orgánica.
- Actividades agrícolas, pecuarias, forestales, industriales y agroindustriales no contaminantes.
- Tecnologías de descontaminación.
- Manejo de desechos líquidos y sólidos, por ejemplo reciclaje de envases de agroquímicos.
- Recuperación de suelos degradados, por ejemplo mediante el uso abonos verdes, etc.

Para la capacitación sería importante aprovechar otras experiencias que se vienen realizando en la cuenca. A pesar de que son muy pocos todavía, existen productores realizando agricultura orgánica como por ejemplo producción de soja orgánica.

8) Promoción a la organización de los productores para tener mayor alcance. Las comunidades organizadas podrán enfrentar con mayor facilidad las diferentes situaciones que se presenten en la cuenca, así como realizar acciones grupales (reforestación, campañas de educación ambiental, de protección de nacientes de agua, etc.), asociarse para la comercialización y adquisición de productos con mejores beneficios que de manera individual, gestión ambiental y social (establecimiento de servicios de agua potable como Juntas de Saneamiento, centros de salud, escuelas, etc.). Una comunidad bien organizada, con capacidad de gestión y fortalecida para administrar y operar sus recursos propios, será una alternativa práctica que le dará continuidad al manejo de cuencas.

Como puede apreciarse en los resultados de los talleres, los pobladores de la cuenca están tomando conciencia de la problemática ambiental y a pesar de tratarse de una de las zonas más ricas del país en cuanto a recursos hídricos, la comunidad está dispuesta a aprender y adoptar iniciativas que conserven y protejan el agua.

El elemento más importante en definir a la cuenca como unidad de planificación y de gestión es que la misma constituye un sistema donde el elemento integrador es el agua, por lo tanto, el manejo y la conservación de este recurso se ubica perfectamente dentro este enfoque. La cuenca constituye un sistema conformado por las interrelaciones de diferentes subsistemas: social, económico, político, institucional (local y gubernamental), cultural (costumbres, tradiciones, etc.), legal (tenencia de la tierra, leyes, ordenanzas, etc.), tecnológico, productivo, físico (suelo, clima, etc.) y biológico. Por lo tanto, este enfoque haría posible una gestión integral que logre producir en forma armónica con la conservación del medio ambiente.

También las propuestas de ordenamiento territorial deberían 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 a la capacidad de uso de las tierras y las necesidades presentes y futuras de las poblaciones.

Para el impulso de las alternativas que buscan proteger y mantener la calidad del agua en la zona se crea el ambiente perfecto para la creación de un organismo o entidad de la cuenca del Ao Capiibary, promoviendo el fortalecimiento de la capacidad local. Será el organismo que se encargue de la regulación del recurso agua, esta autoridad de la cuenca debería estar formada por representantes de cada distrito asentado sobre la cuenca. Entre las funciones de este organismo estarían el aprovechamiento del agua, la conservación, protección y manejo de los recursos naturales que pertenecen a la misma cuenca, de manera coordinada y conjunta. La intervención en un sistema integral permite una mejor coordinación entre proyectos y acciones y permite tener una mejor visión de los problemas, sus causas, sus efectos y las interacciones entre ellos.

Como se discutió anteriormente existen varias alternativas que podrían ser aplicadas para la protección del recurso agua, como los pagos por los daños ambientales o los pagos por servicios ambientales, es necesario hacer un estudio de socioeconomía ambiental que permita identificar cuál de ellas sería la vía más eficiente. El organismo de la cuenca debería administrar estos cobros, así todo lo recaudado se invertirá directamente en la protección del recurso agua a nivel local, haciendo realmente eficiente el sistema.

Para resumir las alternativas de manejo sustentable del recurso hídrico que fueron analizadas de manera participativa con los pobladores de la cuenca del Ao Capiibary, se puede observar el Cuadro 31.

*Cuadro 31. Alternativas de manejo sustentable del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.*

<b>Alternativas de manejo sustentable</b>
1) Garantías en el cumplimiento de las leyes, mediante el control y cobro de multa por daños ambientales.
2) Asignación de un valor al recurso agua como insumo dentro del proceso productivo.
3) Incentivos o estímulos para la conservación del recurso hídrico.
4) Implementación de sistemas silvopastoriles en las actividades ganaderas.
5) Campañas de concientización para la protección del recurso agua.
6) Educación ambiental y generación de conocimientos sobre el recurso agua y el funcionamiento del acuífero.
7) Capacitación y asistencia técnica para la adopción de prácticas de producción limpia.
8) Promoción y fomento a la organización de los productores.
9) Creación de un organismo de la cuenca del Ao Capiibary conformado por representantes de todos los distritos asentados sobre la cuenca.
10) Utilización de la cuenca como unidad de planificación y gestión en el manejo y la conservación del recurso agua.

#### 4.4 Análisis de vulnerabilidad de contaminación del Acuífero Guaraní e identificación de áreas críticas en la cuenca del Ao Capiibary

##### 4.4.1 *Vulnerabilidad de contaminación del acuífero por medio del método DRASTIC*

El mapa resultante se observa en la Figura 10.

Teniendo en cuenta las limitaciones afrontadas para obtener los parámetros hidrogeológicos que exige el modelo DRASTIC, los resultados indican que en la cuenca del Ao Capiibary 34.890 ha (36%) presentan vulnerabilidad baja de contaminación del Acuífero Guaraní y 61.717 ha (64%) presentan vulnerabilidad media. No se encontraron zonas de vulnerabilidad muy alta, alta ni muy baja.

Este resultado indica que las características hidrogeológicas que presenta el acuífero en la cuenca del Ao Capiibary hacen difícil que las aguas subterráneas se lleguen a contaminar. Es importante resaltar que la información suministrada por los responsables de las Juntas de Saneamiento del área donde el Proyecto Piloro Itapúa-Paraguay se está llevando a cabo (Bella Vista, Obligado, Hohenau, Jesús y Trinidad) revela que hasta la fecha no se han detectado casos de contaminación de las aguas de los pozos profundos.

Esta afirmación también coincide con los datos preliminares del Proyecto SAG-PY que muestran que las cantidades de nitrato obtenidas de análisis químicos realizados en cinco pozos ubicados en la cuenca del Ao Capiibary demuestran que estos valores se ubican por debajo de los valores límites y el máximo permitido. El valor límite para el nitrato es igual a 25 mg/l (como  $\text{NO}_3$ ) y el valor máximo permitido es igual a 50 mg/l (como  $\text{NO}_3$ ).

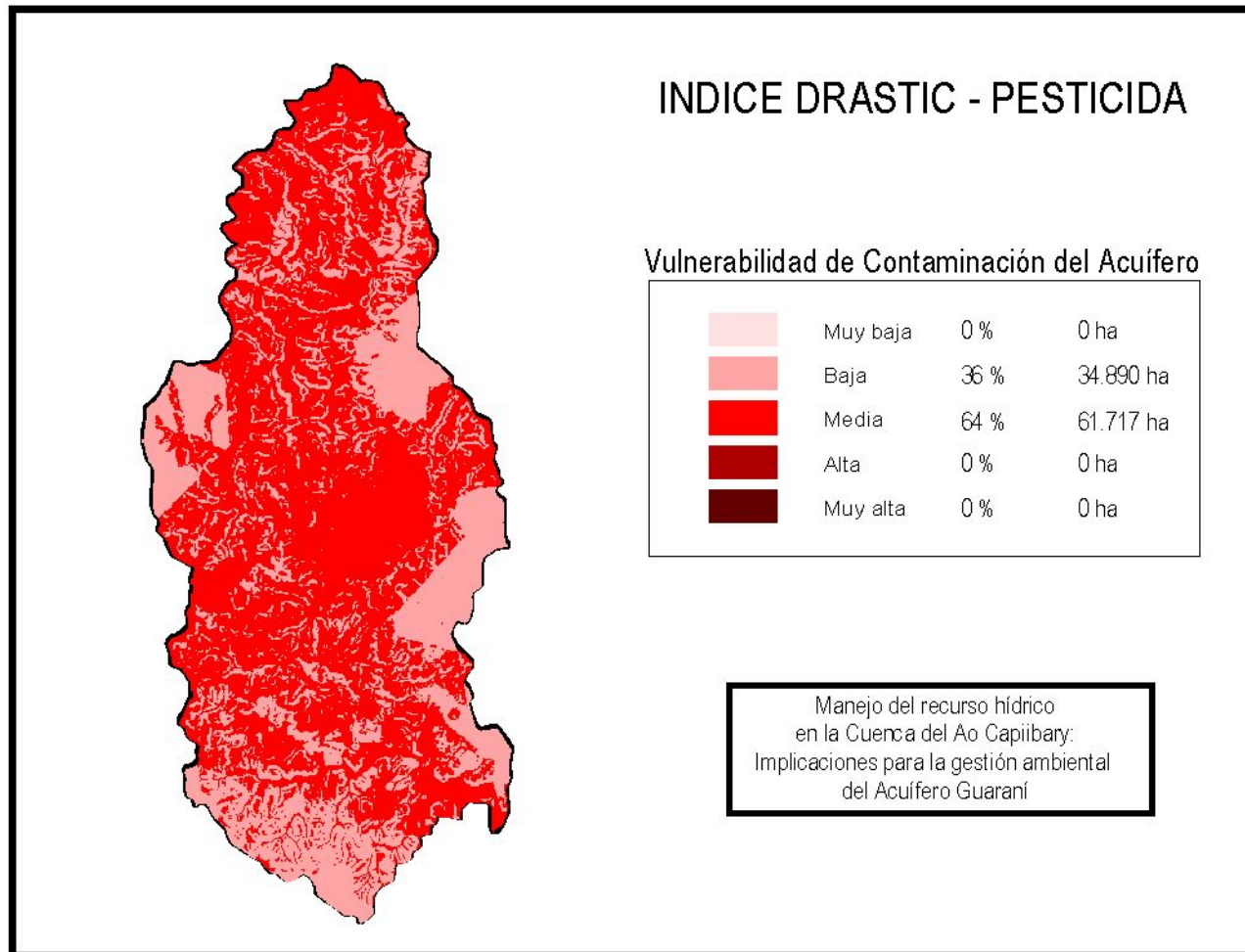


Figura 10. Mapa de vulnerabilidad de contaminación del Acuífero Guaraní en la cuenca del Arroyo Capiibary según el método DRASTIC.

Como puede observarse en el Cuadro 32, en cinco muestras ubicadas en la cuenca, los valores de NO<sub>3</sub> están por debajo del límite, esto indica que si bien es cierto que esta sustancia no está perjudicando actualmente a las aguas subterráneas, es indispensable 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. 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.

*Cuadro 32. Cantidades de nitrato obtenidas en análisis químicos de las aguas subterráneas y ubicación de los pozos muestreados dentro de la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.*

Distrito	X	Y	NO <sub>3</sub> (mg/l)
Hohenau	634327	7003590	2,78
Hohenau	633869	7003053	5,75
Jesús	623999	7006820	9,99
Alto Verá	622451	7040380	5,0
Trinidad	628295	6998029	2,62

Fuente: Vassolo, S. 2005. Datos preliminares del proyecto SAG-PY (comunicación personal). Asunción, Paraguay, Secretaría del Ambiente.

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) fue indispensable en la elaboración de los mapas de vulnerabilidad para la aplicación del modelo DRASTIC. Incluso podrían establecerse diferentes escenarios de posibles eventos contaminantes mediante el uso de SIG.

El modelo DRASTIC para la identificación de la vulnerabilidad de contaminación de un acuífero es un método utilizado y aceptado a nivel mundial. Sin embargo, se debe tener en cuenta la dificultad de conseguir los datos que requiere este modelo, debido a la carencia y el elevado costo económico de los trabajos e investigaciones realizados en el área de hidrogeología.

Un inconveniente para este trabajo fue la cantidad y distribución espacial de los pozos que contaban con un registro detallado, es decir, para un resultado más confiable se hubiese preferido contar con mayor cantidad de registros y perfiles de pozos perforados en la cuenca. Además la distribución de los 36 pozos identificados no fue muy homogénea, se encontró mayor información en los centros urbanos de los distritos de Hohenau y Obligado, por este motivo los datos tienden a estar más concentrados en la proximidades a estas zonas.

En la mayoría de los trabajos consultados en esta investigación, donde se aplicó la metodología DRASTIC en otros países, parte de los datos fueron obtenidos de trabajos realizados a nivel de regiones más extensas. Por esta razón, algunos de los siete parámetros utilizados en la aplicación del índice DRASTIC darían un resultado más preciso con la utilización de mapas a escalas más grandes y estudios ambientales e hidrogeológicos más pormenorizados que se ajusten mejor a las microcuencas que ocupan superficies más reducidas.

Cada uno de los siete parámetros de DRASTIC puede ser estimado de diversas maneras, en el caso de la recarga neta del acuífero por ejemplo, Bessouat *et al.* (1999) se basaron en la piezometría y un mapa de isotransmisividades para calcular la recarga en un análisis realizado en el Acuífero Raigón de Uruguay y también manifestaron en la investigación la necesidad de modelar el flujo en el acuífero para obtener mejores resultados. Por otra parte, Agüero y Pujol (2000) para un trabajo realizado en Costa Rica estimaron la recarga a través del balance hídrico. En dos tesis del CATIE, una realizada en El Salvador (Vignola 2005) y otra en Costa Rica (Vargas 2004) se estimaron las recargas netas de los acuíferos a partir del modelo propuesto por Losilla y Schosinsky (2000) para determinar la infiltración potencial, el modelo se basa en la precipitación promedio mensual y en un coeficiente de infiltración, y asume que el 88% de la lluvia mensual es la que llega al suelo.

La conductividad hidráulica es otro de los parámetros de DRASTIC que presentó mayor incertidumbre por la escasez de información disponible. Generalmente las pruebas de conductividad hidráulica solamente se llevan a cabo con fines de investigación, por lo que son escasas. Celligoi *et al.* (s.f.) obtuvieron valores de conductividad hidráulica a través de varios ensayos de infiltración mediante un permeámetro Guelph. Mientras que el trabajo de Agüero y Pujol (2000) indica que la variación espacial de la conductividad hidráulica es muy compleja y que depende del tipo y permeabilidad del acuífero, fracturación y otros. Sin embargo, como no contaron con esta información, utilizaron un modelo menos preciso.



#### 4.4.2 Identificación de áreas críticas en la cuenca del Ao Capiibary

El mapa de las áreas críticas de contaminación de las aguas subterráneas, resultante de la vulnerabilidad de contaminación (método DRASTIC) y del uso actual de tierra, se observa en la Figura 11.

Los resultados indican que 15.522 ha (16%) de la cuenca del Ao Capiibary representan áreas muy críticas de contaminación de las aguas del Acuífero Guaraní, 47.786 ha (50%) corresponden a áreas medianamente críticas y 33.117 ha (34%) son áreas no críticas.

Las áreas muy críticas constituyen todas las zonas urbanas y las zonas dedicadas a la agricultura mecanizada asentadas en áreas de vulnerabilidad media según el índice DRASTIC. Las urbanizaciones son consideradas como focos puntuales de contaminación debido a que el aumento de la población produce una mayor generación de residuos sólidos y líquidos, aumentando así el riesgo de contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Más aún en estas zonas, donde no cuentan con un sistema de alcantarillado sanitario.

Por otro lado, en las zonas de agricultura mecanizada, además de la deforestación que deja al suelo menos protegido, también se incorpora el uso herbicidas, insecticidas, fungicidas o fertilizantes químicos en el manejo de los cultivos y en la mayoría de los casos no se cuenta con un manejo adecuado de los envases estos productos químicos. Las áreas muy críticas de contaminación de aguas subterráneas de la cuenca se encuentran localizadas principalmente en los distritos de Obligado, Jesús, Alto Verá y Hohenau. Los resultados se indican el Cuadro 33.

*Cuadro 33. Superficie y distribución de las áreas muy críticas para la contaminación de las aguas subterráneas dentro de la cuenca del Arroyo Capiiraby, Paraguay.*

Distrito	Superficie (ha)	Superficie (%)
Trinidad	777,26	5,01
Pirapó	1.225,13	7,89
Obligado	5.404,67	34,82
Nueva Alborada	8,40	0,05
La Paz	1.110,01	7,15
Jesús	2.519,15	16,23
Hohenau	1.773,83	11,43
Capitán Miranda	52,94	0,34
Bella Vista	271,41	1,75
Alto Verá	2.378,83	15,33
Área muy crítica total	15.521,61	100

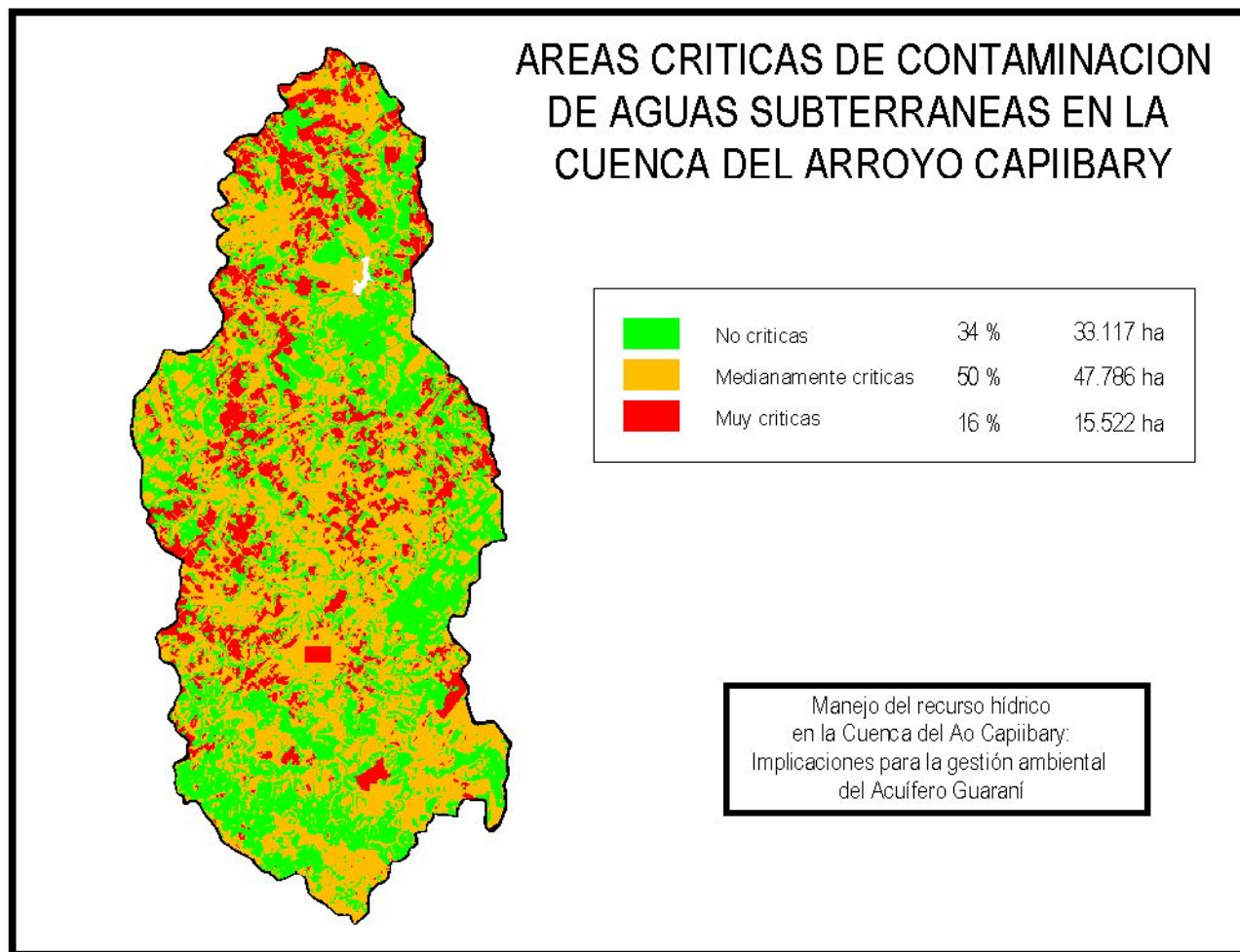


Figura 11. Mapa de áreas críticas de contaminación del Acuífero Guaraní en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.

## 5. CONCLUSIONES

La ausencia de una institución que maneje un registro completo de todos los pozos perforados tanto dentro del sector público y como del privado, revela la necesidad de implementar un control sobre la explotación de las aguas subterráneas. A pesar de que existen instituciones que cuentan con registros de pozos, existen numerosos pozos, en su mayoría pertenecientes al sector privado, que no se encuentran oficialmente registrados en ninguna institución y en muchos de los registros de los pozos pertenecientes al sector público la información es escasa. Es decir no se sabe con precisión la cantidad de agua que está siendo utilizada del acuífero. Para lograr una explotación sostenible del acuífero es indispensable establecer un control que permita conocer y regular la cantidad de agua que está siendo extraída.

En la cuenca del Ao Capiibary existen instituciones, tanto del sector público como del sector privado, que están llevando a cabo proyectos y acciones para la protección del recurso hídrico, en algunos casos inclusive actúan en forma coordinada e incorporan la participación comunitaria en la toma de decisiones. El servicio de agua potable manejado a través de las Juntas de Saneamiento (JS) se está expandiendo y cada vez hay más comunidades con deseos de organizarse de esta manera. Las JS demuestran que una mejor gestión del recurso hídrico incorpora la participación comunitaria y de los gobiernos locales en la toma de decisiones; y que el autofinanciamiento y la sostenibilidad financiera son indispensables para el funcionamiento adecuado de la institución.

El área rural de la cuenca del Ao Capiibay es una zona de gran producción agropecuaria. Se destaca el cultivo de soja como principal fuente de ingreso. Este cultivo se maneja en mayor proporción bajo el sistema de siembra directa, que reduce bastante la erosión del suelo pero no elimina la utilización de productos químicos. También existen áreas de ganadería extensiva y aún se mantienen superficies de bosques naturales.

Los principales problemas relacionados al manejo del recurso hídrico en la cuenca del Ao Capiibary constituyen la deforestación masiva por la expansión de la frontera agrícola y el uso excesivo y sin control de productos químicos en el manejo de los cultivos. Existe también una

marcada inequidad con respecto al uso del agua en la cuenca. Mientras que pequeños productores utilizan escasas cantidades de agua para subsistir, grandes productores que trabajan con agricultura mecanizada extraen elevadas cantidades de agua para la pulverización de sus cultivos prácticamente sin pagar ningún costo por este recurso natural indispensable para la vida.

Como alternativa para el manejo sustentable del recurso hídrico se propone la creación de un organismo de la cuenca del Ao Capiibary conformado por representantes de todos los distritos asentados sobre la cuenca, que gestione el manejo y la conservación del agua utilizando a la cuenca como unidad de planificación.

La metodología DRASTIC fue posible aplicar por medio del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), la mayor limitación fue la falta de datos de los pozos perforados en la cuenca y las escasas investigaciones hidrogeológicas realizadas en el área de estudio.

Según los resultados del método DRASTIC la cuenca del Ao Capiibary presenta vulnerabilidad baja y vulnerabilidad media de contaminación del acuífero en toda su extensión. Esto indica que las características hidrogeológicas de la cuenca hacen que difícilmente las aguas subterráneas lleguen a contaminarse, sin embargo, si esto llegara a ocurrir, la recuperación del acuífero sería casi imposible. Es indispensable tomar medidas preventivas que protejan esta gran riqueza almacenada en el subsuelo, porque las aguas subterráneas son más difíciles de contaminar que las aguas superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es muy difícil y costoso revertir la situación.

Las áreas muy críticas de contaminación de aguas subterráneas representan el 16% de la superficie total de la cuenca del Ao Capiibary y constituyen todas las zonas urbanas y las zonas de agricultura mecanizada ubicadas en áreas de vulnerabilidad media.

## 6. RECOMENDACIONES

El cultivo de soja representa el principal rubro dentro la producción agrícola del Paraguay. Por sus condiciones climáticas favorables para este cultivo y el nivel tecnológico adoptado, el Departamento de Itapúa se ubica en entre los principales productores de soja del país. Por esta razón, la tendencia indica que la superficie de este cultivo seguirá creciendo. El reto principal es buscar un equilibrio entre la producción y la conservación de los recursos naturales, es decir, adoptar tecnologías conservacionistas en el manejo de los cultivos agrícolas. En este contexto, es recomendable tener en cuenta que en la zona de estudio se encuentran ubicados centros de elevada calidad en educación agropecuaria que podrían jugar el papel principal en la investigación y desarrollo de prácticas de producción conservacionista.

La Comisión Local de apoyo al proyecto piloto Itapúa-Paraguay (formada en abril del 2005) podría tomarse como base para la creación del organismo de la cuenca del Ao Capiibary. Posteriormente, se podrían aprovechar las experiencias aprendidas y aplicar en otras cuencas asentadas sobre el mismo acuífero dentro del territorio nacional. Como esta Comisión Local se formó en el marco de un proyecto ejecutado en los cuatro países que comparten el Acuífero Guaraní, se podría aprovechar ese contexto para intercambiar las experiencias aprendidas en el organismo de la cuenca del Ao Capiibary no solamente a nivel nacional sino también internacional, esto adquiere mayor importancia por tratarse de un sistema acuífero transfronterizo.

Las autoridades responsables de la conservación del recurso hídrico, como la Secretaría del Ambiente (SEAM), el Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SEANASA) y las Municipalidades deben procurar la protección de las nacientes, ríos y arroyos, no solo por medio de la promulgación de leyes y reglamentos, sino por medio de la vigilancia de la efectiva aplicación de éstos.

Es recomendable realizar un estudio socioeconómico sobre la posibilidad de dar un valor al recurso hídrico como un insumo en el manejo de los cultivos agrícolas. De esta manera, los productores dejarán de ver al medio ambiente como un insumo gratuito, lo que conllevará a un uso más racional.

Es necesaria la creación de incentivos o estímulos para incluir prácticas de conservación del recurso hídrico en los procesos productivos. Es decir, mecanismos para generar premios para aquellos productores que realizan acciones que favorezcan a la protección del medio ambiente, y con ello al bienestar de toda la población.

Es indispensable un sistema de alcantarillado sanitario, primordialmente en las zonas urbanas y aledañas, para disminuir el riesgo de contaminación microbiológica de las aguas subterráneas.

Es recomendable que las instituciones responsables del manejo de las aguas subterráneas concentren sus esfuerzos para establecer medidas que prevengan la contaminación de este recurso, priorizando las áreas muy críticas de la cuenca, porque las medidas correctivas son altamente costosas, y en la mayoría de los casos, prácticamente imposibles de realizar.

Para la implementación de la metodología DRASTIC se utilizaron los datos más confiables dentro de la información disponible. Sin embargo, es recomendable realizar más investigaciones hidrogeológicas que permitan conocer mejor el comportamiento del acuífero en la zona de estudio para obtener resultados más precisos para la planificación de las medidas preventivas de conservación de las aguas subterráneas.

## 7. LITERATURA CITADA

- Agüero, J; Pujol, R. 2000. Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica. Tesis Lic. Ing. Civil. San José, CR, UCR. 195 p.
- Alvarado, J. 2000. Sobreexplotación, vulnerabilidad y protección de las aguas subterráneas en Cochabamba (en línea). Cochabamba, BO. Consultado 9 nov. 2004. Disponible en <http://www.aguabolivia.org/PublicarX/GESTION/TEMA3>
- Astorga, Y. 2004. Recopilación de material del curso Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Turrialba, CR, CATIE. s.p.
- Bastiaensen, J; Vaessen, J. Instituciones locales, financiamiento y desarrollo rural: un marco conceptual. *In* Bastiaensen, J. 2002. Crédito para el desarrollo rural en Nicaragua: un enfoque institucional sobre la experiencia del Fondo de Desarrollo Local. p. 9-23.
- Bessouat, C; Castagnino, G; Santos, J; Oleaga, A; Pacheco, F. 1999. Vulnerabilidad del Acuífero Raigón (en línea). Montevideo, UY. Consultado 9 nov. 2004. Disponible en <http://www.iica.org.uy/p2-17-pon13.htm>
- Cruz Bolaños, JL. 2002. Evaluación del cambio de uso de la tierra en sistemas de producción agropecuaria en la cuenca del Río Barranca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 147 p.
- Custodio, E. 1998. Recarga a los acuíferos: aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre. Boletín geológico y minero. Instituto Tecnológico Geominero de España. Vol.109, No. 4.
- FAO (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, IT). 1981. Contaminación de las aguas subterráneas: tecnología, economía y gestión. n°31. Roma, IT. 161 p.
- Geilfus, F. 1997. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. Prochalate – IICA, San Salvador, SV. 208 p.
- GWP (Global Water Partnership, SE). 2004. Base de datos ToolBox: gestión integrada del recurso hídrico. 1 disco compacto, 8 mm.
- GWP (Asociación Mundial para el Agua, SE). 2000. Manejo integrado de recursos hídricos. n°4. Estocolmo, SE. 76 p.

- Hirata, R. 2002. Contaminación del agua subterránea: mejor prevenir que remediar. *In* Manejo integrado de aguas subterráneas: un reto para el futuro. 2002. EUNED, San José, CR. 325 p.
- IDEA (Instituto de Derecho y Economía Ambiental). 2003. Mejoramiento del marco legal ambiental del Paraguay: legislación ambiental concordada. Paraguay. 340 p.
- Jiménez, F. 2004a. Conceptos básicos. Material del curso de manejo integrado de cuencas hidrográficas I. Turrialba, CR, CATIE. 5 p. (Mimeografiado).
- Jiménez, F. 2004b. Manejo de desastres naturales. Material del curso de manejo de desastres naturales. Turrialba, CR, CATIE. 286 p. (Mimeografiado).
- Külls, C. 2003. Groundwater Recharge of the Guarani Aquifer. Previous investigations, estimation methods and recommendations. (correo electrónico). 19 p.
- Losilla, M. 1986. Protección de las zonas de recarga de los acuíferos. *In* Curso bases hidrológicas para el manejo de cuencas. Mayo 1987. Turrialba, CR, CATIE. 8 p.
- Losilla, M; Rodríguez, H; Schosinsky, G; Stimson, J; Bethune, D. 2001. Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central. San José, CR. 206 p.
- Moreira dos Santos, M; Hung Kiang, C; Celligoi, A. s.f. XIII Congreso brasilero de aguas subterráneas. Índice DRASTIC: método de apoyo a la evaluación de vulnerabilidad natural de un acuífero local en el área urbana de Londrina (Brasil). 20 p.
- Padilla Cámbara, T. 2003. Evaluación del potencial hídrico en la microcuenca del Río Cantil, para el aprovechamiento de las aguas subterráneas en la finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, Guatemala. Tesis Mag. Sc. San José, CR, UCR. 102 p.
- Paniagua, R. 1997. Conociendo Itapúa (en línea). Itapúa, PY. Consultado 19 nov. 2004. Disponible en <http://www.itacom.com.py/conociendo/index.html>
- Prins, K. 1998. Gestión y manejo de recursos en condominio: el caso de las concesiones forestales comunitarias. Revista Forestal Centroamericana no. 23: 6-11.
- Prins, K. 2004. Recopilación de material del curso de Institucionalidad Rural. Turrialba, CR, CATIE. s.p.
- Ramakrishna, B. 1997. Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas. Conceptos y experiencias. Proyecto IICA/GTZ. San José, CR. 319 p.
- Solanes, M; Gonzalez-Villarreal, F. 1999. The Dublin principles for water as reflected in comparative assessment of institutional and legal arrangements for integrated water



resources management. GWP (Global Water Partnership) TAC Background papers (3). p.  
10

Vargas Zúñiga, J. 2004. Evaluación de residuos de plaguicidas en agua y determinación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea, en la Subcuenca del Río Poás, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 70 p.

Velásquez, S. 2004. Recopilación de material del curso de Sistemas de Información Geográfica. Turrialba, CR, CATIE. s.p.

Vignola, R. 2005. Fortalecimiento de instrumentos decisionales para la provisión de agua para consumo humano en El Salvador. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 173 p.

Villón Béjar, M. 2002. Hidrología. Cartago, CR. Escuela de Ingeniería Agrícola, taller de publicaciones, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 430 p.

Wendland, E; Troleis da Cunha, A; Rabelo, J. 2002. Tasa de infiltración en zona de afloramiento del Acuífero Guaraní. XIII Congreso Brasileiro de Aguas Subterráneas. 17 p.

## 8. ANEXOS

Anexo 1. Guía de entrevista aplicada en la realización de las encuestas para el análisis del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary.

**“Manejo del Recurso Hídrico en la Cuenca del Arroyo Capiibary para la Conservación del Acuífero Guaraní”**

**Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)**

**Ing. Agr. Rafaela Laino Guanes**

Guía de entrevista - Diálogo semi-estructurado

Fecha:.....

1. Datos Generales

Nombre y apellido del entrevistado:.....

Ubicación de la propiedad:.....

Coordenadas: X:..... Y:.....

Departamento: Itapúa Distrito:..... Compañía/Barrio:.....

Superficie de la propiedad:.....

Tipo de producción:..... Tiempo de dedicación:.....

1.1. ¿Cuenta con asistencia técnica para la producción, la comercialización y para la conservación de los RRNN? No / Si ¿Qué tipo de asistencia? (por orden de importancia). Pública: DEAG/MAG..... SEAM..... Gobernación..... Municipalidad..... No Gubernamental: Cooperativa..... ONG..... Asoc. de productores.....

1.2. Pertenece a algún tipo de organización? No / Si ¿A qué nivel? (comité, asociación, cooperativa, etc.).....  
.....

2. Actividades de producción

Actividades principales	Actividad	Superficie (ha) de la propiedad que ocupa c/actividad	% del ingreso total proporcionado por c/actividad
Primera			
Segunda			
Tercera			

2.1. Cultivos

2.1.1. ¿Qué cultivos permanentes posee? (aguacate, banano, frutilla, guayabo, cítricos, mamón, mango, piña, uva, tung, yerba mate, coco, etc.) ¿Qué área ocupa? ¿Cuánto produce? ¿Utiliza agroquímicos? ¿En qué época? ¿Qué dosis?

Cultivo	Superficie que ocupa/N° de árboles	Producción	Agroquímico	Época	Dosis

2.1.2. ¿Qué cultivos temporales posee (excluir hortalizas)? (algodón, arroz, ajo, caña de azúcar, girasol, maíz, mandioca, soja, trigo, tabaco, melón, sandía, ka'a he'e, etc.) ¿Qué área ocupa? ¿Cuánto produce? ¿En qué forma cultiva? Para el desarrollo de los cultivos: ¿Qué tipo de agroquímicos utiliza? ¿En qué época? ¿En qué dosis?

Cultivo	Superficie que ocupa	Producción	Forma de cultivo		Agroquímico	Época	Dosis
			Solo	Asociado con			

2.1.3. ¿Qué hortalizas posee? (tomate, lechuga, zanahoria, locote, repollo, pepino, perejil, etc.) ¿Qué área ocupa? ¿Cuánto produce? ¿En qué forma cultiva? ¿Utiliza agroquímicos? ¿En qué época? ¿En qué dosis?

Hortaliza	Superficie que ocupa	Producción	Forma de cultivo		Agroquímico	Época	Dosis
			Solo	Asociado con			

2.1.4. ¿Qué cultivos forrajeros posee? (pasto colonial, caña de azúcar forrajera, bracharia, setaria, pangola, pasto elefante, etc.) ¿Qué origen tiene? (nativo, cultivado) ¿Qué área ocupa? ¿Cuánto produce? ¿Utiliza agroquímicos? Si / No ¿En qué época? ¿En qué dosis? ¿En qué forma suministra el forraje a los animales?

Pasto	Origen		Superficie que ocupa	Producción	Agroquímicos que utiliza en la producción	Época	Dosis	Forma de suministro	
	Nativo	Cultivado						Pisoteo	Corte

2.2. ¿Posee superficie de bosque en la propiedad? (plantaciones forestales, bosques naturales) No / Si ¿Qué superficie ocupa/Cuántos árboles posee?.....  
 .....

### 2.3. Animales

2.3.1. ¿Qué animales posee? ¿Cuántos? ¿A qué destina la producción?

Tipo de ganado	Cantidad de animales	Destino de la producción	
		Consumo interno	Venta
Vacunos			
Equinos			
Ovinos			
Caprinos			
Porcinos			
Burros, mulas			
Aves de corral			

2.3.2. Si se destina a la venta: ¿Qué superficie destina a la producción animal? ¿Cuánto produce? (kg. carne por animal/lt. leche por animal) ¿Realiza algún tratamiento de los desechos animales? ¿En qué consiste el tratamiento?

Tipo de ganado	Superficie que ocupa	Producción	Trata los desechos		Tipo de tratamiento
			Si	No	
Vacunos					
Equinos					
Ovinos					
Caprinos					
Porcinos					
Burros, mulas					
Aves de corral					

### 3. Resumen del uso de la tierra

Clasificación de la Tierra según uso		Superficie que ocupa (ha)
Tierra dedicada a cultivos permanentes		
Tierra dedicada a cultivos temporales	Cultivos agrícolas	
	Hortalizas	
Tierra dedicada a pasturas	Praderas naturales (pastura nativa)	
	Praderas cultivadas (pastura artificial)	
Tierra dedicada a bosques	Montes naturales	
	Plantaciones forestales	
Tierras en barbecho y en descanso (cocuéré)		
Otros usos (caminos, construcciones, corrales, ríos, arroyos, tajamares)		
Superficie total de la explotación		

4. Manejo del recurso suelo

- 4.1. Tracción de la finca: mecánica / animal / humana
- 4.2. Sistema de labranza: siembra directa / labranza mínima / siembra convencional
- 4.3. Sistema de producción: asociación de cultivos / rotación de cultivos / monocultivos
- 4.4. Prácticas edáficas: quema / abono verde / abono químico / abono orgánico / encalado
- 4.5. Prácticas vegetativas: reforestación / cultivos en faja / cercas vivas
- 4.6. Prácticas mecánicas: curvas de nivel / terrazas / control de cárcavas

5. Manejo del recurso agua

5.1. ¿Cuáles son las fuentes de agua para los diferentes usos (humano, animal, agrícola)?

Fuentes de agua	Uso del agua				
	Humano	Animal	Agrícola		
			Riego	Disolución de agroquímicos	Lavado de pulverizadores
Agua corriente (tuberías) - Junta de Saneamiento					
Pozo					
Aguatería					
Directamente desde un cauce natural (río, arroyo, ycuá)					
Colectores especiales (pozo, aljibe, tanque, barril)					
Abastecedores comunitarios					

5.2. ¿Cómo transporta el agua?

Mecánico (tuberías, motobombas)	
Animal (carritos)	
Humano (a pie en baldes)	

5.3. ¿Posee algún cuerpo de agua natural en la propiedad (río, arroyo, ycuá)? No / Sí. En caso de poseer, ¿lo protege manteniendo cobertura vegetal en los márgenes? ¿hasta cuántos metros del cause mantiene la cobertura vegetal?.....

6. Manejo de residuos

6.1. ¿Realiza algún tipo de tratamiento de los residuos líquidos? ¿Dónde vierte?

Residuos de uso	Tratamiento		Vertido de aguas servidas		
	Sí	No	Pozo séptico (ciego)	Directamente al suelo/patio	Directamente a un cauce de agua
Humano					
Animal					
Agrícola					

En caso de realizar algún tipo de tratamiento de las aguas servidas, ¿en qué consiste?.....

6.2. ¿Realiza algún tipo de tratamiento de los residuos sólidos? ¿Dónde vierte?

Residuos de uso	Tratamiento		Vertido de basuras			
	Sí	No	Recolección pública o privada	Tira o entierra en el suelo	Quema	Tira a un cauce de agua
Humano						
Animal						
Agrícola						

En caso de realizar algún tipo de tratamiento de basuras, ¿en qué consiste?.....  
 .....

7. Opiniones personales del productor

7.1. ¿Cuáles son los principales problemas o limitantes que Ud. tiene como productor? (por orden de importancia)

- 1) .....
- 2) .....
- 3) .....

7.2. ¿Cuáles son los principales problemas que Ud. considera que existen en la comunidad a nivel general, tanto para la conservación de los RRNN como para el desarrollo socioeconómico? (por orden de importancia)

- 1) .....
- 2) .....
- 3) .....

Anexo 2. Listas de los participantes en los talleres realizados en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.

TALLER SOBRE MANEJO DEL RECURSO HIDRICO EN LA CUENCA DEL ARROYO CAPIIBARY PARA LA CONSERVACIÓN DEL ACUÍFERO GUARANÍ

Fecha: ...9.../06/2005

Lugar: Casa de la familia Izaza.

Departamento: Itapúa Distrito: Obligado. Localidad: San Roque.

Grupo de participantes: comité Nequarekavo (de agricultores) y comité Mujeres Unidas.

Lista de participantes

Nº	Nombre y apellido	Edad	Lugar de procedencia	Firma
1	DANIEL GAMARRA	62	Obligado.	Daniel Gamarra
2	ALBERTO MARTÍNEZ.	39	"	Alberto Martínez
3	RUFINO ESCOBAR	59	"	Rufino Escobar
4	TROADO ESCOBAR	52	Alto Verá.	Troado Escobar
5	GUILLERMO MEZA.	37	Obligado.	Guillermo Meza
6	LAUDELINO MARTÍNEZ.	20	Alto Verá.	Laudelino Martínez
7	CAROLINA ESCOBAR	18	Alto Verá.	Carolina Escobar
8	BEATRIZ MARTÍNEZ.	33	Obligado.	Beatriz Martínez
9	AGUSTÍN ORTÍZ.	35	Obligado.	Agustín Ortiz
10	ANTONIO AMARILLA	42	Alto Verá.	Antonio Amarilla
11	ELEUTERIO BÁEZ.	40	Obligado.	Eleuterio Báez
12	AURORA VELAZQUEZ.	56	Alto Verá.	Aurora Velazquez
13	AURELIO DE IZAZA	39	Obligado.	Aurelio de Izaza
14	MIRTA DE IZAZA	32	Obligado.	Mirta de Izaza
15	IRMA ESCOBAR	27	Alto Verá.	Irma Escobar
16	EMA MARTÍNEZ.	22	Alto Verá.	Ema Martínez
17	<del>ESTE</del> CRISTINA FERNÁNDEZ.	51	Obligado.	Cristina Fernández
18	SUSANA RIVAS	46	Alto Verá.	Susana Rivas
19	CELIA SOLÍS.	28	Alto Verá.	Celia Solís
20				



TALLER SOBRE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL ARROYO CAPIBARY PARA LA CONSERVACIÓN DEL ACUÍFERO GUARANÍ

Fecha: 10/06/2005

Lugar: Escuela Agrícola San Benito

Departamento: Itapúa Distrito: Obligado Localidad: Pastorea

Grupo de participantes: Alumnos del 3º curso (B.T.A.)

Lista de participantes

Nº	Nombre y apellido	Edad	Lugar de procedencia	Firma
1	Fidelina Cristofalo	19 (20)	Bella Vista - Vacay	[Firma]
2	Louces Ozorio	18	Caronay	[Firma]
3	Felix Brito	18	Obligado	[Firma]
4	Tommy Cruz	18	Natalia km. 10	[Firma]
5	Sirlei C. Schneider B.	19	Alto Vera	[Firma]
6	Cynthia Araujo Falcon	17	Pastorea - Canteru	[Firma]
7	Sonara Teresinha Kraemer	18	Alto Vera	[Firma]
8	Brigida Alicia Centurion Garcia	20	Pastorea -	[Firma]
9	Zoraida Rosana Figueroa G.	18	Bella Vista - Vacay	[Firma]
10	Carina Beatriz Noyes S.	17	San Pedro del Parana	[Firma]
11	Luz Mariana Alarcon Enciso	17	Bella Vista Aca Caraya	[Firma]
12	Emilia Villalba Morinigo	17	Santa Rosa Visiones -	[Firma]
13	Hermia Minio Ozorio	19	Pirapo Centro	[Firma]
14	Maria Carolina Sambucetti H.C.	19	Capitan Miranda	[Firma]
15	Leccia Sambucetti C.	17	Capitan Miranda	[Firma]
16	Lucy Virginia Aquino S.	18	Calle A-5 Cerro Encarnacion	[Firma]
17	Eustana Aquino	19	Calle A-5 Cerro Encarnacion	[Firma]
18	Arastu Centurion	17	Natalia km. 10	[Firma]
19	Gergio J. Vera Lopez	18	Arq Tomas B. Pereira	[Firma]
20	José Juan Cubilla Fagonia	17	Pirapo	[Firma]
21	Antonio Morinigo	18	Alto Vera	[Firma]
22	José Florentín	18	Bella Vista	[Firma]
23	Alcides Recalta	20	Obligado (Cantera)	[Firma]
24	Jorge Mario Vera O.	20	Edelina km 42	[Firma]
25	Pedro Morales	20	Obligado (Cantera)	[Firma]
26	Héctor Cabrera	19,5	Obligado	[Firma]
27	Julio Heitor D.	19,5	Fram	[Firma]
28	Uladimir Franco	18	Fram	[Firma]
29	Enzo Aguilar	18	Obligado km 42	[Firma]
30	Nelson Silvero	17	Fram	[Firma]
31	Juan Carlos Ortiz	18	Obligado	[Firma]
32	Hugo Arce	18	Alto Vera	[Firma]
33	Diosel Dejesús Giménez	17	Calle A-5 (Cerrito) Encarn	[Firma]
34	Marciano Andino Alegre	19	Yatyty - Bonares	[Firma]
35	Denis Fabian Molinas	21	Edelina	[Firma]
36	Claudio Acosta Chayon	17 (27)	Curugvaty - Canindeyu	[Firma]
37	Daniel Slaughter	21 (27)	Alto Vera	[Firma]
38	Elvio Ibarra	21	Obligado	[Firma]
39	Luis Miguel Cabarez	17	Maria Ruvildoro	[Firma]
40	Ricardo Matthias	21	Caronay Alto Vera	[Firma]
41	Isabelino Martinez	21	Obligado	[Firma]
42	Marcial Cabral Almada	18	San Pedro del Parana	[Firma]
43	Juan Fayos	20	Yatyty (Itapua)	[Firma]
44	Quilo Hernandez Vera	18	Obligado	[Firma]
45	Josuaricio Klaus Budinger	17	Alto Vera	[Firma]
46				

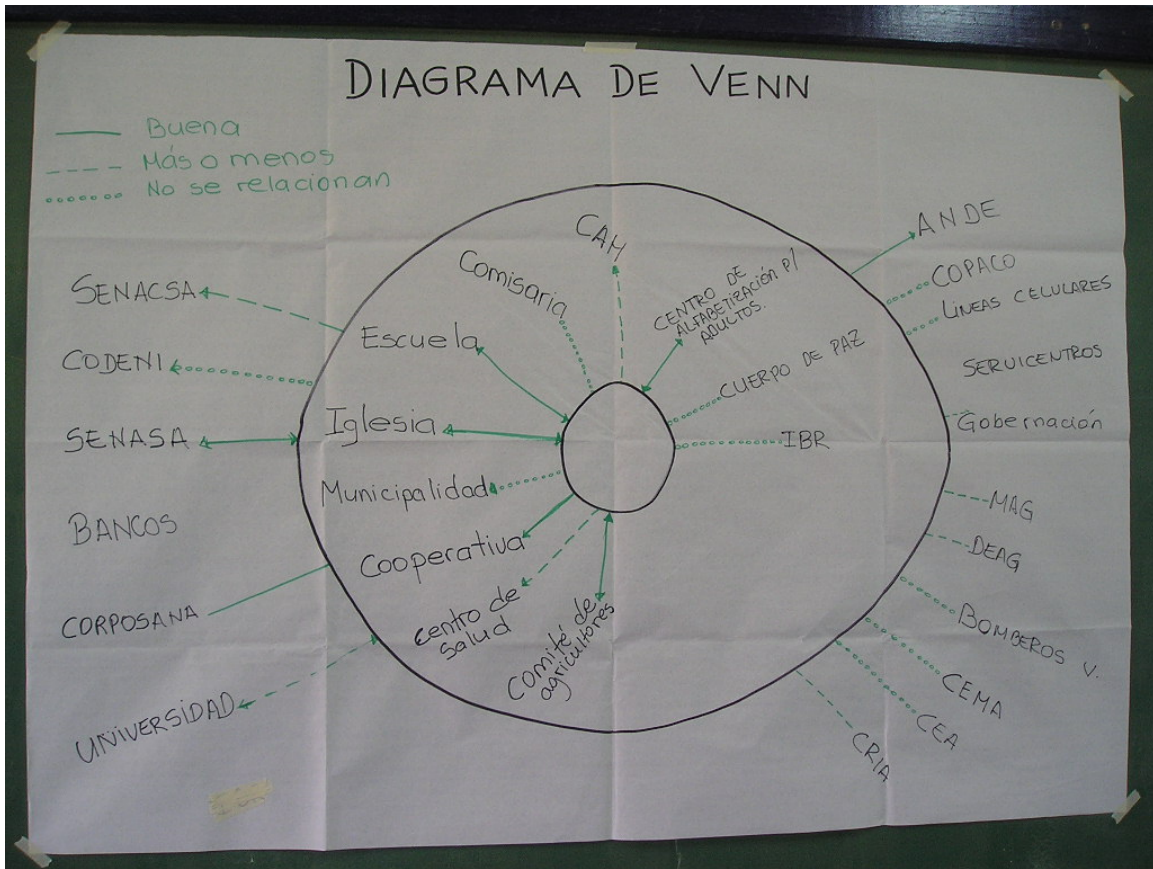
TALLER: MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL AO CAPIBARY PARA LA CONSERVACIÓN DEL ACUÍFERO GUARANÍ.

Fecha: 24/06/2005 Distrito: Jesús Localidad: Carumbey.

PARTICIPANTES: COMITÉ DE MUJERES "KUNARORY".

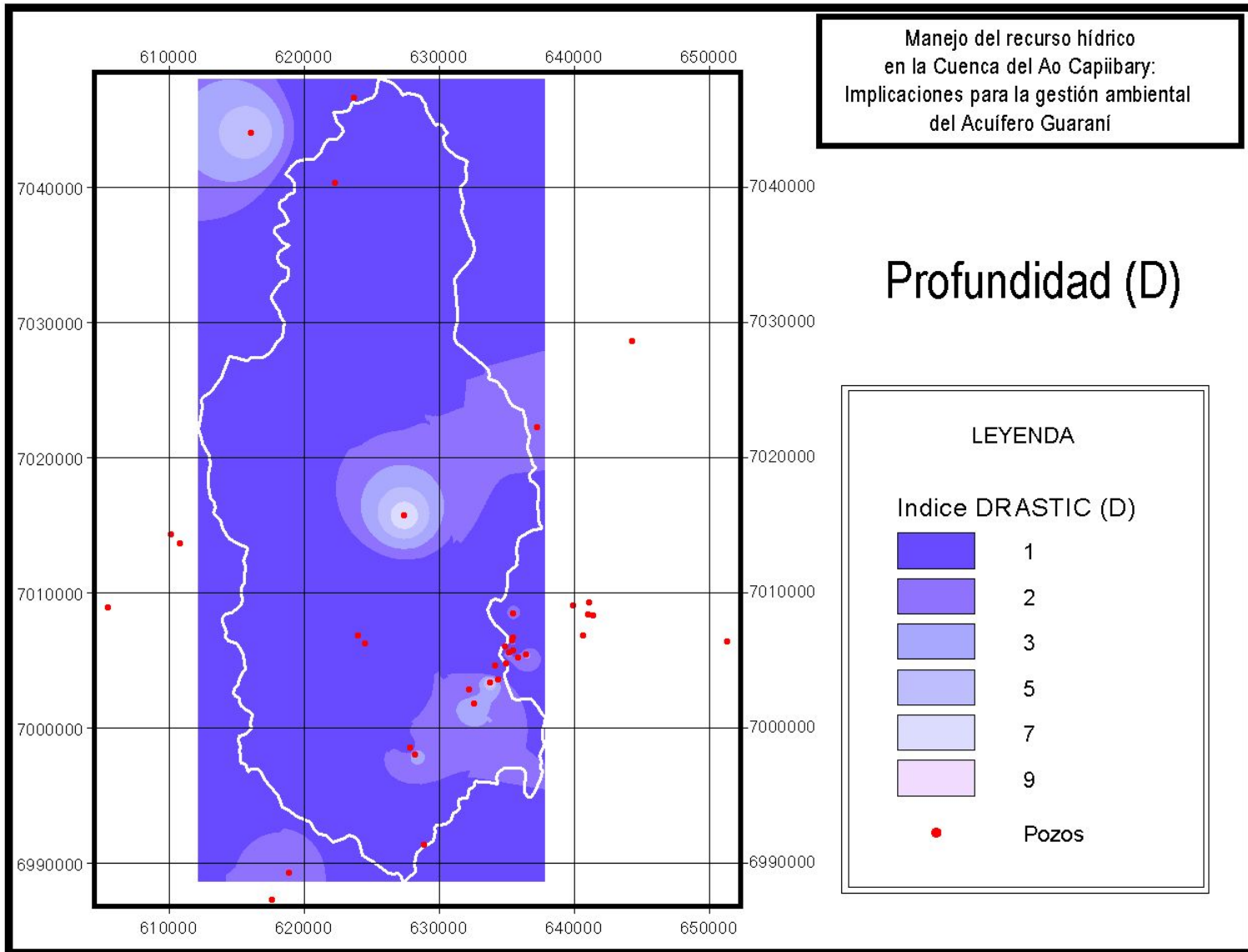
Nombre y apellido	Edad.	Lugar de procedencia	Firma
1) Cristina San Juan Lopez	46	Carumbey	Cristina L. de Lopez
2) Rufina Segura	42	Carumbey	Rufina Segura
3) Estela León	40	Carumbey	Estela León
4) Peda Acevedo	34	Carumbey	Peda Acevedo
5) Bonifacia Cocero	28	Carumbey	Bonifacia Cocero
6) Teodora Sanabria	45	Carumbey	Teodora Sanabria
7) Nilda Andino	15	Carumbey	Nilda Andino
8) Selia Jeda	24	Carumbey	Selia Jeda
9) Hilaria Rojas	15	Carumbey	Hilaria Rojas
10) Zenilda Sanabria	18	Carumbey	Zenilda Sanabria
11) Alba Gonzalez	22	Carumbey	Alba Gonzalez
12) Noelia Aralos	23	Carumbey	Noelia Aralos
13) Estela Andino	40	Carumbey	Estela Andino
14) Zulma Lorrion	17	Carumbey	Zulma Lorrion
15) Higinio Sanabria	13	Carumbey	Higinio Sanabria
16) Gregoria Gonzalez	13	Carumbey	Gregoria Gonzalez
17) Marcelina Cruz	44	Carumbey	—

Anexo 3. Diagrama de Venn, taller realizado con los alumnos de la Escuela Agrícola San Benito.

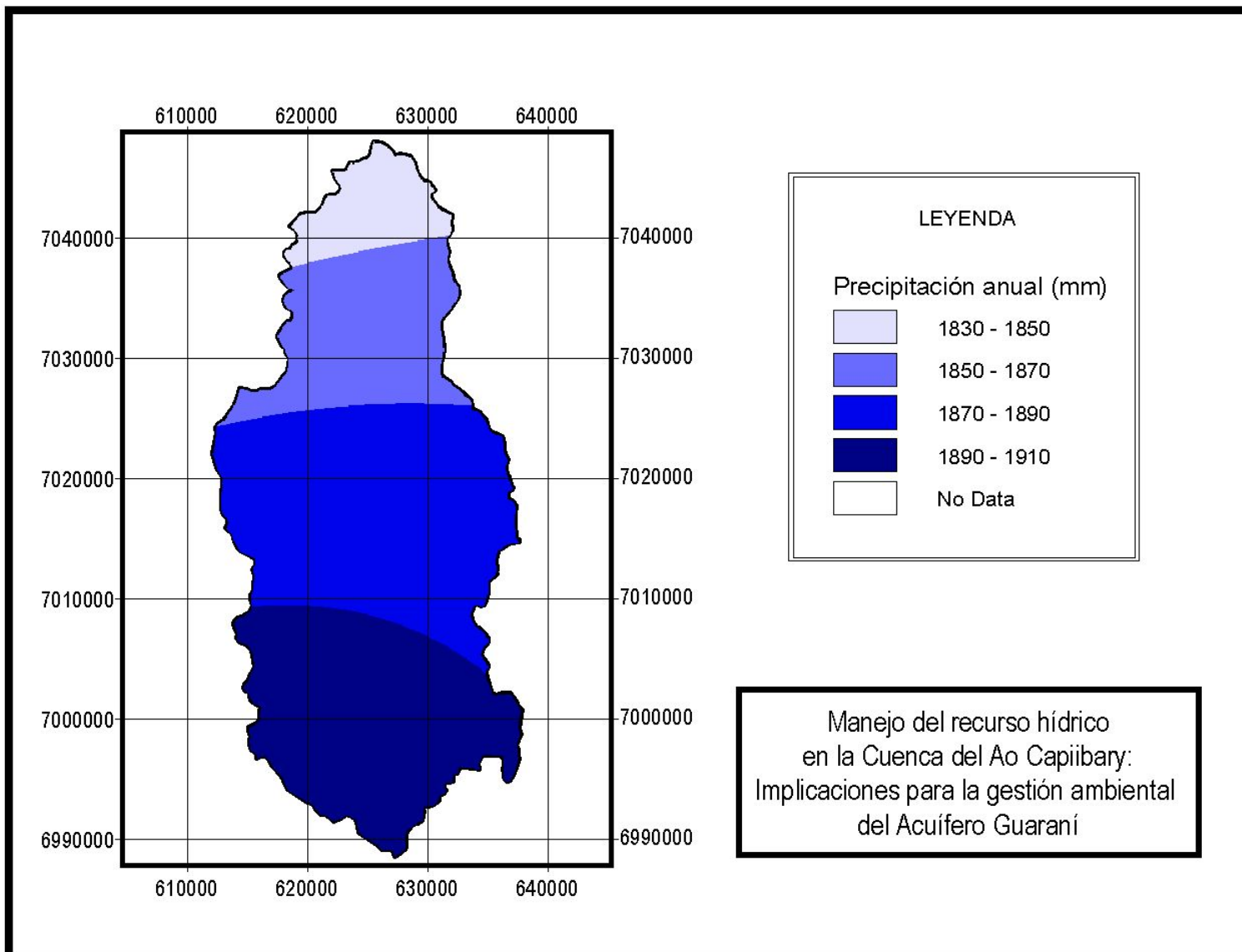


- ANDE: Administración Nacional de Electricidad.
- CAH: Crédito Agrícola de Habilitación.
- CEA: Confederación Educativa Agropecuaria.
- CEMA: Centro de Mecanización Agrícola.
- CODENI: Consejo Municipal por los Derechos de los Niños.
- COPACO: Compañía Paraguaya de Comunicaciones.
- CORPOSANA: Corporación de Obras Sanitarias, actualmente: ESSAP.
- CRIA: Centro Regional de Investigación Agrícola.
- DEAG: Dirección de Extensión Agropecuaria.
- ESSAP: Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay.
- IBR: Instituto de Bienestar Rural, actualmente: INDERT.
- INDERT: Instituto Nacional de Desarrollo Rural y de la Tierra.
- MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- SENACSA: Servicio Nacional de Salud Animal.
- SENASA: Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental.

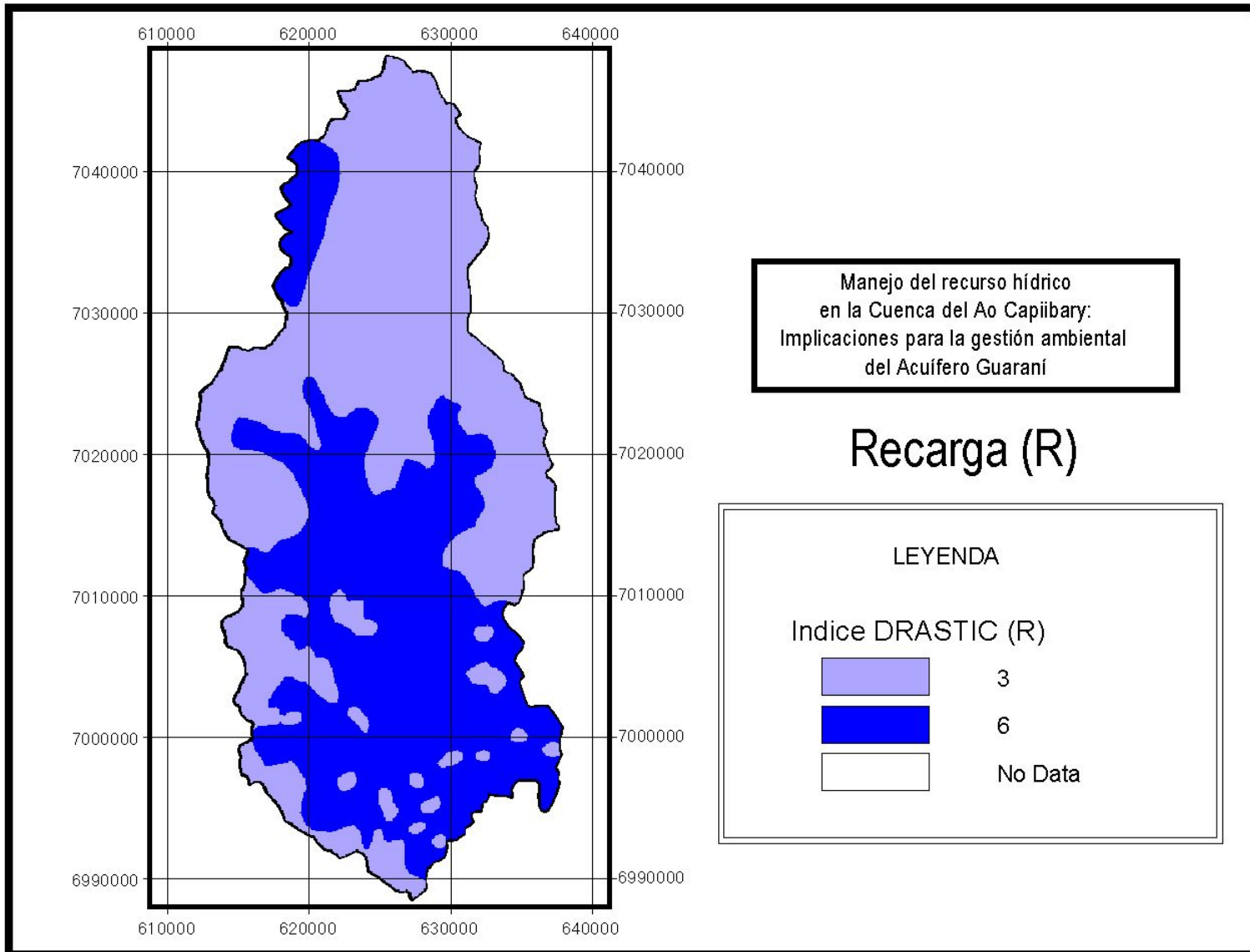
Anexo 4. Clasificación de índices DRASTIC para la profundidad (D) y distribución de los pozos en la zona de estudio.



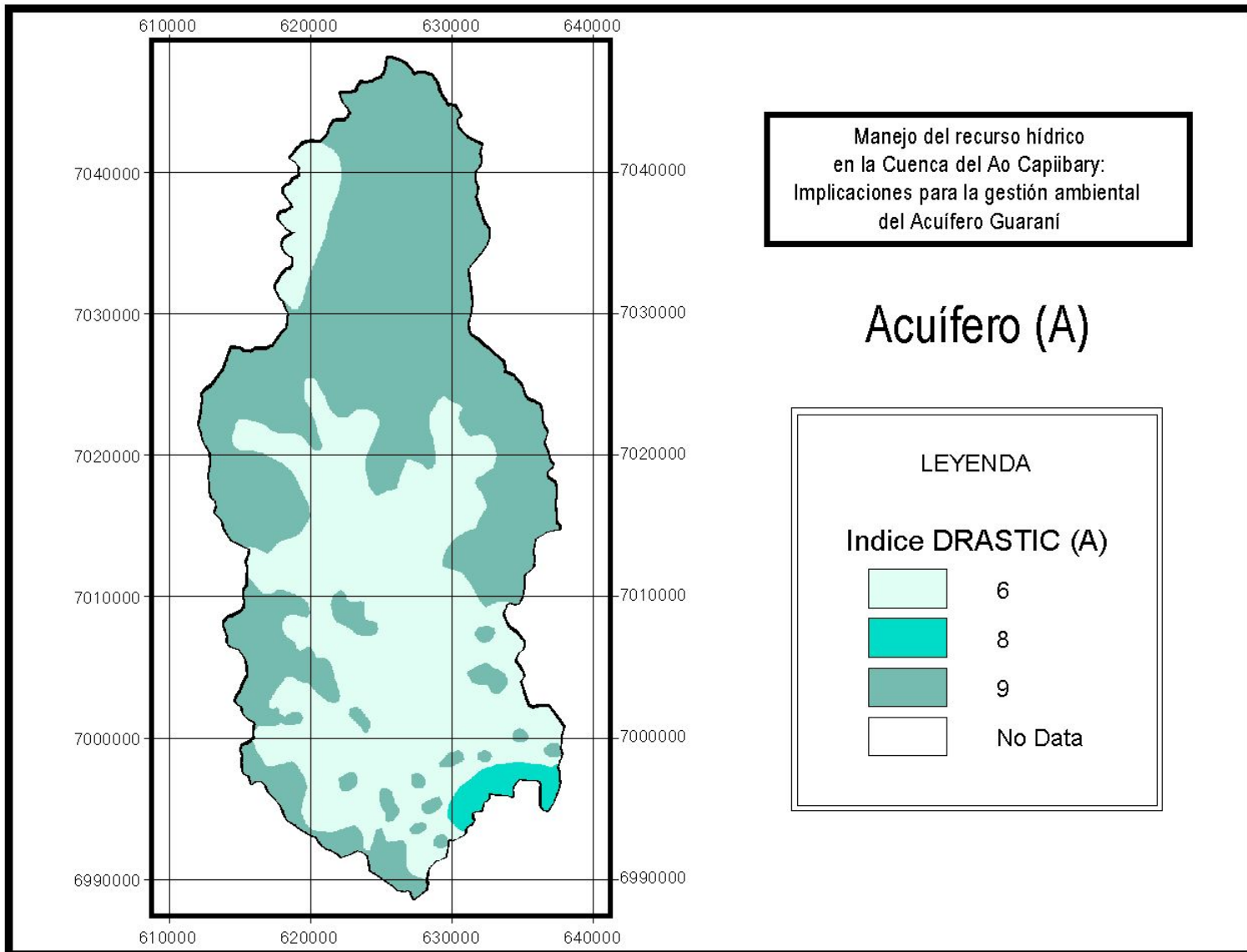
Anexo 5. Precipitación promedio anual en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay.



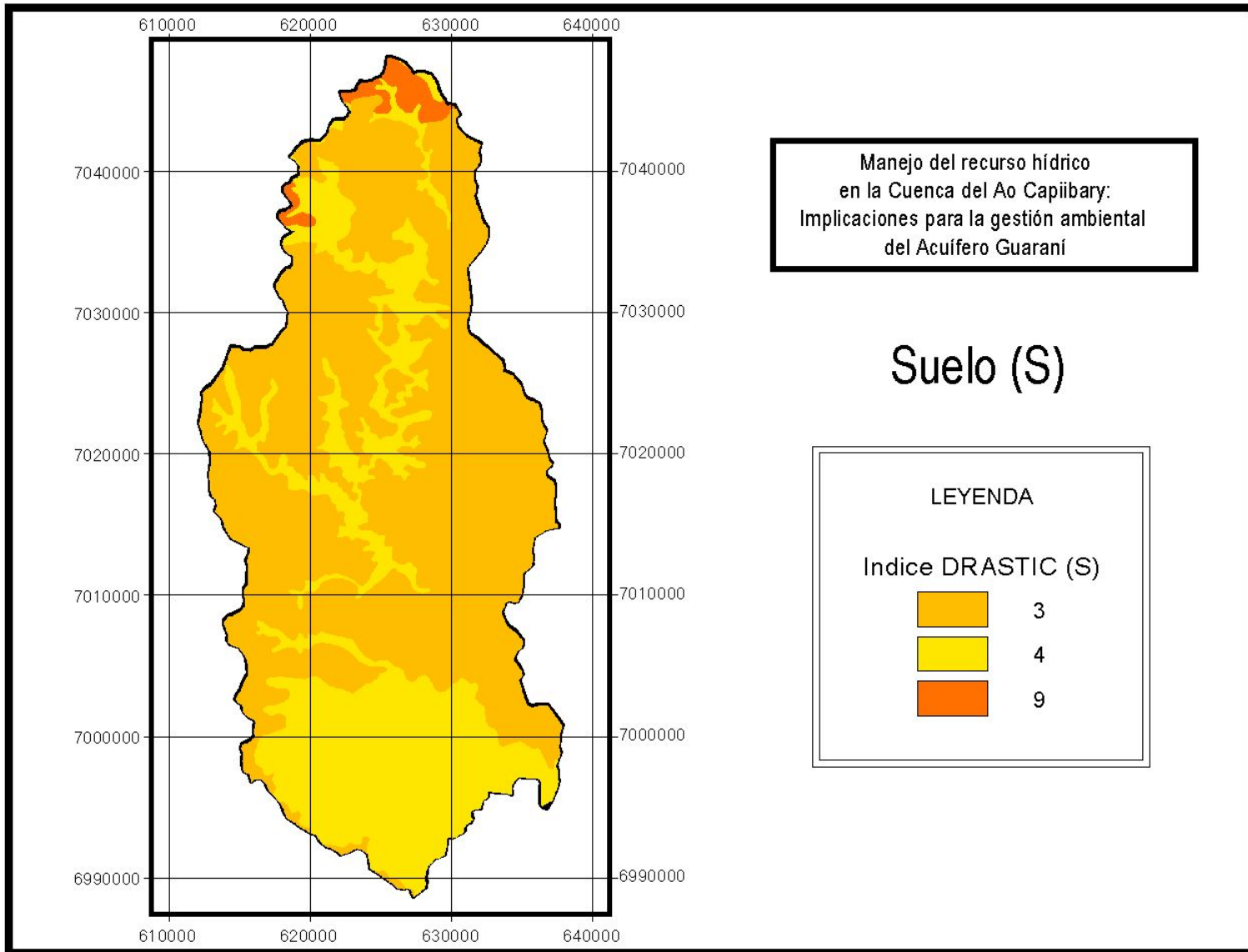
Anexo 6. Clasificación de índices DRASTIC para la recarga (R).



Anexo 7. Clasificación de índices DRASTIC para el tipo de acuífero (A).

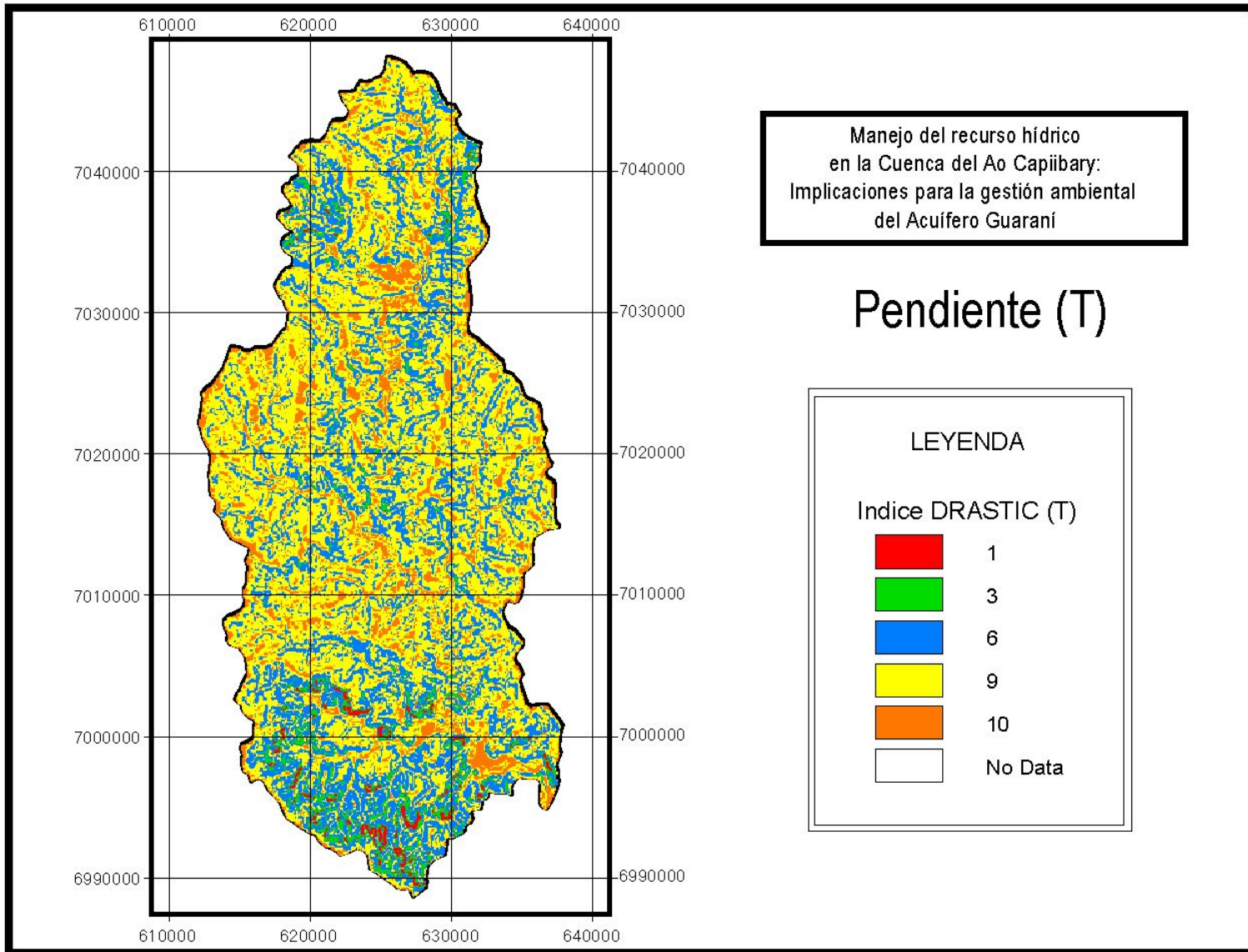


Anexo 8. Clasificación de índices DRASTIC para el tipo de suelo (S).





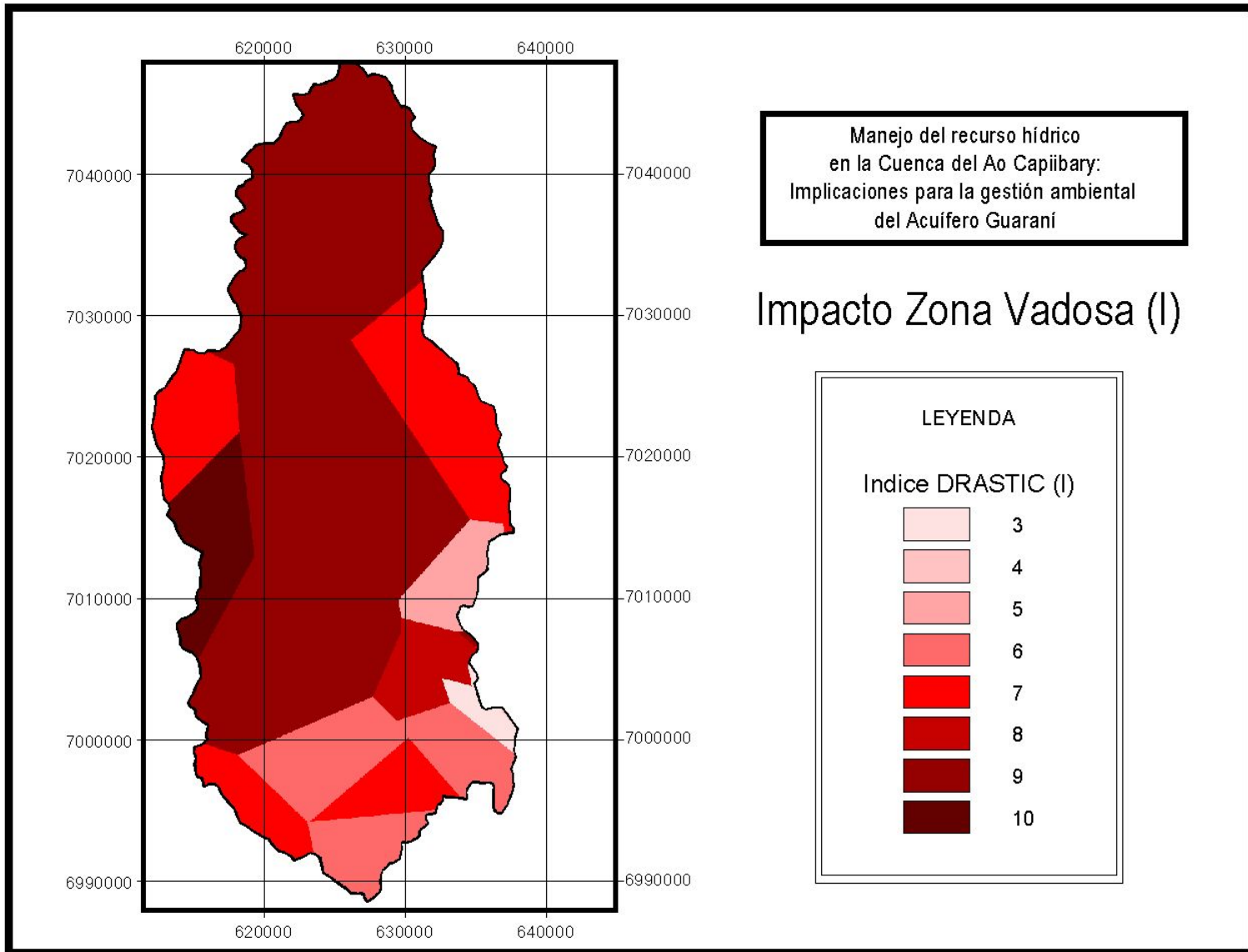
Anexo 9. Clasificación de índices DRASTIC para la pendiente (T).



Anexo 10. Ubicación (distrito y coordenadas UTM), nivel estático (NE) y promedio ponderado del material existente en la zona vadosa según el perfil litológico de cada pozo y su respectiva clasificación según los índices DRASTIC.

Distrito	X	Y	NE (m)	% de arcilla	Indice	% de arenisca/ arenisca y lutita	Indice	% de arena y grava	Indice	% de basalto	Indice	Indice DRASTIC
Cap. Miranda	618851	6989244	24,50	0	3	73	6	0	8	27	9	6,77
Cap. Miranda	617632	6987257	25	64	3	0	6	0	8	36	9	5,16
Bella Vista	641408	7008282	0	0	3	0	6	0	8	0	9	0
Hohenau	633779	7003373	3,80	100	3	0	6	0	8	0	9	3
Hohenau	634102	7004601	69,30	19	3	0	6	0	8	81	9	7,86
Hohenau	634943	7004755	30	100	3	0	6	0	8	0	9	3
Jesús	624478	7006221	65	5	3	0	6	0	8	95	9	8,70
Trinidad	627813	6998506	35	0	3	94	6	6	8	0	9	6,12
Trinidad	628221	6998028	18	0	3	72	6	28	8	0	9	6,56
Obligado	635200	7005597	2,80	100	3	0	6	0	8	0	9	3
Obligado	635439	7006670	98	2	3	0	6	0	8	98	9	8,88
Alto Verá	622302	7040321	51,22	0	3	0	6	0	8	100	9	9
Hohenau	632544	7001808	15	0	3	87	6	13	8	0	9	6,26
Obligado	627407	7015688	6	0	3	0	6	0	8	100	9	9
La Paz	610820	7013649	0	0	3	0	6	0	8	0	9	0
La Paz	610151	7014315	5,05	40	3	0	6	0	8	60	9	6,60
Alto Verá	616036	7044037	10	0	3	100	6	0	8	0	9	6
Alto Verá	623700	7046600	58	7	3	0	6	0	8	93	9	8,58
Trinidad	628871	6991319	75,50	8	3	75	6	17	8	0	9	6,10
Bella Vista	637219	7022217	28	0	3	57	6	0	8	43	9	7,29
Bella Vista	640651	7006813	7	0	3	100	6	0	8	0	9	6
Bella Vista	639938	7009016	9	0	3	78	6	0	8	22	9	6,66
Obligado	634867	7006014	51	14	3	0	6	0	8	86	9	8,16
Obligado	635425	7006430	10	40	3	0	6	0	8	60	9	6,60
Obligado	635482	7008464	26,50	60	3	0	6	0	8	40	9	5,40
Hohenau	632195	7002841	29	24	3	0	6	0	8	76	9	7,56
Obligado	635856	7005184	22	82	3	0	6	0	8	18	9	4,08
Obligado	635474	7005687	59	23	3	0	6	0	8	77	9	7,62
La Paz	605462	7008898	10	50	3	0	6	0	8	50	9	6
Bella Vista	651301	7006378	30	80	3	0	6	0	8	20	9	4,20

Anexo 11. Clasificación de índices DRASTIC para el impacto de la zona vadosa (I).



Anexo 12. Clasificación de índices DRASTIC para la conductividad hidráulica (C).

