



ORGANIZACIÓN DE LOS
ESTADOS AMERICANOS



PROGRAMA HIDROLÓGICO
INTERNACIONAL



PROYECTO:

**“PROGRAMA MARCO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS
RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL PLATA EN RELACIÓN
CON LOS EFECTOS HIDROGEOLÓGICOS DE LA VARIABILIDAD Y
EL CAMBIO CLIMÁTICO”**

**COMPONENTE:
“AGUAS SUBTERRÁNEAS”**

**SUB COMPONENTE
“INTERVENCIONES DEMOSTRATIVAS”**

**CASO DE ESTUDIO
UNESCO/OEA/ISARM Américas
SISTEMA ACUÍFERO YRENDA-TOBA-TARIJEÑO
PARAGUAY-ARGENTINA-BOLIVIA**

**AREA PILOTO
GRL. EUGENIO A. GARAY – LA TRICOLOR
PARAGUAY - BOLIVIA**

**Lic. Juan Luís Ríos Otero
Ing. Hernán Villena Gutiérrez**

Diciembre - 2004

ÍNDICE

1.	UBICACIÓN DEL AREA PILOTO PARAGUAY – BOLIVIA	1
2.	DESCRIPCIÓN DEL AREA DE INTERVENCIÓN	2
2.1	Aspectos socio-económicos	2
2.2	Problemáticas locales	2
3.	JUSTIFICACIONES	3
4.	IMPORTANCIA DE LAS INTERVENCIONES	3
5.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
6.	BENEFICIOS	5
6.1	Obtener Condiciones de Protección y Preservación de las Zonas más Frágiles del SAYTT	5
6.2	Disponer de Soluciones Apropriadas para un Uso Sostenible y Sustentable de los Recursos Hídricos.....	5
7.	SUB COMPONENTES	5
7.1	GEOLOGÍA GENERAL	5
7.1.1	Actividades	6
7.1.2	Productos	6
7.2	HIDROGEOLOGÍA GENERAL	7
7.2.1	Actividades	7
7.2.2	Productos	8
7.3	HIDROMETEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	9
7.3.1	Actividades	9
7.3.2	Productos	9
7.4	VULNERABILIDAD Y RIESGO DE CONTAMINACIÓN	10
7.4.1	Actividades	10
7.4.2	Productos	11
7.5	RECARGA ARTIFICIAL Y CAPTACIONES	11
7.5.1	Actividades.....	12
7.5.2	Productos.....	12
7.6	MONITOREO Y CONTROL	12
7.6.1	Actividades.....	13
7.6.2	Productos.....	13
7.7	S.I.T. (SISTEMAS INFORMATIVOS TERRITORIALES)	14
7.7.1	Actividades	14
7.7.2	Productos	14
7.8	COMUNICACION SOCIAL/EDUCACION AMBIENTAL/ANALISIS DE LAS NORMATIVAS	14
7.8.1	Actividades	15
7.8.2	Productos	15
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

9.	CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO	17
	Cronograma de Actividades y Costos por Intervención	18
	Presupuesto Estimativo por Categoría de Gasto	20
	Glosario de Siglas	21

INTERVENCIONES DEMOSTRATIVAS N° 1

INTERVENCIONES PARA LA OPTIMIZACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LA RECARGA INDUCIDA, MEJORES OBRAS DE CAPTACIÓN/ALMACENAMIENTO Y PROPUESTAS PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO A LA CONTAMINACIÓN DE LOS ACUÍFEROS, EN ZONAS DE RECARGA Y CAPTACIÓN

GRAL. E. A. GARAY-LA TRICOLOR

PARAGUAY – BOLIVIA

1. UBICACION DEL AREA PILOTO

El área piloto fue propuesta por los representantes de Paraguay y Bolivia. La parte paraguaya se encuentra en el Departamento de Boquerón, limitando al Norte con la localidad de Gral. E. A. Garay al Sur con la localidad de Infante Rivarola, al Este con el meridiano 62° y al Oeste con la frontera paraguayo-boliviana.

La porción boliviana abarca al Norte: el sector Norte y Sur de los Departamentos de Tarija y Chuquisaca respectivamente, al Sur se extiende hasta la localidad de Ibibobo, al Este limita con la frontera paraguayo-boliviana y hacia el Oeste con la serranía del Aguaragüe.

La extensión determinada es de 5.950 Km.² aproximadamente, distribuidos de la siguiente manera: en el sector boliviano 4.200 Km.² (70,6%) y en el sector paraguayo 1.750 Km.² (29,4%).

Área Piloto Gral. E. A. Garay-La Tricolor	
PARAGUAY	BOLIVIA

62° 16' 09"	20° 34' 37"	62° 15' 19"	21° 00' 00"
62° 09' 28"	20° 24' 57"	62° 15' 19"	21° 01' 00"
62° 09' 28"	21° 31' 00"	62° 24' 24"	21° 31' 10"
62° 24' 50"	21° 31' 00"	63° 00' 00"	21° 00' 00"
62° 15' 36"	21° 37' 19"	63° 00' 00"	21° 31' 10"
62° 15' 44"	21° 00' 00"		

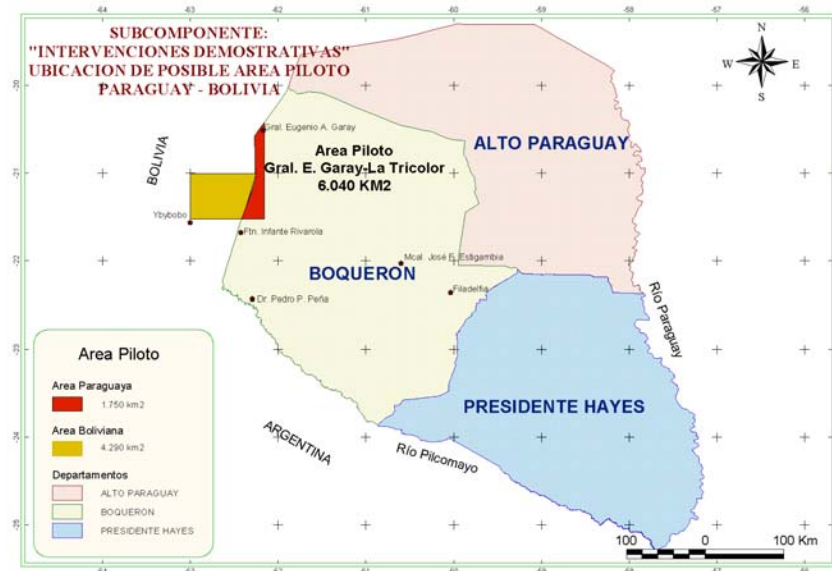


Fig. 1 Ubicación del área de estudio Gral. E. A. Garay-La Tricolor

2. DESCRIPCION DEL AREA DE INTERVENCION

El área interesa, en su conjunto, el sector de recarga, enclavado en territorio boliviano, y una zona rica de acuíferos de agua dulce, que se ubican en territorio paraguayo. El espesor de los horizontes productivos es desconocido y por ende la reserva calculada de esta zona son meramente estimativos; la zona de recarga está caracterizada por cauces antiguos o paleocauces, y por geformas modernas modeladas por los conos aluviales de los principales ríos de la región.

2.1 Aspectos socio-económicos

Solamente el Chaco central paraguayo tiene una demanda de cerca de 5.000 m³ por día (1.825.000 m³/año), incluyendo consumo doméstico, industrial, comercial y público, no incluye el uso agropecuario ni de riego.

Según Godoy, 1990 la demanda anual por ganado en el Chaco paraguayo es de aproximadamente 18.25 m³/año.

2.2 Problemáticas locales

En general los pobladores de la región se abastecen de agua subterránea, mediante la explotación de pozos, la calidad y la cantidad de agua de estos pozos difieren de un punto a otro y de una determinada profundidad a otra.

En los últimos tiempos, a causa del aumento de la demanda y de la regresión de los volúmenes captados, se ha extendido el abastecimiento mediante camiones cisterna, lo que hace mas gravoso el costo por m³ de agua y aumenta el riesgo de contaminación hídrica.

Por lo tanto es necesario investigar los acuíferos más profundos, es decir los situados por debajo de los 300 m, con la finalidad de asegurar agua de buena calidad, sin contaminación, con una dotación sostenible, segura y continua, avizorando mejores niveles de vida para los habitantes de la zona y de los sectores más alejados del acuífero de agua dulce.

Todas las poblaciones y centros ganaderos dispersos en la región de estudio y fuera de ella se abastecen prácticamente de agua subterránea, pues la presencia de aguas superficiales en la zona es casi nula. El número de pozos en el área de influencia supera probablemente los 150, se considera que es la región con la mayor cantidad de perforaciones profundas por Km² en todo el Chaco, sobretodo por el lado paraguayo.

Las aguas extraídas varían en su calidad química y también tienen diferentes destinos, dado que su consumo, humano, ganadero o agrícola, depende de la concentración de sales presentes.

3. JUSTIFICACIONES

Las porciones subterráneas de una cuenca pueden estar interconectadas a través de macizos montañosos y es común que existan sistemas de flujo regionales que se extiendan en dos o más cuencas hidrográficas. Sin embargo, no siempre es práctico ni necesario considerar unidades tan extensas y complejas para la administración de las aguas subterráneas; por una parte, en el subsuelo los fenómenos hidrológicos ocurren con gran lentitud, comparados con los fenómenos análogos en superficie; por otra, en los sistemas regionales, los efectos provocados por la recarga o la extracción mediante pozos pueden tardar muchos años en propagarse hasta sitios distantes del mismo sistema.

La región del Chaco boliviano/paraguayo es una de las zonas con menor precipitación pluvial, lo cual incide en la escasez de cursos de agua superficial, siendo necesaria la explotación de los recursos hídricos subterráneos.

La oferta de agua no depende exclusivamente de los procesos naturales, sino que está también en función de las acciones humanas, mejorando estas últimas es posible aumentar dicha oferta a través de la construcción de obras de infraestructuras como, barreras hidráulicas, represas, diafragmas de subcauces, tanques de almacenamiento, creación de condiciones para mejorar la recarga natural de los acuíferos y procesos de reciclado o fitodepuración de las aguas.

4. IMPORTANCIA DE LAS INTERVENCIONES

La temporabilidad señalada de la oferta y la demanda, obligan a estudiar estos factores bajo condiciones extremas y, consiguientemente proyectar y dimensionar intervenciones idóneas y en línea con las exigencias y características del área y de la población.

No se puede pretender el desarrollo de la zona sin antes pensar que el uso de los recursos hídricos subterráneos debe ser planificado y estructurado en forma sustentable teniendo en cuenta la vulnerabilidad y fragilidad del suelo chaqueño.

Concretamente en la zona objeto piloto, por sus características hidrogeológicas, climáticas, geomorfológicas y poblacionales, se ha pensado en unas intervenciones que conllevan:

- a) Recarga inducida obtenida, tras un profundo estudio geo-hidrometeorológico, deprimiendo los acuíferos subyacentes al cauce del río, creando así un espacio disponible para almacenar un volumen importante de agua que, normalmente, se “pierde” por escorrentía superficial y no puede ser recuperado.
- b) Transporte del agua bombeada utilizando un sistema de tuberías o reinyectándola, mediante pozos, por caída natural, en el interior de acuíferos más profundos y/o en áreas con menor potencial hidráulico. De ahí el agua será extraído mediante el uso de pozos, tradicionales o radiales¹, y almacenada en cisternas semi enterrada, pre fabricadas en cemento, de gran capacidad (12-18.000 m³) y bajo costo (alrededor de 300-350 US\$ c/u.)

Para el desarrollo de estas intervenciones es necesario realizar una serie de estudios que serán descritos en el párrafo 7 (Actividades).

5. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a) Determinar la potencialidad del acuífero de agua dulce.
- b) Cuantificar o estimar los volúmenes de recarga y descarga del acuífero y su distribución espacial en el interior del área demostrativa.
- c) Definir el grado de vulnerabilidad de los acuíferos de la zona de recarga.
- d) Establecer criterios de protección de la zona de recarga natural, de las áreas destinadas a la recarga inducida y de aquellas que interesan las obras de captación.
- e) Proponer acciones dirigidas a la mitigación de los eventos extremos, debidos a la alternancia de sequía e inundaciones.
- f) Realizar las obras necesarias para favorecer la recarga inducida, mejorar la recarga natural y optimizar los métodos de extracción y almacenamiento de las aguas subterráneas para demostrar la validez de las intervenciones propuestas.
- g) Exportar las metodologías y los resultados obtenidos a otros sectores, en el contexto de los acuíferos pede-andinos que se encuentran al interior de la Cuenca del Plata.
- h) Capacitar administradores, técnicos y empleados de la función pública en la lectura e interpretación de los mapas temáticos y de los resultados, en el funcionamiento y mantenimiento de las infraestructuras realizadas.

¹ Un pozo radial es una perforación de 5 a 6 m de diámetro interior que cuenta con un protección de concreto reforzado. A la profundidad adecuada se construyen perforaciones horizontales de 8” a 10” de diámetro y hasta 60 m de longitud, perforaciones que se protegen con un tubo ranurado que funciona como cedazo.

- i) Educar la población en todas sus partes –urbana y rural – en una conciencia del agua, dirigida hacia su utilización racional y su protección, incluyendo la forma de conservación para evitar la contaminación en los depósitos y en la fase de transporte.

6. BENEFICIOS

El estudio y realización de las intervenciones operativas y prácticas, en el área elegida, deberá expandir la base de datos, consolidar el conocimiento actual del acuífero y aportar mayores y mejores volúmenes para el suministro total o complementario de agua potable para los pobladores que habitan la región. Además se tendrán planes específicos para:

6.1 Obtener Condiciones de Protección y Preservación de las Zonas más Frágiles del SAYTT.

Para lograr estos beneficios es menester la identificación, caracterización y el mapeo de las áreas potencialmente críticas, sujetas a polución, con énfasis en la zona de influencia del área de recarga, con el propósito de promover el desarrollo económico y social, en forma sostenible.

6.2 Disponer de Soluciones Apropriadas para un Uso Sostenible y Sustentable de los Recursos Hídricos.

El estudio del área piloto proporcionará los instrumentos más idóneos al fin de asegurar el suministro sostenible de agua de buena calidad, incidiendo así en:

- a) La reducción de la tasa de mortalidad del área de influencia, cuyo crecimiento en los últimos tiempos está estrictamente relacionado al consumo de agua contaminada de atajados o tajamares, utilizado indistintamente por humanos y animales.
- b) En el desarrollo socio-económico del área.
- c) En la preservación del medio ambiente.
- d) En la paz social.

7. SUB COMPONENTES

7.1 GEOLOGÍA GENERAL

Se desarrollará una estrecha coordinación entre las partes involucradas, que implicará la evaluación y articulación de la información existente, orientada a la caracterización integral del Sistema Acuífero Local (SAL). En particular modo tendrán que llevarse a cabo reconstrucciones detalladas de las secuencias estratigráficas, de las potencias de las formaciones y de los sistemas de fallas y fracturas.

La caracterización del área demostrativa, bajo el aspecto de esta sub componente, pasa esencialmente por el estudio de: límites, litología, estructuras tectónicas, geomorfología, geofísica y suelos. Hay que tomar en cuenta, como condicionantes, el posible vacío de

informaciones, a veces la baja confiabilidad de datos existentes y, en general, poca cantidad y distribución de los mismos en el espacio y en el tiempo.

La realización de mapas geológicos, geofísicos, geomorfológicos, paleohidrográficos de detalle (escala de 1:100.000 a 1:50.000) y de block diagrams tiene que ser particularmente tratados y precisos, para cumplir fehacientemente con los objetivos prefijados.

Se aconseja el uso y el análisis de imágenes satelitales de precisión y multiespectrales, apoyándose para estos fines al CONAE se pueden obtener óptimos resultados.

Para el aspecto puramente cartográfico es necesario establecer una estrecha relación con el CIC, coordinándose con los expertos que llevan a cabo la informatización cartográfica de la Cuenca del Plata.

7.1.1 Actividades:

- ❖ Recopilación de las Informaciones, Banco de Datos Regional y Fortalecimiento Técnico Institucional.
- ❖ Clasificar los suelos del área, determinando el grado de deterioro, si lo tuviera, ya sea por acciones naturales o antropogénicas.
- ❖ Correlacionar formaciones geológicas del área.
- ❖ Caracterizar la estructura geológica de la región y la geometría de los estratos que contienen al sistema acuífero.
- ❖ Reconstruir e las principales estructuras geológicas sobre la base de las stratigrafías y de las informaciones geo-estructurales.
- ❖ Coordinarse con el CIC para la informatización del los materiales cartográficos.
- ❖ Elaborar, evaluar e interpretar las informaciones geofísicas existentes, integrándolas en las áreas piloto, con otros datos de exploración geoelectrica más profundas.
- ❖ Efectuar perfilados vertical y horizontal para verificar y complementar datos stratigráficos puntuales.
- ❖ Delimitar, mediante prospecciones geoelectricas, electromagnetismo y sondeos, las áreas compartidas por agua dulce - salobre - salada y determinar la profundidad de contacto del Terciario – Cuaternario.

7.1.2 Productos

- ❖ Cortes y block diagrams regionales integrados.
- ❖ Mapas temáticos a escala regional (1:100.000 – 1:50.000).
- ❖ Mapas de suelos.
- ❖ Mapas geológicos y estructurales.
- ❖ Mapas de isopacas del techo y espesor del o de los acuíferos.
- ❖ Mapas de contacto Terciario-Cuaternario.
- ❖ Mapas Paleohidrográficos.
- ❖ Data base a carácter regional asociado a los mapas temáticos.

7.2 HIDROGEOLOGÍA GENERAL

Este sub-componente tiene la importante tarea de averiguar, definir y asegurar las informaciones hidrogeológicas necesarias e indispensable para llevar a cabo la ejecución de las intervenciones de optimización de la recarga inducida y sucesivas tomas de agua disponible.

Hay que precisar que el término "disponibilidad" es de uso común y aparentemente obvio, pero por sí solo puede ser confuso si no se define claramente el contexto en que es aplicado. En efecto, referido al agua se le pueden dar diferentes sentidos: la cantidad total de agua existente (incluyendo la gran reserva subterránea no renovable), la cantidad renovable, la cantidad económicamente accesible, la cantidad de calidad apta para usos específicos y varios más.

Se desarrollará una estrecha coordinación entre los dos Países, que implicará la evaluación y articulación de la información existente, orientada a la caracterización integral del Sistema Acuífero, estructurando e implementando un sistema de información regional.

La reconstrucción hidrogeológica tendrá que permitir la formulación de un modelo conceptual y proporcionar los datos necesarios para la realización de un modelo numérico de flujo subterráneo para las áreas sujetas a la recarga inducida. En la práctica se deben reunir y elaborar las informaciones que sirven para definir las características hidrogeológicas del sistema, en toda el área demostrativa y, en particular, en las microcuencas elegidas para las intervenciones de recarga y captación, las relaciones entre las aguas superficiales y las subterráneas, los mecanismos naturales de la recarga y las características cuali-cuantitativas de los recursos.

Además, en este sub-componente tendrán que realizarse las perforaciones necesarias para averiguar las informaciones pertinentes en las áreas con ausencia de pozos o y/o sin datos históricos.

Por lo tanto el sub-componente, entre sus múltiples incumbencias, tiene el importante compromiso de diseñar estrategias tendientes a alcanzar un desarrollo sostenible, mediante la implementación de planes de manejo que incluyen: manejo de la demanda, cambios de uso, modernización del riego, reutilización del agua y, en su caso, la reducción o el aumento de los volúmenes de agua concesionados.

7.2.1 Actividades

- ❖ Determinar los perfiles estratigráficos e hidrogeológicos y su correlación, así como la zonación geoquímica horizontal y vertical en función de la documentación disponible.
- ❖ Determinar las características morfológicas y dinámicas de la capa freática y su interrelación con las profundas.
- ❖ Confirmar el potencial del acuífero y la posibilidad de acceso a la utilización sustentable de este recurso.

- ❖ Realizar un censo de los puntos de agua actualmente explotados y crear una base de datos asociada.
- ❖ Establecer las relaciones aguas superficiales – aguas subterráneas.
- ❖ Efectuar ensayos de bombeo para determinación de parámetros hidrogeológicos e hidráulicos.
- ❖ Ubicar y perforar los piezómetros que servirán para la determinación de las mediciones piezométricas en áreas sin la presencia de pozos para; la toma de muestras, determinaciones de las características químico-isotópicas de las aguas, realizar pruebas de averiguación de los parámetros hidráulicos y, sucesivamente, como puntos de observación de la red de monitoreo.
- ❖ Efectuar una detallada campaña de mediciones piezométricas, por lo menos una en el periodo de sequía y otra en el de recarga máxima.
- ❖ Tomar muestras de pozos y piezómetros (dos campañas) para análisis químicos, químico-físicos e isotópicos (O^{18}/O^{16} , D, T), para la determinación de la calidad química de las aguas, su clasificación y como auxilio para la identificación de las áreas de recarga y para realización del modelo hidrogeológico.
- ❖ Implementar un Banco de Datos común para los tres países que comparten el acuífero, convirtiéndolo en base de recolección, actualización y mantenimiento de todas las informaciones relativas al agua subterránea de la región.
- ❖ Distinguir entre reserva renovable y reserva geológica.
- ❖ Estimar la recarga del SAYTT.
- ❖ Formular un modelo conceptual y proporcionar los datos necesarios para la realización de un modelo numérico de flujo subterráneo para las áreas sujetas a la recarga inducida.
- ❖ Definir, en función de lo anterior, los lugares más aptos y programar caudales y regímenes de explotación acordes, evitando sobreexplotación, procesos de salinización y contaminación.
- ❖ Diseñar un sistema de monitoreo transfronterizo del acuífero, herramienta esencial para la gestión integrada de los recursos hídricos y del uso del suelo.

7.2.2 Productos

- ❖ Base de datos, con catastro codificado, centralizada a nivel nacional o regional.
- ❖ Mapas piezométricos, con mayor detalle en las áreas transfronterizas, en ambiente GIS.
- ❖ Block Diagrams digitalizados.
- ❖ Realización de mapas de contacto entre los estratos superficiales saturados y los profundos, a una escala adecuada.
- ❖ Realización de un mapa de calidad química de las aguas y un mapa hidroquímico en ambiente GIS.
- ❖ Mapas de los parámetros físicos: T, Q/s, S, K, Conductividad.
- ❖ Mapas de la calidad química de las aguas.
- ❖ Construcción de un modelo conceptual general y uno matemático del funcionamiento hidrogeológico en las áreas destinadas a la recarga inducida y a las restitución/extracción, en función de las variables obtenidas en el estudio.
- ❖ Diseño de sistemas de captación /distribución para aguas de riego o potables.

7.3 HIDROMETEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

La posibilidad de obtener estimaciones numéricas de los campos de precipitación y de aforo de los ríos es indispensable para los cálculos de los volúmenes disponibles, dimensionando los bombeos para el abatimiento de los niveles piezométricos por debajo de los cauces de los ríos, favoreciendo en este modo la infiltración de las aguas de escorrentía superficial en el interior del sistema acuífero.

Las variaciones de lluviosidad y temperatura son factores que influyen, en manera significativa, sobre las “precipitaciones eficaces” que van a alimentar directamente los acuíferos, la extensión de la cobertura vegetal, la resalida de la franja capilar y, consecuentemente, sobre la salinización del estrato húmico del suelo y de los mismos acuíferos.

En modo particular una reducción de las lluvias y un aumento de la temperatura media, agravan las condiciones de vulnerabilidad de los recursos hídricos, menos protegidos por una vegetación rala y sufrida y alcanzada por aguas más salobres no aptas al uso potable.

7.3.1 Actividades

- ❖ Establecer la interpretación y análisis de los registros climatológicos e hidrológicos.
- ❖ Analizar y validar los datos meteorológicos existentes.
- ❖ Extrapolar los datos para cubrir áreas sin información.
- ❖ Analizar las curvas de regresión entre grupos de estaciones representativas.
- ❖ Estudiar la red hidrográfica permanente y temporal.
- ❖ Determinación de caudales utilizables y las áreas aptas para formular obras de recarga de acuíferos.
- ❖ Estimación de las máximas avenidas con asignación de un tiempo medio de retorno.
- ❖ Censo y estimación del uso actual de las aguas, superficiales y subterráneas.
- ❖ Evaluar la infiltración en función de los parámetros hidrometeorológicos.
- ❖ Relacionar entre precipitación, evaporación e infiltración.
- ❖ Estimar las aportaciones al Sistema Acuífero procedentes de las aguas superficiales.
- ❖ Evaluación hidrológica e hidrogeológica de los procesos de infiltración, cuantificación de volúmenes, en la zona de recarga.
- ❖ Identificación de lugares aptos para la instalación de captaciones de subcauces. (trincheras, diafragmas, pozos...) y verificar la compatibilidad con las obras ya existentes.
- ❖ Formulación de los criterios para el diseño de las obras de captación.

7.3.2 Productos

- ❖ Modelos de generación de los datos hidrometeorológicos e hidrológicos para las áreas sin observaciones directas.
- ❖ Mapas de isoyetas a nivel regional.

- ❖ Balance hídrico del área demostrativa.
- ❖ Balance hídrico de los terrenos no saturados.
- ❖ Mapas de los parámetros del balance hídrico.
- ❖ Mapas de las redes de observación hidrometeorológica e hidrogeológica actual y optimizada.
- ❖ Mapa de las relaciones aguas superficiales/aguas subterráneas.
- ❖ Perfiles transversales y longitudinales de los principales ríos, en los tramos elegidos para las obras de recarga/captación.
- ❖ Mapas de las posibles soluciones alternativas, regionales y transnacionales, para la optimización del uso del agua, en diferentes hipótesis de desarrollo sostenible de los Países involucrados.

7.4 VULNERABILIDAD Y RIESGO DE CONTAMINACIÓN

En ninguno de los tres países existen mapas de Vulnerabilidad y de Riesgo a la Contaminación. Tampoco resulta que haya algún tipo de recomendación, a nivel local o regional, para la identificación y el control de potenciales focos de contaminación; tampoco se tiene información de normativas específicas para la construcción y la protección de pozos u otros tipos de abastecimiento de agua para fines potables.

Por lo tanto es muy importante introducir el criterio de precaución en la ordenación de la calidad del agua, prestando especial atención a la máxima reducción posible y prevención de la contaminación mediante el empleo de nuevas tecnologías, el cambio de productos y procesos, la reducción de la contaminación en su origen, el reaprovechamiento, reciclaje, recuperación, tratamiento y eliminación sin riesgo ecológico de los efluentes.

Para esta tarea se aconseja la realización de dos modelos paramétricos de vulnerabilidad intrínseca de las aguas subterráneas a la contaminación, uno del acuífero freático y otro, con metodologías similares, para los acuíferos confinados y/o semi confinados. Ambos tienen que ser confrontables e interceptable mediante matrices cuadradas para dar, como resultado, la Vulnerabilidad Intrínseca del Sistema (VIS) y ser utilizados también en forma separada.

Esta componente servirá también como base para la capacitación del personal técnico de los tres Países en la realización de modelos de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación y en la valoración de las áreas de peligro y de protección de los puntos de captación de aguas subterráneas.

7.4.1 Actividades

- ❖ Análisis de detalle del área mediante imágenes telerelevadas y observaciones de campo.
- ❖ Elegir la cobertura multispectral y multitemporal optimal. Tratar y elaborar de forma específica las imágenes para la realización de mapas temáticos (georeferenciación, ensamblamiento de las imágenes, elaboraciones espectrales en general).

- ❖ Elaborar las imágenes actuales existentes con el fin de determinar la situación actual individuando los puntos frágiles y las zonas más débiles del área de estudio.
- ❖ Realizar un modelo de vulnerabilidad y riesgo en las áreas piloto, utilizando metodologías más apropiadas capaces de individualizar el comportamiento de cada uno de los horizontes acuíferos presentes en un sistema multicapas.
- ❖ Establecer los criterios para fijar los límites de protección en la zona de explotación (pozos) y en las áreas de recarga.
- ❖ Proponer acciones para la reducción de la contaminación difusa en áreas urbanas y rurales, en colaboración con instituciones locales para crear normativas de protección ambiental.
- ❖ Determinar las características de las fuentes puntuales y difusas de contaminación. También se identificarán las estrategias de remediación de situaciones de alto riesgo actual y de prevención de riesgo potencial.
- ❖ Promover medidas encaminadas a mejorar la seguridad e integridad de las zonas de pozos y manantiales para reducir la intrusión de agentes patógenos biológicos y productos químicos peligrosos en los acuíferos.

7.4.2 Productos

- ❖ Mapa de uso del suelo.
- ❖ Mapa de alteración de la vegetación.
- ❖ Mapa morfológico.
- ❖ Mapa de zonas húmedas.
- ❖ Mapa de erosión activa y potencial.
- ❖ Mapa de vulnerabilidad intrínseca por unidades hidrogeológicas.
- ❖ Mapas de vulnerabilidad y riesgo intrínseco en las áreas piloto y en las de recarga y explotación, para el sistema freático y el confinado y/o semi confinado.
- ❖ Delimitación de las áreas de protección de los recursos hídricos (recarga y captación).
- ❖ Redactar un manual técnico y uno de “comportamiento”, para la preservación de la calidad de los recursos hídricos subterráneos en las áreas de alto riesgo.
- ❖ Capacitación de técnicos para la realización de modelos de vulnerabilidad y definición de las áreas de protección de las agua subterráneas.
- ❖ Capacitación para los funcionarios públicos sobre la “lectura” e “interpretación” de los mapas de vulnerabilidad.
- ❖ Divulgación de las advertencias y comportamiento a nivel poblacional.

7.5 RECARGA ARTIFICIAL Y CAPTACIONES

Analizando las características hidrológicas, hidrogeológicas, geomorfológicas y pluviométricas del área en objeto, se cree conveniente el uso de una recarga del segundo tipo y de sub-alveo deprimiendo, tras un profundo estudio geo-hidrometeorológico, los acuíferos subyacentes al cauce del río, creando así un espacio disponible para almacenar un volumen importante de agua que, normalmente, se “pierde” por escorrentía superficial y no puede ser recuperado.

El agua bombeada puede ser reinyectada, por caída natural, en el interior de acuíferos más profundos y/o en áreas con menor potencial hidráulico y extraído mediante el uso de pozos radiales¹ y almacenada en cisternas semi enterrada, pre fabricadas en cemento, de gran capacidad (12-18.000 m³) y bajo costo (alrededor de 300-350 US\$ c/u, precio en Brasil, diciembre 2004).

En el caso del área demostrativa se hace necesario, por lo tanto, delimitar y estudiar muy bien las microcuencas experimentales para la determinación de los parámetros hidrológicos e hidrogeológicos, revisar y perfeccionar los cálculos de los volúmenes captables de las cuencas, realizar una evaluación de las relaciones hídricas, de distintas coberturas, para la gama de condiciones climáticas y edáficas de las cuencas abastecedoras y receptoras.

7.5.1 Actividades

- ❖ Investigar y aplicar soluciones técnicas apropiadas.
- ❖ En estricta colaboración con las otras sub componentes, dimensionar y realizar las instalaciones correspondientes para las operaciones de recarga inducida, transporte y captación de las aguas.
- ❖ Establecimiento de microcuencas experimentales para evaluación hidrológica.
- ❖ Revisión y perfeccionamiento de las evaluaciones del potencial de captación de las cuencas abastecedoras.
- ❖ Evaluación de las relaciones hídricas de distintas coberturas para la gama de condiciones climáticas y edáficas de las cuencas abastecedoras.
- ❖ Proyecto para la recarga inducida y captación/distribución de las aguas subterráneas.

7.5.2 Productos

- ❖ Realización en las áreas piloto de un modelo predicativo de comportamiento hidrodinámico del acuífero, mediante la aplicación de un código digital convencional (modflow y flowpath).
- ❖ Realización de las obras para la recarga inducida.
- ❖ Realización de las obras para las captaciones y almacenamiento de las aguas.

7.6 MONITOREO Y CONTROL

El monitoreo toma una importancia muy grande en esta etapa del proyecto. Es necesario coordinarse muy bien con los técnicos que llevan adelante los otros sub-componentes para decidir, de común acuerdo, los lugares y las características que deben tener los puntos de observación, sobre todo si se deben perforar piezómetros o pozos “espía” que deben, a su vez, proporcionar informaciones útiles para la reconstrucción hidrogeológica,

¹ Un pozo radial es una perforación de 5 a 6 m de diámetro interior que cuenta con un protección de concreto reforzado. A la profundidad adecuada se construyen perforaciones horizontales de 8” a 10” de diámetro y hasta 60 m de longitud, perforaciones que se protegen con un tubo ranurado que funciona como cedazo.

para la determinación de los parámetros hidráulicos o para la definición de la calidad química de las aguas.

Los puntos a monitorear tendrán que cumplir requisitos básicos como:

- i) Accesibilidad: los pozos tienen que ser fácilmente alcanzables en todo el año.
- ii) Reproducibilidad: los pozos alrededor del punto de monitoreo y las instalaciones anexas no deben influir en la piezometría y en la calidad de la porción de acuífero interesada por el punto de observación.
- iii) Significabilidad: los pozos tienen que representar fielmente las características hidrogeológicas del acuífero y de uno solo

La función principal que tendrán que desarrollar los piezómetros/ pozos de monitoreo es la de controlar, posiblemente de manera continua, las variaciones del nivel freático o piezométrico, dando así una visión exacta de las “pulsaciones” del sistema y permitiendo, después de un cierto tiempo, una determinación suficientemente precisa, del arco de tiempo en el cual se deben empezar a extraer aguas del subsuelo para facilitar las infiltraciones de sub-alveo.

Terminada la operación los mismos puntos de monitoreo servirán para el control de la recarga y para seguir la evolución de la misma, en el tiempo y en el espacio.

El número de puntos de observación va definido, según una parrilla prefijada, en función de las áreas interesadas por la recarga y la extracción, por la distancia que separa ambas, por la topología del acuífero/s considerado/s y por las características hidrodinámicas del sistema.

7.6.1 Actividades

- ❖ Analizar las redes actuales (si existen) para la obtención de datos.
- ❖ Determinar el uso del agua.
- ❖ Valorar y validar los datos existentes.
- ❖ Considerar la posibilidad/conveniencia de recuperar las estaciones de medición (si las hay) que actualmente están dañadas o en desuso.
- ❖ Identificar las áreas y los nudos críticos, para el monitoreo y el control de la calidad/cantidad de los recursos hídricos subterráneos.
- ❖ Establecer de acuerdo con los tres países interesados, los parámetros significativos que tendrían que ser objeto de controles.
- ❖ Elegir un sistema mejor de adquisición y de transmisión de los datos.
- ❖ Diseñar una red de monitoreo y control multiparamétrico, en áreas específicas, sobre la base de criterios comunes con los otros países.

7.6.2 Productos

- ❖ Reactivación de las estaciones actualmente existentes.
- ❖ Equipamiento de los piezómetros realizados para el Sub-componente 7.2.

- ❖ Realización de una base de datos regional, con relativas interconexiones telemáticas, entre los distintos centros de cada país.
- ❖ Conexiones satelitales para el envío de las informaciones (por dos años).

7.7 S.I.T. (SISTEMAS INFORMATIVOS TERRITORIALES)/BASE DE DATOS REGIONAL

En este caso el objeto tiene que ser compartido por más de una Institución y por dos Países, por lo tanto resulta aún más evidente la importancia de contar con una herramienta común, bien articulada y construida con la participación de todas las Entidades y todos los expertos de las naciones involucradas.

7.7.1 Actividades

- ❖ Creación de S.I.T. con todas las informaciones relativas a los datos sobre los Recursos Naturales ya adquiridos, implementados por las informaciones sobre los aspectos antropogénicos, económicos y sociales del área.

7.7.2 Productos

- ❖ Organización de las informaciones territoriales.
- ❖ Síntesis de las informaciones, mediante procedimientos especiales de elaboración.
- ❖ Derivación de nuevos datos cruzando los ya existentes.
- ❖ Selección, en el respeto de los objetivos impuestos por el planificador, de las informaciones consideradas fundamentales.
- ❖ Sistema de puesta a disposición, en forma rápida y eficaz, los resultados obtenidos, en forma gráfica y tabular y de múltiples escenarios.
- ❖ Rápida verificación de la conformidad de planes y proyectos, con respeto a las características principales del territorio.

7.8 COMUNICACION SOCIAL/EDUCACION AMBIENTAL/ANALISIS DE LAS NORMATIVAS

Es oportuno que los gobiernos adopten nuevas estrategias de gestión de los recursos hídricos basadas en mejoras estructurales como, por ejemplo:

- Estrategias: de parciales y fragmentadas a sistemáticas.
- Intervenciones: de curativos a preventivos.
- Inversiones: de incrementales a estratégicas.

En el caso del área demostrativa es auspiables que los tres países involucrados, consiguieran vincular los planes hidráulicos nacionales a la ordenación de las aguas transfronterizas, creando un **Comité Técnico de Aguas Subterráneas**, dentro del cuales los representantes de todos los sectores de los dos Países participen activamente en la protección, conservación y manejo de las aguas compartidas. Por ultimo, pero no menos

importante considerando las características transnacionales y socio demográficas del área, es ausplicable que las decisiones se tomen al nivel más bajo posible.

7.8.1 Actividades

- ❖ Clasificar las diferentes actividades económicas en el área de los intervenciones, y evaluar su potencial actual y futuro, teniendo en cuenta el aprovechamiento sustentable del acuífero.
- ❖ Estimar el grado de deterioro ambiental, actual y futuro, de la región , respecto a las actividades económicas presentes.
- ❖ Analizar las reglamentaciones y los instrumentos legales existentes en la actualidad en los dos países.
- ❖ Establecer comparaciones entre las normativas en vigore en los dos países.
- ❖ Mejorar el funcionamiento de las administraciones públicas en la ordenación de los recursos hídricos, y al mismo tiempo, reconocer plenamente el papel de las autoridades locales.
- ❖ Sentar las bases, en los dos países, para la creación de normativas comunes en los temas del manejo de los acuíferos transfronterizos y facilitar la creación de un sistema de manejo que involucre a los usuarios y a los beneficiarios.
- ❖ Estimular a la población local, especialmente a las mujeres, a los jóvenes, a las poblaciones indígenas y a las comunidades locales, para que participen en la ordenación del agua.

7.8.2 Productos

- ❖ Proponer una diagnosis del escenario futuro de la región.
- ❖ Proponer un plan de acción teniendo como base el aprovechamiento sustentable del acuífero.
- ❖ Realizar un mapa de ordenamiento territorial del área demostrativa.
- ❖ Indicar las pautas necesarias para la creación de normativas transfronterizas sobre la utilización, protección y conservación de los recursos hídricos.
- ❖ Creación de un Comités Técnico de Aguas Subterráneas (COTEAS).

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALCAGNO, A. 2000 “Identificación de Áreas para la Ejecución de Programas y Acciones Piloto y Definición de Términos de Referencia. Términos de Referencia del Contrato Por Resultado” (OEA), Año 2000.

NEWMANN-REDLIN, CH. & VILLENA, H. (1992): Primeros aspectos sobre la hidrogeología del Chaco Tarijeño, resultados preliminares de reconocimiento a esta región. - Informe Técnico CABAS N° 1; Cochabamba, Bolivia.

NEWMANN-REDLIN, CH. & VILLENA, H. (1993): Aspectos adicionales sobre la geología e hidrogeología del Chaco Tarijeño. - Informe Técnico CABAS N° 16; Cochabamba, Bolivia.

PASIG, R. (1998): Estudio Hidrogeológico del Chaco Tarijeño, Bolivia Boletín del Servicio Nacional de Geología y Minería N° 15 1998.

RISIGA, A. 2004 “Características y Condiciones de las Aguas que recargan el Sistema Acuífero Guaraní en la República del Paraguay” (Presentación de Proyecto), Año 2004.

SENASA, 1999 “Cuarto Proyecto Rural de Suministro de Agua y Saneamiento”, Año 1999

9. CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO

SUB-PROYECTO SISTEMA ACUIFERO TRANSFRONTERIZO													
YRENDÁ-TOBA-TARIJEÑO													
PARAGUAY - BOLIVIA													
Sub-Componente "Intervenciones Demostrativas"													
Área Piloto Gral. Eugenio A. Garay - La Tricolor													
Cronograma de Actividades y Costos por Intervención (18 meses/\$us)													
Actividad	Año 1						Año 2						Total \$us
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
1) Recopilación de las Informaciones Básicas, Banco de Datos Regional y Fortalecimiento Técnico Institucional (Incorporación al SIG).	52000						6500						84500
2) Análisis y Reconocimiento de los efectos ocasionados por Focos de Polución, Deforestación, Desertificación, etc. y Definiciones de acciones apropiadas							20000						20000
3) Apoyo a Programas de Reforestación y Ejecución de Proyectos de Reforestación							10000						20000
4) Regulación de Caudales, a través de Embalses que favorecen la Infiltración y consecuente Recarga del Acuífero - Implementación de Proyectos de Regulación de Caudales							80000						80000

SUB-PROYECTO SISTEMA ACUIFERO TRANSFRONTERIZO

YRENDÁ-TOBA-TARIJEÑO

PARAGUAY - BOLIVIA

Sub-Componente “Intervenciones Demostrativas”

Área Piloto Gral. Eugenio A. Garay - La Tricolor

Cronograma de Actividades y Costos por Intervención (18 meses/\$us)

Actividad	Año 1						Año 2												Total \$us
	1			2			1			2			3			4			
5) Estudio de Vulnerabilidad y Riesgos a la Contaminación. Aplicación de los Resultados a través de Instituciones. Análisis de Vulnerabilidad y de riegos de la contaminación, Elaboración y desarrollo de propuestas de medidas y acciones de gestión							45000			50000			50000						145000
6) Perforación Profunda de Explotación (2) y Pozos de Observación (2) (400 m de profundidad, Incluye perfilaje)							256000												256000
7) Participación Pública y Educación, Diseño e implementación de acciones de comunicación social y educación ambiental.							13000			13000			13000			13000			52000
8) Análisis del Marco de Gestión, Legal e Institucional	20000																		20000

SUB-PROYECTO SISTEMA ACUIFERO TRANSFRONTERIZO
YRENDÁ-TOBA-TARIJEÑO
PARAGUAY - BOLIVIA

Sub-Componente "Intervenciones Demostrativas"

Área Piloto Gral. Eugenio A. Garay - La Tricolor

Cronograma de Actividades y Costos por Intervención (18 meses/\$us)

Actividad	Año 1			Año 2				Total \$us	
	1	2		1	2	3	4		
9) Investigaciones Hidrogeológicas (hidroquímica, modelos, hidrología, geofísica, recarga inducida y captaciones)	25000			25000	25000	25000		100000	
Informe Final								20000	20000
Coordinación				45000	45000	45000	45000	180000	
WorkShop y Reuniones Intersectoriales	25000							25000	65000

Referencia de Actividades	Intensiva	Intermedia	Normal

TOTAL	1042500
--------------	----------------

PRESUPUESTO ESTIMATIVO POR CATEGORÍA DE GASTO

CATEGORIA		ID Costo (US\$)
Honorarios	Senior	248.250
	Junior	50.250
	Técnico	30.750
	Auxiliar	26.250
Viajes		45.925
Bienes	Fungibles	60.750
	No Fungibles	75.000
Servicios	Laboratorio	64.500
	Terceros	184.825
	Pozos y Piezómetros	256.000
Total		1.042.500
CONTRAPARTE (25%)		260.625

GLOSARIO DE SIGLAS

ADT	Análisis Diagnóstico Transfronterizo
COTEAS	Comité Técnico de Aguas Subterráneas
DGPCRH	Dirección General de Protección y Conservación de los Recursos Hídricos
ID	Intervenciones Demostrativas
ISARM/AMERICAS	Transboundary Aquifers of The Americas (Acuíferos Transfronterizos de las Américas)
MSPBS	Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social
OEA	Organización de Estado Americanos
SAL	Sistema Acuífero Local
SATYTT	Sistema Acuífero Transfronterizo Yrendá Toba Tarijeño
SAYTT	Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño
SEAM	Secretaría del Ambiente
SENASA	Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental
SERGEOMIN	Servicio Geológico Minero
SIT	Sistemas Informativos Territoriales
SG/OEA	Secretaría General de la Organización de Estados Americanos
GIS	Sistema de Información Georeferenciado
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencias y Cultura
VIS	Vulnerabilidad Intrínseca del Sistema