

## ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN ÁREAS MARGINALES DEL ACUÍFERO GUARANÍ, EN EL SECTOR DE LA REPUBLICA DEL PARAGUAY

*Pasig, Ronald (AIH, ALHSUD)<sup>1</sup>; Rojas, Carmen<sup>2</sup> & Geyh, Mebus<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Proyecto Ordenamiento Ambiental de Zonas Urbanas (ORDAZUR) / Cooperación Técnica Alemana (SEAM-BGR)

E-mail: pasig@quanta.com.py / ordazur@telesurf.com.py

<sup>2</sup>E-mail: rojas.carmen@37.com

<sup>3</sup>E-mail: mebus.geyh@t-online.de

**Resumen.** La presión demográfica sobre ciertas áreas de la región Oriental del Paraguay ha provocado la aparición de serios problemas ambientales y socioeconómicos. Los trabajos ejecutados por el proyecto *Sistema Ambiental de la Región Oriental del Paraguay (SARO)* pretenden ser un modelo de evaluación de estos problemas, con el fin de proponer planes concretos que puedan darles solución. Como áreas de estudio se han tomado tres cuencas pilotos de aproximadamente 10 000 km<sup>2</sup>, ubicadas en la región Oriental del Paraguay. En estas cuencas, conocidas como el lago Ypacaraí, el río Tebicuary-mí y el río Capiibary la mayoría de las localidades y establecimientos agropecuarios se abastecen de agua potable mediante agua subterránea. Este recurso es aún abundante y relativamente económico, aunque no se dispone de un conocimiento cabal del mismo. Por ello, el proyecto ha realizado estudios en el área con el objetivo de determinar la calidad y cantidad de agua subterránea existente, el funcionamiento hidráulico del sistema (áreas de recarga, descarga y direcciones de circulación) y su evolución hidroquímica; como así también la relación entre el *Gran Acuífero Guaraní* y otros acuíferos regionales. Estas determinaciones se han realizado con ayuda de los resultados de análisis isotópicos de pozos, cauces superficiales y de lluvia.

**Abstract.** Demographic pressure in certain areas of the Eastern Region of Paraguay has caused serious environmental and socio-economic problems. The *SARO* project - *Sistema Ambiental de la Region Oriental* – Eastern Region Environmental System – has developed a model to evaluate these effects in order to propose practical solutions. Three pilot areas, in the central part of Paraguay's Eastern Region were studied, these being the catchment areas of the Ypacaraí lake and the Tebicuary-mí and Capiibary rivers with a total area of some 10,000 km<sup>2</sup>. Groundwater supplies most of the household, agricultural and industrial needs of the small settlements and farms of the region and is still considered to be relatively abundant and cheap to exploit even though exact knowledge of the resource is not available. The *SARO* Project has studied the quantity and quality – both actual and potential – of the subterranean water resources of the area; the hydrological system (areas of discharge or recharge and the direction of groundwater flows); hydro-chemical processes and the relationship between the *Gran Guaraní* aquifer and the other local aquifers present in the pilot areas. The resulting data derives largely from isotopic analysis of water from wells, surface flows and rainfall.

**Keywords:** East Region of Paraguay (Región Oriental del Paraguay), *SARO* Project (Proyecto SARO), catchment areas (areas de captación), groundwater (agua subterránea), recharge-discharge areas (áreas de descarga-recarga), isotopes (isótopos)

### 1 INTRODUCCION

Con una superficie total de 160.000 km<sup>2</sup> la Región Oriental representa el 40 % de la superficie total del territorio Paraguayo. Presenta condiciones favorables en cuanto a disponibilidad de agua subterránea de buena calidad y dispone de considerables superficies de tierras con presencia de suelos de buena fertilidad. Las condiciones climatológicas, con precipitaciones medias de entre 1800 - 1600 mm anuales, favorecen a un buen

desarrollo agropecuario y que constituye una de las principales fuentes productivas de la región.

De los aproximadamente cinco millones de habitantes que posee el Paraguay, el 97% de la población se concentra en esta región (STP, 2000). Esto ha provocado cierta presión demográfica sobre muchas áreas, las que han comenzado a sufrir problemas socioeconómicos y sobre todo ambientales. El aumento indiscriminado de la deforestación, la pérdida de extensas superficies de tierras para uso agropecuario y un aumento

considerable del riesgo a la contaminación de las aguas, son algunos de los efectos que ya se están manifestado.

Se han instalado en esta área importantes establecimientos industriales que procesan los productos del campo, como el algodón y la caña de azúcar y que producen importantes volúmenes de efluentes, que en la mayoría de los casos no son tratados adecuadamente.

Conscientes de los problemas que afronta la región y con el objeto de poder determinar el estado actual de los recursos naturales se llevó adelante una Cooperación Técnica entre la República del Paraguay y la República Federal de Alemania, cuyos organismos ejecutores fueron la Secretaría del Ambiente (SEAM) de Paraguay y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) de Alemania. Este proyecto se conoce como “SISTEMA AMBIENTAL DE LA REGION ORIENTAL DEL PARAGUAY (SARO)”.



**Figura 1:** Ubicación de las áreas pilotos del proyecto SARO en la Región Oriental del Paraguay

## 2 AREAS PILOTOS DEL PROYECTO SARO

El proyecto SARO ha tomado como áreas de estudio tres cuencas piloto, dadas por el lago Ypacaraí, río Tebicuary-mí y río Capiibary (Figura 1). En estas regiones se efectuó un inventario y evaluación de la geología, hidrogeología, suelos, vegetación, fauna y aspectos socio-económicos con el objeto de dar propuestas técnicas y normativas de uso y protección de los recursos naturales como parte de un futuro plan de ordenamiento territorial. En el presente trabajo se presentará el capítulo

referido a los estudios hidrogeológicos, en especial a aquellos referidos al Gran Acuífero Guaraní.

## 3 HIDROGEOLOGÍA

### 3.1 Antecedentes

Los primeros estudios hidrogeológicos en el Paraguay se remontan al año 1960, donde las compañías petrolíferas en el Chaco e instituciones como CORPOSANA y SENASA en la región Oriental han realizado varios trabajos de prospección y explotación de agua subterránea. Una valiosa contribución al conocimiento hidrogeológico del Paraguay ha sido llevada a cabo por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), proyecto PAR 83/005, que ha recopilado y editado la información existente hasta el momento, con la publicación de un mapa Hidrogeológico del Paraguay, escala 1:1.000.000 y su leyenda explicativa. Gran parte de esta información se encuentra vigente actualmente, siendo utilizada como guía para trabajos posteriores. Actualmente se ha intensificado el estudio de los acuíferos transfronterizos de carácter regional, como por ejemplo el gran Acuífero Guaraní, que en el Paraguay se encuentra representado por las areniscas de la formación Misiones, que yacen en una amplia superficie de la región Oriental (aproximadamente 42.700 km<sup>2</sup>). Organismos nacionales e internacionales han apoyado esta iniciativa, por considerarla una fuente muy importante de abastecimiento de agua para el presente y el futuro. El proyecto Sistema Ambiental de la Región Oriental (SARO), cuyas cuencas de estudio engloban parte de estas formaciones, también ha incluido dentro de sus trabajos de exploración y evaluación parte de este acuífero, junto a otros de importancia también significativa (p.ej. areniscas Pérmicas del Grupo Independencia y areniscas Ordovícicas del Grupo Caacupé).

### 3.2 Hidrogeología de la región Oriental del Paraguay

La situación hidrogeológica de la región Oriental es muy distinta a la región Occidental. Las causas principales son las muy diferentes condiciones geológicas y climatológicas existentes, sobre todo en cuanto a regímenes de precipitaciones se refiere. Gran parte de las rocas que actúan como acuíferos en la región Oriental, son muy favorables como reservorio de agua subterránea. La

continuidad geológica de la cuenca sedimentaria del Paraná hacia territorio Brasileño y Argentino hace indispensable evaluar las condiciones hidrogeológicas en un contexto regional.

Los acuíferos de la región fueron clasificados en el mapa hidrogeológico del proyecto PAR 83/005 de 1986 según su extensión areal como (Figura 2):

- Acuíferos regionales de gran extensión
  - a. Con importancia para obtener agua subterránea potable
  - b. Sin importancia, debido a la presencia de agua

- subterránea salada (en el Chaco)
- Acuíferos regionales de extensión restringida
- Acuíferos locales
  - a. En rocas porosas
  - b. En rocas fracturadas
- Acuíferos prácticamente sin agua

También se tuvo en cuenta la permeabilidad de las diferentes formaciones, tomando su porosidad y grado de fracturamiento como medida de evaluación. De esta forma se definieron los siguientes acuíferos:

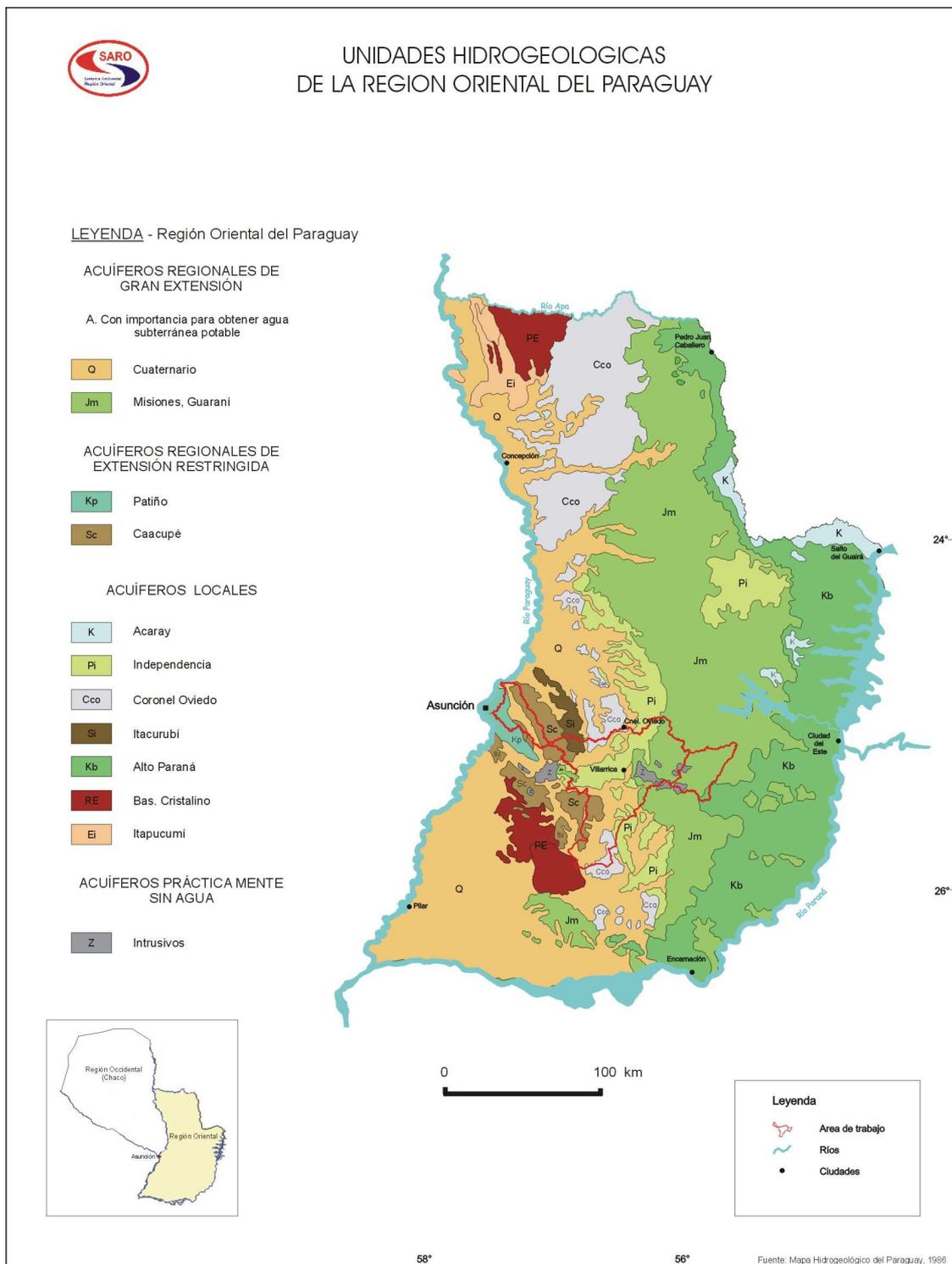


Figura 2: Unidades hidrogeológicas de la región Oriental del Paraguay

- Acuíferos intergranulares
- Acuíferos fracturados
- Formaciones sin acuíferos o con escasos recursos de agua subterránea dulce

Con estos criterios, sumado al potencial y calidad físico – química del agua subterránea de los acuíferos, en la región Oriental del Paraguay se pueden mencionar los siguientes acuíferos de importancia (ONU, 1986 - Proyecto PAR 83/005):

- a) Acuífero Patiño, correspondiente a las areniscas Cretácicas, aflorantes en el área de Asunción y alrededores. Este acuífero está constituido por una secuencia estratigráfica de sedimentos conglomerádicos y areniscas de buenas condiciones hidráulicas. Generalmente se presenta en condiciones libres y en ciertos lugares muy restringidos, semiconfinado y hasta confinado. Los caudales específicos se encuentran en alrededor de 1 m<sup>3</sup>/h/m y agua de buena calidad química (ONU, 1986). Es el acuífero más explotado del Paraguay, debido a la gran densidad poblacional existente.
- b) Acuífero Caacupé, integrado por una sucesión de sedimentos grano decreciente Ordovícicos. Los conglomerados se encuentran en la base de la formación y pasan gradualmente a areniscas de diferente granulometría. El acuífero aflora en el sector de la localidad de Caacupé, desde donde se extiende hacia el sur. El espesor del paquete sedimentario es de alrededor de 300 metros, con agua normalmente de buena calidad (ONU, 1986). También se encuentra intensamente explotado, sobre todo en los departamentos Central y Cordillera.
- c) Acuífero Independencia, corresponde a un conjunto de formaciones geológicas del período Pérmico, integradas por sedimentos arenosos con intercalación de materiales finos (siltitas). Las formaciones aflorantes abarcan una superficie de alrededor de 9200 km<sup>2</sup> y representan un acuífero muy importante dentro del área de estudio. La interconexión con el acuífero Guaraní (formación Misiones) y que se encuentra sobreyaciendo al mismo en gran parte de las cuencas de estudio, es una de las causas por la cual debe tomarse muy en cuenta su potencialidad como reservorio de agua potable.

- d) Acuífero Misiones, es el acuífero más importante del Paraguay. Integrado por las areniscas eólicas, bien seleccionadas y muy friables de edad Jurásica. En la región Oriental ocupan aproximadamente 27% de la superficie total de esta región (aproximadamente 43000 km<sup>2</sup>). Este acuífero adquiere importancia regional, debido a su gran extensión y relevancia como reservorio de agua potable. El mismo se extiende sobre un amplio territorio, incluso en países colindantes como Brasil, Argentina y Uruguay (Fig. N° 2.12). A escala regional es conocido como Gran Acuífero del Mercosur o Acuífero Guaraní.

Debido a la importancia de este acuífero como reserva de agua potable en el área del proyecto, se ha profundizado el estudio sobre el mismo, cuyos resultados más importantes se presentan a continuación.

### 3.3 Hidrogeología de las cuencas del proyecto SARO

La hidrogeología de las cuencas del proyecto SARO debe ser interpretada a escala regional. Las formaciones geológicas, de buenos potenciales de agua subterránea abarcan generalmente grandes superficies de territorio y se encuentran en su gran mayoría conectadas entre sí hidráulicamente. Las potentes secuencias de areniscas regionales, con diferentes homogeneidades y consistencias, son los acuíferos más importantes de toda el área. En estas formaciones el agua subterránea se concentra especialmente en zonas de fracturamientos.

Las areniscas Paleozoicas (Pérmicas) y Mesozoicas (Jurásico-Cretácico) son las de mayor importancia como productora de agua y de mayor distribución areal. También existen algunas formaciones sedimentarias locales de buenas condiciones hidrogeológicas (como por ejemplo las areniscas del grupo Caacupé e Itapucumí). Las formaciones de basaltos no presentan condiciones tan favorables para el almacenamiento de agua subterránea, salvo en áreas locales afectadas por estructuras. Por otro lado, algunas formaciones Cuaternarias, pueden contener volúmenes significativos de agua, sobre todo en los sedimentos de pie de monte. En los sectores bajos o humedales, donde se han acumulado gran cantidad de materiales finos (arcillas), no se encuentran acuíferos

importantes. También hay que tener en cuenta que debido a la escasa infiltración, en estas depresiones se concentra mucha agua superficial y por ello generalmente se encuentran anegadas.

En general, las areniscas presentan acuíferos libres, con niveles estáticos muy variados de un lugar a otro. En los sectores que fueron inyectados por las coladas basálticas pueden presentarse acuíferos semiconfinados y hacia profundidad confinados. Bajo estas condiciones debería hablarse de sistema acuífero y no de acuíferos individuales, ya casi todos los acuíferos y especialmente los sedimentarios, se encuentran conectados hidráulicamente.

La recarga a los acuíferos proviene fundamentalmente de las precipitaciones pluviales, que en el área de trabajo rondan los 1600 a 1800 mm anuales (DINAC, 1992). También es de suponer que los cauces superficiales aporten agua al sistema subterráneo, especialmente en áreas de presencia de cauces importantes y materiales permeables.

La calidad físico – química del agua subterránea es generalmente buena para consumo humano, salvo en sectores puntuales donde se halla influenciada por diferentes actividades industriales, agrícolas y/o urbanas.

### 3.3.1 Estudios especiales

Para poder despejar algunas dudas acerca de las áreas de recarga y descarga, movimiento del agua subterránea y condiciones hidráulicas e hidroquímicas de los acuíferos, se realizaron algunos estudios especiales correspondientes a análisis isotópicos. Se analizaron por un lado los isótopos estables del oxígeno ( $^{18}\text{O}$  y  $^{16}\text{O}$ ) y del hidrógeno ( $^1\text{H}$  y  $^2\text{H}$ ), como así también de radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) y tritio ( $^3\text{H}$ ). La Tabla N° 1 presenta los valores obtenidos.

### 3.3.2 Conceptos generales de los estudios isotópicos realizados

Para interpretar los datos isotópicos es necesario mencionar algunos conceptos básicos y que serán útiles para entender los valores obtenidos, los que se mencionan a continuación:

La relación  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  en el agua de lluvia es una función lineal válida a escala mundial para valores medios anuales de estos elementos. La misma se conoce como Recta Meteorológica Global del Agua (GMWL - Global Meteoric Water Line) y queda expresada por la siguiente función (Craig, 1961):

$$\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$$

Con esta fórmula se puede determinar el exceso de deuterio d (en ‰), dada por  $d = \delta^2\text{H} - 8 \delta^{18}\text{O}$ . El exceso de deuterio en aguas subterráneas que no presentan modificaciones de su contenido isotópico original, se relaciona con las condiciones climatológicas imperantes. Así el cambio en el valor de la pendiente de la curva resultante ( $< 8$ ), permite interpretar fenómenos de evaporación durante la recarga de los acuíferos, proveniente de precipitaciones o a partir de superficies de agua libre en lagos. De este modo, la precipitación en las zonas áridas presenta excesos de deuterio mayores a  $10\text{‰}$ , en contraste con lluvias de zonas húmedas, donde el exceso de deuterio es mayor.

Hay que tener en cuenta que la concentración del deuterio ( $^2\text{H}$ ) en la fase líquida y el oxígeno  $^{18}\text{O}$  se encuentra influenciada por fenómenos termodinámicos, producidos durante los cambios de fases. Con un aumento de la evaporación se produce un enriquecimiento mayor de  $^{18}\text{O}$  que de  $^2\text{H}$ . También hay que considerar que el contenido de isótopos pesados del agua evaporada del mar y de lagos, es menor al proveniente de los ríos. Con el desplazamiento de las nubes sobre el continente, la concentración de isótopos pesados debido a la condensación del agua de mar, disminuye con la distancia al mar. Este fenómeno es conocido en la literatura como *efecto continental* y produce una disminución de aproximadamente  $-0,3\text{‰}$  del valor  $\delta^{18}\text{O}$  y  $-2,4\text{‰}$  del valor  $\delta^2\text{H}$  por cada 100 km de alejamiento de la costa. Otro efecto que se produce debido a la disminución de la temperatura con el aumento de la cota topográfica (ascenso de las nubes) es el conocido *efecto de altura*, donde los gradientes varían entre  $-0,15$  y  $-0,5\text{‰}$  tanto para los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  por cada 100 m de altura (Stahl, et al. 1974). El *efecto de cantidad* es otro proceso que se produce debido a una evaporación parcial de las gotas de lluvia y un intercambio isotópico con la fase gaseosa durante la lluvia en las regiones tropicales.

El contenido de tritio ( $^3\text{H}$ ) en el agua subterránea es una indicación de la presencia de agua joven, recargada con posterioridad a 1963-64, que es cuando se realizaron la mayor cantidad de pruebas nucleares a escala mundial y que han sido las mayores generadoras de este isótopo.

Por otro lado, el radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) es un indicador conservador en el agua dulce y se puede utilizar para determinar edades del agua subterránea de hasta 40.000 años.

### 3.3.3 Resultados de las investigaciones

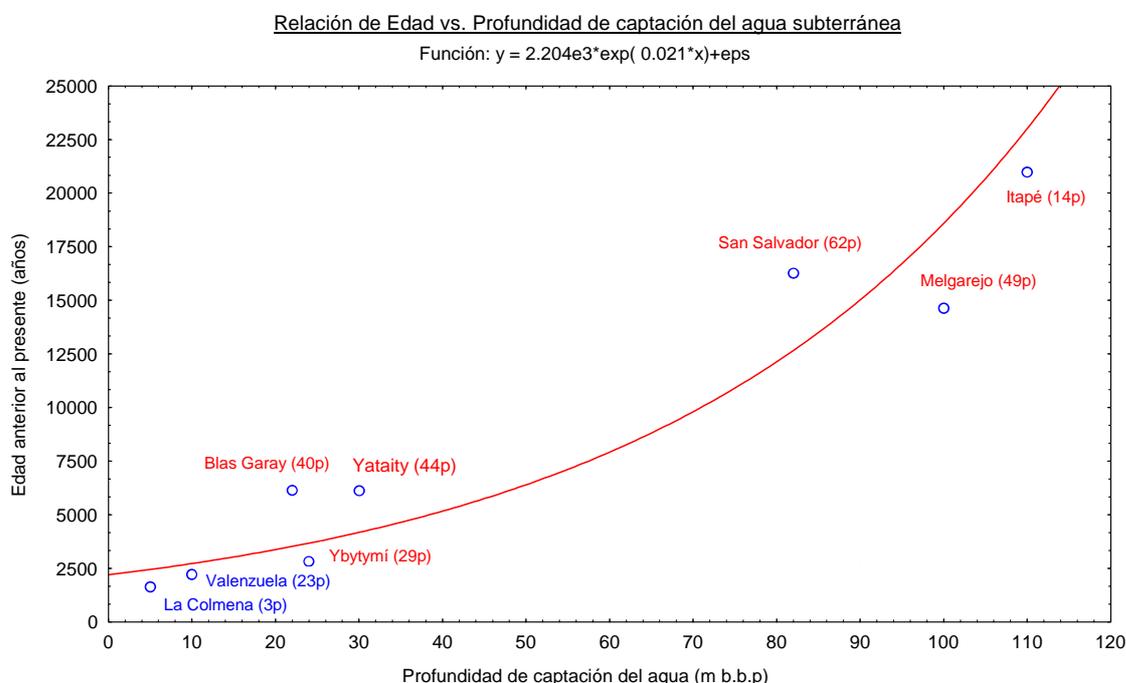
A través de las investigaciones realizadas se pudo comprobar que todos los acuíferos existentes en el área del proyecto están recargados localmente. Esto se produce especialmente a través de las precipitaciones pluviales y en ciertos lugares, como por ejemplo en las áreas próximas al río Tebicuary-mí por medio del agua infiltrada de estos cauces.

El agua ingresa al sistema por infiltración y dependiendo del tipo de litología se infiltra al subsuelo con diferente velocidad, hasta alcanzar el sector saturado del acuífero.

la profundidad de captación de la misma (Geyh et al., 2000). La Figura 3 muestra esta relación, en diferentes pozos artesianos profundos evaluados.

Por estimaciones se puede decir que en formaciones de 10% de porosidad efectiva (como aquellas correspondientes a las areniscas del Grupo Independencia), un acuífero ubicado a aproximadamente 120 metros de profundidad tiene una tasa de renovación de agua subterránea de alrededor de 12.000 mm cada 20.000 años, o lo que es lo mismo 0,6 mm por año. Para el caso de las areniscas eólicas de la Formación Misiones (Acuífero Guaraní), la porosidad efectiva es de alrededor de 17% (Araujo et al., 1995), lo que da una tasa de renovación de aproximadamente 1mm/a en acuíferos ubicados a 120 m de profundidad. En general los acuíferos menos permeables han dado edades  $^{14}\text{C}$  del agua subterránea entre 2500 y 21000 años y los más permeables entre 140 y 2200 años (Tabla 1 anexa).

La relación entre los valores de deuterio y oxígeno 18 queda expresado en la Figura N° 4, y donde se puede ver el agrupamiento de los diferentes tipos de aguas según su origen.



**Figura 3:** Relación entre la edad y profundidad de captación del agua subterránea (Geyh et al., 2000)

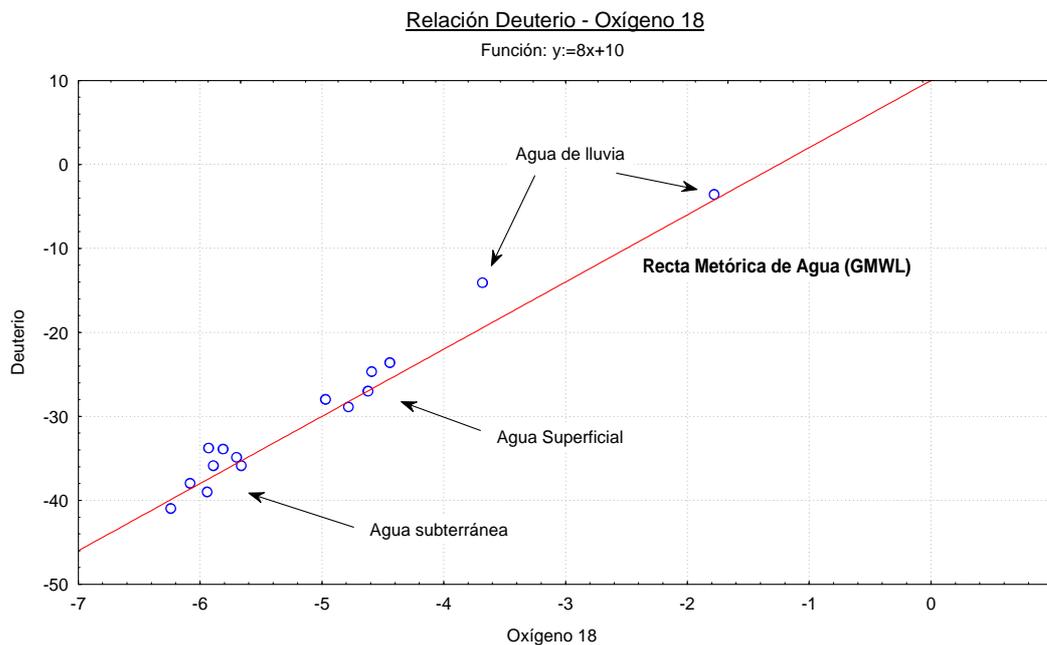
Los estudios demostraron que la edad  $^{14}\text{C}$  del agua subterránea aumenta en forma exponencial con

Es importante mencionar que muchos acuíferos existentes en el área de trabajo forman parte de acuíferos distribuidos regionalmente. Tal es el caso del gran Acuífero Guaraní, cuyas areniscas se extienden sobre amplias áreas del territorio Paraguayo, Argentino, Brasileño y Uruguayo. La Figura 5 muestra la distribución de las unidades geológicas aflorantes correspondientes al Acuífero Guaraní y a las areniscas del Grupo Independencia, que también representan un importante acuífero regional. Este aspecto ha llevado a comparar la distribución de los valores  $\delta^{18}\text{O}$  del agua de la región Oriental del Paraguay (Geyh et al., 2000) con los datos del sector Brasileño (Kimmelman et al., 1989) a efecto de determinar áreas de recarga - descarga y direcciones de circulación del agua a escala regional.

La Figura 6 muestra la distribución de los valores de oxígeno 18 (Geyh et al., 2000). En la misma se puede observar que en el sector de Sao Paulo los valores son menores a  $-8\text{‰}$ , en tanto en el sector sur (área de Curitiba) los valores son

En el área Paraguaya los valores medios se encuentran en  $-5,9\text{‰} \pm 0,2\text{‰}$  y pueden agruparse con los de la parte occidental del Brasil. Esto estaría indicando una dirección de circulación del agua subterránea desde las áreas de recarga en Paraguay y Brasil en dirección sur y sur - este, con probables áreas de descargas en el sector del Río Paraná, esteros de Neembucú en Paraguay y esteros de Iberá en el norte de Argentina. También se podría afirmar que con estos valores de oxígeno 18 las áreas de recarga se encontrarían a una altura aproximada de 150 a 250 m s.n.m. (tomando en consideración el efecto de altura), valores que coinciden con las cotas topográficas del área de trabajo.

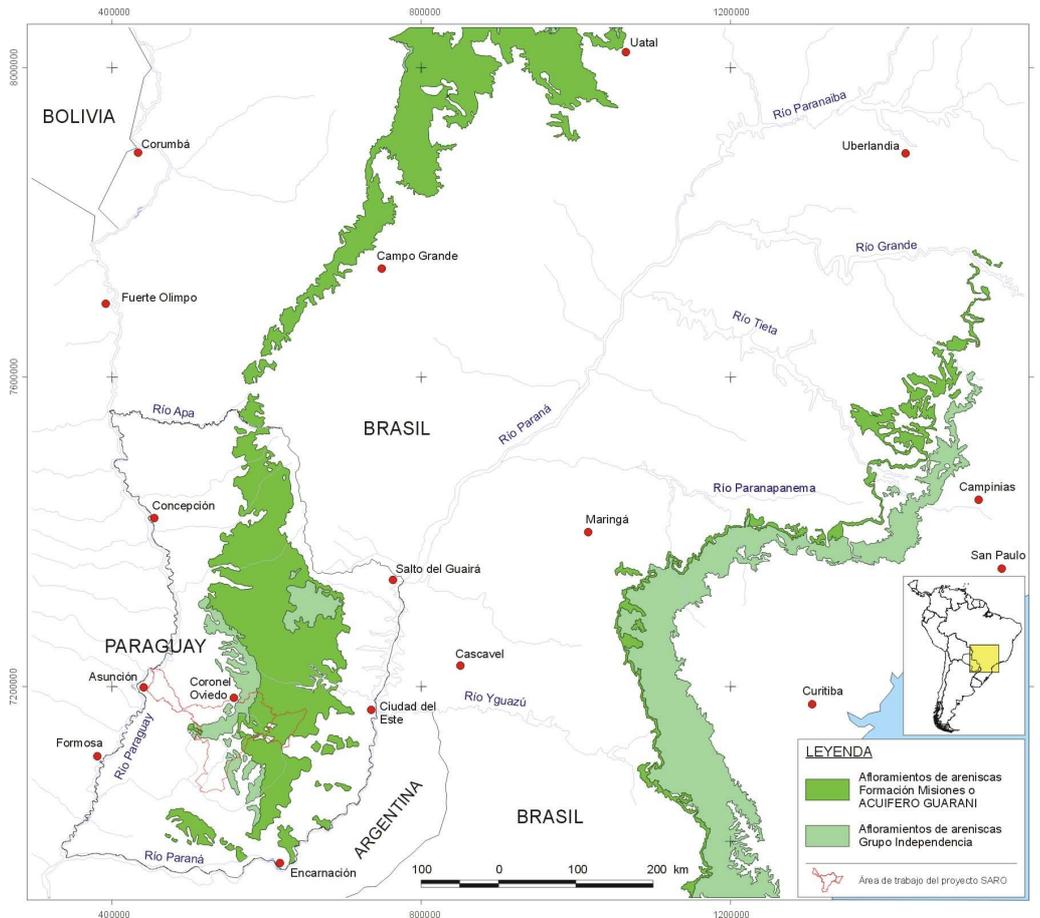
Por otro lado, los valores  $\delta^{18}\text{O}$  del agua de lluvia se encuentran entre  $-3\text{‰}$  y  $-1\text{‰}$ , lo que debería ser interpretado como una lluvia caída a una cota aproximadamente 400 metros por debajo de la existente en el área de proyecto o en su defecto a la existencia de un efecto continental, que provoca el



**Figura 4:** Relación Deuterio - Oxígeno 18 de los distintos tipos de aguas

menores a  $-6\text{‰}$  y concluyen abruptamente en el área del río Paraná, lo que podría indicar una importante área de descarga. En el sector sur del acuífero (área de Uruguay), los valores son mayores a  $-5,5\text{‰}$ , con una probable área de descarga en el Río Uruguay.

ingreso de las lluvias del sector amazónico. Este último fenómeno es el que seguramente se origina en el área de trabajo, donde el gran anticiclón del Atlántico se desplaza cargado de humedad a través del sector amazónico en dirección sur y se encuentra con los vientos fríos provenientes del sector



**Figura 5:** Unidades geológicas aflorantes de la Formación Misiones (Acuífero Guarani) y el Grupo Independencia

Patagónico, provocando en el sector Paraguayo importantes precipitaciones pluviales.

También se puede comprobar la presencia de tritio ( $^3\text{H}$ ) en 30% de las muestras analizadas y sobre todo en aquellas provenientes de areniscas permeables (Tabla 1 anexa). Esto reafirma la existencia de agua muy joven y altas velocidades de percolación del agua de lluvia en estas formaciones.

Otro indicio de recargas locales y rápida infiltración del agua de lluvia lo demuestra las bajas conductividades eléctricas de las aguas subterráneas. En acuíferos de areniscas muy permeables, los valores generalmente no superan los  $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que en las formaciones sedimentarias arenosas con intercalación de materiales más finos (arcillas) y rocas intrusivas, el límite superior es de aproximadamente  $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 3.3.4 Conclusiones y Recomendaciones

Algunos importantes aspectos a tener en cuenta para la protección y uso sustentable de los recursos hídricos subterráneos son los siguientes:

1. La protección las estas áreas de recarga en el sector Paraguayo es fundamental para garantizar la calidad físico – química del agua actual y para el futuro. En este sentido debe terminarse con toda deforestación y en aquellas áreas donde ya ha ocurrido, deben implementarse inmediatas medidas de reforestación. Las zonas de mayor importancia de preservar son aquellas áreas elevadas, con afloramientos de rocas muy permeables.

2. Las autoridades nacionales y regionales deben tomar acciones en conjunto para preservar este vital recurso, sobre todo teniendo en cuenta que el abastecimiento de agua para comunidades rurales se realiza casi en su totalidad a través de agua subterránea.

3. Con los resultados obtenidos por el proyecto SARO no se puede sustentar la teoría de algunos

geólogos Brasileños que afirman que las áreas de recarga del gran acuífero Guaraní se encuentran exclusivamente en el sector de Sao Paulo en Brasil y circula desde allí en dirección oeste hacia el área Paraguaya. Esta hipótesis debe descartarse y aceptar el hecho de que gran parte de los acuíferos del Paraguay son recargados localmente. También hay que considerar que otras formaciones geológicas, como las areniscas Pérmicas del Grupo Independencia, se constituyen en muy importantes reservorios de agua subterránea.

4. Estos aspecto son sumamente importante para implementar medidas de protección ante posibles agentes contaminantes de los diferentes acuíferos del área. El mayor riesgo a este tipo de efecto se produce en las áreas de acuíferos muy vulnerables y donde las actividades antropogénicas son más intensas (por ejemplo ciudades, establecimientos industriales y áreas con agricultura intensiva). Bajo este aspecto hay que considerar que toda contaminación que se pueda producir va a repercutir a corto plazo en el área misma y a mediano y largo plazo en las áreas más alejadas, incluso en países como Argentina y Uruguay, que es hacia donde se dirige buena parte del agua subterránea.

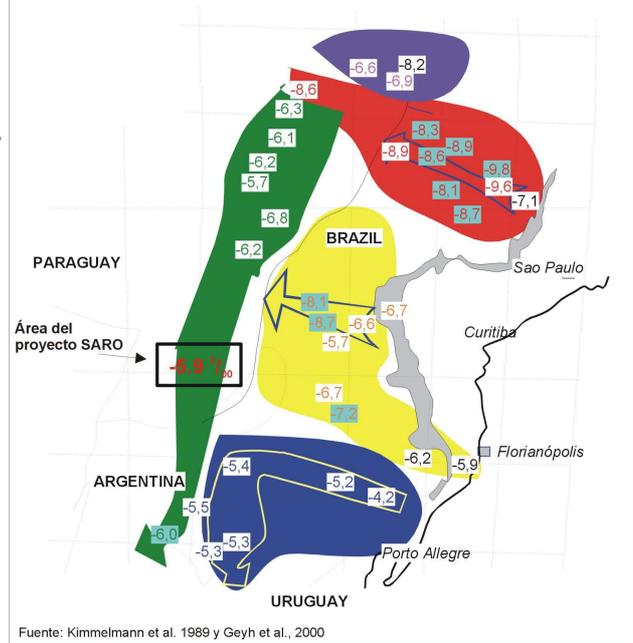
#### 4 Referencias

Araujo L, Franca A. & Potter P. 1995. Acuífero gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguay (The Guaraní Aquifer), Mapas Hidrogeológicos das formacoes Botucatu, Piramboia, Rosario do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. *Petrobras-UFPR*, 16p + anexos

BID 1999. Estudio del marco legal e institucional de los recursos hídricos de Paraguay (Legal and institutional study of the water resources of Paraguay), contrato Banco Interamericano de Desarrollo ATN/FC-6006-PR, Asunción

Custodio E, & Llamas M, 1996. *Hidrología Subterránea (Hydrogeology)*, 2<sup>nd</sup>. edn. Omega S.A., tomo 1-2, Barcelona

DINAC 1992. Balance hídrico superficial del Paraguay, programa hidrológico internacional (Water balance of Paraguay, international hydrological program). *Dirección de Meteorología e Hidrología* 46 p, Asunción



**Figura 6:** Distribución de los valores de oxígeno 18 en el área del acuífero Guaraní

Dionisi A. 1999. Mapa Geológico de la República del Paraguay, hoja Caacupé 5470 1:100.000 (Geologic map from Paraguay, map 5470 Caacupé), *Cooperación técnica BGR-MOPC*, 30p, Asunción

Geyh M. 2000. Isotopenhydrologische Studie zum Ursprung des Grundwassers in der Ostregion von Paraguay (Isotopic study of groundwater at east region of Paraguay). *SARO Fachbericht*, Hannover

González M, Bartel W, Lahner L. & Wiens F. 1998. Mapa Geológico de la República del Paraguay, hoja Paraguari 5469 1:100.000 (Geologic map from Paraguay, map 5469 Paraguari). *Cooperación técnica BGR-MOPC*, 42p + anexos, Asunción

González M, Lahner L, Cubas N. & Adelaida D. 1999. Mapa Geológico de la República del Paraguay, hoja Coronel Oviedo 5670 1:100.000 (Geologic map from Paraguay, map 5670 Coronel Oviedo). *Cooperación técnica BGR-MOPC*, 30p + anexos, Asunción

González M, Lahner L, Muff R. & Wiens F. 1998. Mapa Geológico de la República del Paraguay, hoja San José 5569 1:100.000 (Geologic map from Paraguay, map 5569 San José). *Cooperación técnica BGR-MOPC*, 42p + anexos, Asunción

Höltling B. 1992. *Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie (Introduction at the Hydrogeology)*, 4 Auflage, Stuttgart

Kimmelmarm A, Silva E, Reboucas A. & Santiago M. 1989. 14C analyses of groundwater from the

Botucatu aquifer system in Brazil. Radiocarbon, 13 (3) pag. 926-933

ONU 1986. Memoria del Mapa Hidrogeológico de la República del Paraguay, escala 1:1.000.000 (Hydrogeological map from Paraguay). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Proyecto PAR 83/005*, 80p, Asunción

STP 2000. Diagnóstico Socio Demográfico del Paraguay (Socio-economic evaluation of Paraguay). Secretaría Técnica de Planificación, *The Policy Projekt*, 36p, Asunción

Wiens F. 1997. Geología e Hidrogeología de la región Central – Oriental del Paraguay (Geology and Hydrogeology from the east region of Paraguay). *Informe del Sistema Ambiental de la Región Oriental del Paraguay*, GeoConsultores, 61p + anexos, Asunción

Resultados de la campaña de junio/1999

N° pozo	Localidad	Ubicación		Numero de laboratorio	Fuente	Edad 14C (+/-a)		Val.-14C(pmc) (+/-a)		13C(‰)	18O(‰)	2H(‰)	d(‰)	Val.-3H (TU)		TDIC (mmol/l)	Edad Oeschger (a)
		Norte	Este														
23p	Valenzuela	7169546	513017	23390	Pozo	2225	70	75,8	0,7	-20,5	-5,89	-35,9	11,2	0,1		2,0	-2
29p	Ybytymí	7151133	519552	23391	Pozo	2825	65	70,4	0,5	-12,0	-5,87	-35,3	11,7	0,1		3,9	-2110
5p	La Colmena	7137206	516085	23392	Pozo	1655	70	81,4	0,7	-14,0	-5,70	-34,9	10,7	1,5	0,1	1,4	861
14p	Itapé	7140784	537987	23393	Pozo	20995	420	7,3	0,4	-12,2	-6,24	-41,0	8,9	2,8	0,6	1,8	8516
62p	San Salvador	7130408	552980	23394	Pozo	16275	275	13,2	0,5	-9,8	-6,08	-38,0	10,6	0,1		2,2	5682
44p	Yataity	7159091	553484	23395	Pozo	6130	90	46,6	0,5	-8,4	-5,66	-35,9	9,4	1,2		2,1	1441
	Villarrica	7148760	550915	23396	Pozo	140	85	98,3	1	-16,8	-5,81	-33,9	12,6	2,1	0,5	1,3	696
49p	Melgarejo	7155890	578633	23397	Pozo	14635	350	16,1	0,7	-10,2	-5,94	-39,0	8,5	0,1		1,1	7455
39p	Blas Garay	7175981	573850	23398	Pozo	6145	105	46,6	0,6	-15,0	-5,93	-33,8	13,6	0,1		2,2	1328
s/n	Arr. Tranquera	7136400	516848	13209	Cauce											2,6	1,0
s/n	Arr. Cristal	7126744	541711	13210	Cauce											15,8	1,3
s/n	R. Tebicuary-mí	7127660	543985	13211	Cauce											3,9	1,1
s/n	Lluvia	7146120	603850	13213	Lluvia											13,1	1,2
s/n	Lluvia	7154455	558906	13214	Lluvia											17,4	1,3
s/n	R. Tebicuary-mí	7164675	551909	13218	Cauce											6,3	0,6
s/n	R. Tebicuary-mí	7153962	592200	13219	Cauce											8,9	0,8

Resultados de la campaña de mayo/2000

N° De pozo	Localidad	Ubicación		Numero de laboratorio	Fuente	Edad 14C (+/-a)		Val.-14C(pmc) (+/-a)		13C(‰)	18O(‰)	2H(‰)	d(‰)	Val.-3H (TU)		TDIC (mmol/l)	Edad Oeschger (a)
		Norte	Este														
s/n	San Ignacio	7025745	498139	23964	Pozo			102,5	2,1	-10,7	-5,92	-36,1	9,0	1,9		0,15	
s/n	San Patricio	7016123	517164	23965	Pozo	325	110	96,0	1,3	-13,9	-5,41	-35,8	12,0	0,1		0,70	
48p	Melgarejo	7155533	577951	23966	Pozo	4700	90	55,7	0,6	-9,7	-5,90	-34,8	8,2	0,9	0,10	2,27	
49p	Melgarejo	7155888	578663	23967	Pozo	24700	235	4,6	0,1	-10,1	-7,12	-42,2	6,3	0,1		3,11	
15p	Itapé	7140812	538837	23968	Pozo	17710	285	11,0	0,4	-11,5	-6,89	-41,8	7,4	0,1	0,04	2,16	
14p	Itapé	7140806	537980	23969	Pozo	19625	230	8,7	0,3	-12,2	-7,27	-42,7	5,8	0,1	0,04	2,60	
s/n	Comp.Agrop.	7191374	609554	23970	Pozo			111,9	2,3	-16,2	-5,55	-33,6	9,4	3,9	0,30	0,57	
s/n		7025745	498139	13679	Lluvia											4,3	1,0
s/n	R. Tebicuary-mí	7153975	592181	13680	Cauce											3,9	1,0
s/n		7158590	565173	13681	Vert.											2,4	1,0
s/n				13588	Vert.											2,1	0,8
s/n				13589	Vert.											2,9	0,7

Tabla 1: Datos de los análisis isotópicos de aguas subterráneas y superficiales

