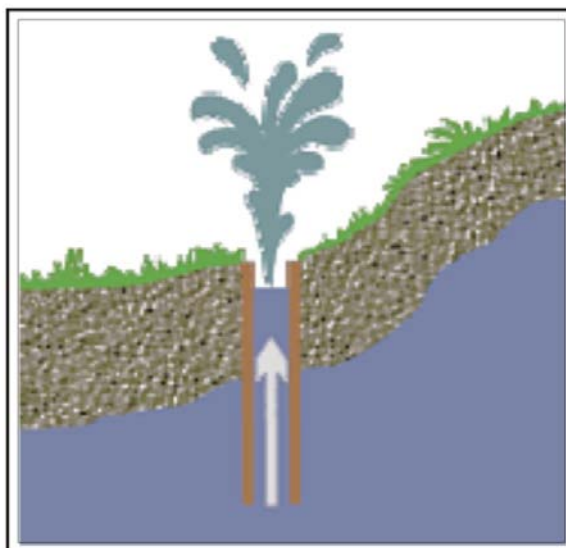




## **Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní**



### **PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD**

#### **INFORME DE ACTIVIDADES**

##### **Revisión del Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Guaraní**



## INFORME DE ACTIVIDADES

ÁREA TEMÁTICA: Hidrogeología

LUGAR: Montevideo

PERÍODO: 11 al 15 de agosto de 2008

Preparado por:

Dr. Carlos Juan Schulz

Agosto de 2008



## Equipo del Proyecto

### Responsables Nacionales:

Por Argentina	Fabián López
Por Brasil	Eustaquio Luciano Zica
Por Paraguay	Carlos López Dose
Por Uruguay	Víctor Rossi

### Coordinadores Nacionales:

Argentina	Miguel Ángel Giraut María Josefa Fioritti (Co-coordinadora) María Santi (Co-coordinadora)
Brasil	João Bosco Senra
Paraguay	Elena Benítez
Uruguay	Lourdes Batista

### Representantes OEA:

Jorge Rucks  
Carlos Sténeri

### Representantes Banco Mundial:

Abel Mejía  
Douglas Olson  
Samuel Taffesse

### Secretaría General:

Secretario General	Luiz Amore
Coordinador Técnico	Jorge Santa Cruz
Coordinador Técnico	Daniel García Segredo
Coordinador de Comunicación	Roberto Montes
Asistente técnico	Alberto Manganelli
Auxiliar técnico	Santiago Ferrero
Administración	Luis Reolón
Informática	Diego Lupinacci
Secretaria Bilingüe	Mariángel Valdés

### Facilitadores proyectos piloto:

Concordia – Salto	Enrique Massa Segui
Rivera – Santana	Achylles Bassedas
Itapúa	Alicia Eisenkölbl
Ribeirão Preto	Mauricio dos Santos



La ejecución del Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní es posible gracias al acuerdo de cooperación alcanzado entre los gobiernos de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, el aporte financiero del Global Environment Facility (GEF) y otros donantes, la cooperación técnica y financiera del Banco Mundial que es la agencia implementadora de los Fondos GEF y la Secretaría General de la Organización de Estados Americanos (SG/OEA) en su condición de agencia ejecutora regional.

Dentro de la Componente 1 destinada a la expansión y consolidación de la base de conocimiento científico y técnico existente acerca del Sistema Acuífero Guaraní se lleva adelante el Programa de Seguimiento y Control de Calidad de las actividades desarrolladas por las diferentes empresas adjudicatarias de las licitaciones correspondientes.

Las Empresas Participantes son:

Licitación SBCC/01/04 – 1/1018.1 Servicios de Hidrogeología General, Termalismo y Modelo Regional del Acuífero Guaraní.

### **“Consorcio Guaraní”**

**(TAHAL; Hidrocontrol S.A.; Hidroestructuras S.A.; SEINCO; Arcadis hidroambiente S.A.)**

**Bme. Mitre 1480/602 – Tel/Fax.: (598-2) 9153363 - C.P. 11300 – Montevideo – Uruguay**

**Coordinador Proyecto: Dr. Gerardo Veroslavsky**

**[gveroslavsky@seinco.com.uy](mailto:gveroslavsky@seinco.com.uy)**

Licitación LPI/03/05 Servicios de Inventario, Muestreo, Geología, Geofísica, Hidrogeoquímica, Isótopos e Hidrogeología localizada del Sistema Acuífero Guaraní

### **SNC-Lavalin Internacional Inc.**

**(DH; PROINSA; P y T Consultora; LCV; GEODATOS)**

**2200 Lake Shore Blvd. W. Tel.: (416) 252-5311 Fax: (416) 231-5356**

**Toronto (Ontario) M8V 1A4 Canadá**

**Coordinador Proyecto: M. Sc. Adriana Lafleur**

**[adriana.lafleur@snclavalin.com](mailto:adriana.lafleur@snclavalin.com)**

Los resultados, interpretaciones, conclusiones, denominaciones y opiniones vertidas en este informe y la forma en que aparecen son responsabilidad exclusiva del autor y no implican juicio alguno sobre las condiciones jurídicas de los países, territorios, ciudades o zonas, o de actividades diversas, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites, por parte de los países beneficiarios, ni de la Secretaría General de la OEA (SG/OEA), ni de la Secretaría General del Proyecto (SG-SAG).



## **PLAN DE CONTROL DE PROCEDIMIENTOS Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD**

Componentes del conocimiento

Construcción del Programa o Plan

II) Determinación de las unidades de Medición

**A) PROCEDIMIENTOS DE LAS DIVERSAS ACTIVIDADES CIENTÍFICO-TECNICAS  
DESARROLLADAS Y PRODUCTOS PRINCIPALES**

Mapas Temáticos

### **Revisión del Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Guaraní**

El presente informe tiene por objeto exponer los principales comentarios resultantes del análisis de **El mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Guaraní (SAG) y su relatorio**. El mismo representa la síntesis de los conocimientos hidrogeológicos del acuífero en los países donde se produce: Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay.

Este trabajo está compuesto por el Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Guaraní, preparado a escala 1:3.000.000, los mapas elaborados a escala 1:6.000.000 (simplificado mapa geológico y un mapa de pozos utilizados, mapa de isópacas, Mapa de isópacas del encima de la SAG, Mapa del Sistema del Acuífero Guaraní, Mapa Potenciométrico y Mapa de isotermas), además de un texto explicativo que resume la metodología empleada en la construcción del Mapa Hidrogeológico, y las principales observaciones y conclusiones sobre la hidrogeología.

El mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Guaraní fue desarrollado por el Estudio de Cuencas - LEBAC pertenecientes al Departamento de Geología Aplicada – DGA, el Instituto de Geociencias y Ciencias Exactas – IGCE de la Universidad Estatal Paulista - UNESP - Campus de Río Claro.

El trabajo en su conjunto cuenta con una memoria explicativa donde se hace referencia a: Trabajos anteriores sobre el sistema Acuífero Guaraní, Marco Geológico Regional, Antecedentes Geológicos, Características de las Unidades litoestratigráficas, la construcción del Mapa Hidrogeológico, Selección de pozos, Geometría de Sistema Acuífero Guaraní y Caracterización Hidrodinámica del Acuífero. En dicho texto se encuentran distribuidas 8 figuras, 1 tabla de síntesis litoestratigráficas y 10 fotos que ilustran el citado texto.

Por otra parte se presentan 9 anexos, 1 de ellos con una tabla donde están los datos constructivos, hidráulicos y otros, de todos los pozos compilados.



Los anexos son:

- Anexo 1: Tabla de pozos
- Anexo 2: Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Guaraní (1:3.000.000)
- Anexo 3: Mapa Geológico simplificado del SAG
- Anexo 4: Mapa de ubicación de los pozos
- Anexo 5: Mapa de Isópacas del SAG
- Anexo 6: Mapa de Isópacas de las formaciones por encima del SAG
- Anexo 7: Mapa del contorno estructural del SAG
- Anexo 8: Mapa potenciométrico del SAG
- Anexo 9: Mapa de Isotermas del SAG

Es importante destacar que en este informe no se pone en tela de juicio la validez de los datos presentados como así tampoco la información recopilada, solamente se hace un análisis normal sobre forma, presentación, visualización, grado de significación y otros que puedan contribuir a dar claridad al material presentado.

De la evaluación realizada podemos establecer que, en general, hay un gran trabajo de recopilación de la información sobre el Sistema Acuífero Guaraní, lo cual llevó a la consulta de 73 trabajos, entre publicados e inéditos. Esta investigación también refleja una gran disparidad de la información básica consultada por países donde el SAG está involucrado. Brasil cuenta, para este relatorio del Mapa Hidrogeológico, un total de 57 trabajos consultados, Uruguay 3, Paraguay 2, Argentina 3 y unos 8 trabajos de carácter regional. Esta disparidad se refleja notoriamente en el producto final.

Con respecto al banco de datos hidrogeológicos se han preseleccionado un total de 1238 pozos de los cuales se seleccionaron 557. En el texto no se detallan los criterios reales y concretos (hidráulicos, geográficos, hidrológicos, etc.) utilizados para esta depuración ya que implica un 55 % de los pozos seleccionados.

Es de destacar que en el relatorio se especifica la gran dificultad de trabajar en una escala de estas dimensiones y con las características de la situación antes observada.

Por otra parte y, en lo que hace a la utilización de los mismos para la confección de los mapas temáticos la utilización es de la siguiente manera:

- Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Guaraní (1:3.000.000): **92**
- Mapa de Espesura del SAG: **122**
- Mapa del contorno estructural cobertura rocosa del SAG: **259**
- Mapa potenciométrico del SAG: **347**
- Mapa de Isotermas del SAG: **263**

En esta etapa tampoco se dan explicaciones claras y concisas cuales fueron las pautas para tal depuración. Por otra parte en el Anexo 1 solamente se dan las características descriptivas y datos de los 92 pozos utilizados para la confección del mapa hidrogeológico.



Los datos de los pozos que se utilizaron para la confección de los demás mapas temáticos no se han discriminado por país.

Si tenemos en cuenta que la superficie ocupada por el Sistema Acuífero Guaraní para los distintos países es de:

- Argentina: 228.255,26 km<sup>2</sup>
- Brasil: 735.917,75 km<sup>2</sup>
- Paraguay: 87.535,63 km<sup>2</sup>
- Uruguay: 36.170,51 km<sup>2</sup>

la densidad de pozos utilizados por km<sup>2</sup> para cada uno de los mapas temáticos es:

- **Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Guaraní (1:3.000.000):**
  - Argentina: 1 pozo c/ 28.825 km<sup>2</sup>
  - Brasil: 1 pozo c/ 11.498 km<sup>2</sup>
  - Paraguay: 1 pozo c/ 7.957 km<sup>2</sup>
  - Uruguay: 1 pozo c/ 5.167 km<sup>2</sup>
- **Mapa de Espesura del SAG:**  
1 pozo c/ 8.933,34 km<sup>2</sup>
- **Mapa del contorno estructural cobertura rocosa del SAG:**  
1 pozo c/ 4.200,30 km<sup>2</sup>
- **Mapa potenciométrico del SAG:**  
1 pozo c/ 3.135,09 km<sup>2</sup>
- **Mapa de Isotermas del SAG:**  
1 pozo c/ 4.136,42 km<sup>2</sup>

Por lo que se puede apreciar la densidad de pozos con datos disponibles es muy pobre, fundamentalmente en Argentina, Uruguay y Paraguay y algunas regiones de Brasil, por lo que el resultado de los mapas temáticos implica contar con un gran factor de incertidumbre. Si a este factor se le suma, tal como se explica en el texto, la gran variabilidad espacial en la recogida de los datos, este factor de incertidumbre se multiplica.

Esta situación, de alguna manera, confunde la confección de los distintos mapas temáticos ya que la gran cantidad de blancos presentes el área se le suma el tamaño de la misma y la escala de trabajo.

Con respecto a la presentación en papel del relatorio podemos decir que no se pone en tela de juicio el contenido ni la veracidad de la información, la descripción y geología del SAG, sino la forma, presentación y resultados de los distintos mapas temáticos.

En el trabajo revisado la mayoría de las figuras resultan ilegibles. En la figura 2 no se distinguen las referencias, ni ningún otro número y/o letra, los cuerpos de las mismas son demasiados pequeños. Lo mismo ocurre con las figuras 3 y 4. Las figuras 5 y 6 directamente presentan una ilegibilidad total.



Lo comentado anteriormente también se puede transcribir al anexo 2 donde la presentación de los 4 mapas temáticos (Mapa Geológico simplificado del SAG, Mapa de Isópacas del SAG, Mapa de Isópacas de las formaciones por encima del SAG y Mapa potenciométrico del SAG) presentan las mismas dificultades de legibilidad que en el párrafo anterior. También en los demás mapas temáticos se denota poca claridad en los mismos

Errores ligados a la implementación de la información. En estos casos podemos mencionar a los anexos 2, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 donde, basado en lo descrito anteriormente, sobre la disparidad y densidad de los pozos en las distintas zonas del SAG, tomar un único criterio de interpolación se constituye en una información arriesgada que podría llevar a inducir en gruesos errores en la toma de decisión o en su defecto que el modelo conceptual no sea el correcto. Esta situación lleva a disponer de una profusa información en áreas muy concentradas, con curvas isopiezométricas que no coincidirían con la realidad, lo que llevaría a redefinir los movimientos de flujo del agua subterránea del SAG. Estas consideraciones también influirían en la definición del gradiente hidráulico.

Es precisamente este hecho, junto al gran número de operaciones que se realizan en los modelos matemáticos de interpolación, lo que explica que los errores pueden llegar a ser importantes, siendo imprescindible su evaluación, corrección y minimización. En determinadas circunstancias, los errores pueden llegar incluso a invalidar los resultados de un proyecto.

Muchas veces, la utilización de metodologías menos desarrolladas, aunque también puede incluir omisiones e imprecisiones cometidas por el autor, reflejan la realidad de la zona estudiada en forma más precisa. En este caso la pericia, formación y experiencia del profesional actuante en el uso de criterios hidrogeológicos e interpretativos son fundamentales.

En lo que respecta a los cortes hidrogeológicos esquemáticos presentados en el Anexo 2 se puede observar que los mismos varían entre los 700 y 1200 Km. lo longitud con blancos de información que pueden llegar a los 700 Km. De la misma manera las imprecisiones debidas al carácter poco definido de estos blancos informativos llevan a fijar límites formacionales poco precisos. Por ejemplo, en ocasiones es difícil establecer donde acaba un Formación y comienza otra.

En la Geometría del Sistema Acuífero Guaraní, el Informe presenta una descripción detallada basada principalmente en los trabajos Geológicos anteriores y perforaciones ya realizadas. Con respecto a los límites del SAG, se presentan con un gran factor de irresolución, fundamentalmente en el límite sur del acuífero que, según los autores *“se caracteriza también por la falta de afloramientos, principalmente en el territorio argentino, así como una insuficiente cantidad de pozos que no permiten una definición en su terminación en esta región.*

*La definición del suroeste de límite de SAG se basa en el reconocimiento los elementos constitutivos de un acuífero del subsuelo, principalmente de la evaluación de los datos existentes de los pozos de petróleo perforados en Región de la Cuenca Chacoparanaense en territorio argentino”.*





En la caracterización Hidrodinámica del acuífero los autores mencionan que *“los niveles de agua (estáticos) tomadas de pozos perforados en el SAG, que sirvieron para la construcción del mapa potenciométrico (Anexo 8) y la definición las condiciones y las direcciones preferenciales de flujo de las aguas, presentado en el Mapa Hidrogeológico (Anexo 2) se obtuvieron a partir de banco de datos oficiales que muestran, en general, los valores medidos en el momento de la construcción del pozo. Como no existe un programa regular de mediciones piezométricas en cualquiera de los países donde se produce el SAG, las mediciones abarcan un amplio espacio temporal”*.

*“En este sentido, los mapas potenciométricos e hidrogeológicos deben considerarse como la representación del modelo conceptual del flujo de las aguas subterráneas y no del acuífero. Tampoco se considera las variaciones localmente afectadas por el prolongado y excesivo bombeo producidas en el acuífero”*. De tenerse en cuenta estas variaciones temporales llevaría a cambiar el sentido del modelo hidrodinámico del acuífero, e inclusive una redefinición de las área de recarga y descarga.

También se hace una descripción interesante sobre zonas de recarga y descarga lo que lleva a distinguir cuatro grandes áreas hidrodinámicas para el SAG, que tienen relación directa con el modelo conceptual presentado, NE, E, W, y S.

El mismo concepto que se vierte para el trazado de las curvas isopiezométricas se puede concebir para el trazado de las curvas isotermas.

Por último y, desde el punto de vista hidrogeoquímico, en el informe se presentan cuatro principales zonas hidrogeoquímicas que se bosquejan en el mapa del Anexo 2.

Esta caracterización se puede visualizar mediante **Diagramas de Stiff** o Poligonales donde se representan la concentración de aniones (hacia la derecha) y cationes (hacia la izquierda) en semirrectas paralelas, uniendo los extremos generando un polígono.

Estos diagramas se presentan caracterizando áreas y no el pozo en si mismo por lo que, considerando la escala de trabajo y en coherencia con lo antes descrito, en el mapa solamente se puede considerar como un simple bosquejo hidrogeoquímico.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

Se ha abordado la revisión del Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Guaraní. El mismo representa la síntesis de los conocimientos hidrogeológicos del acuífero en los países donde se produce: Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay y plantea un esquema del funcionamiento hidrogeológico de las aguas subterráneas.

- Este trabajo se considera un novedoso aporte al conocimiento hidrogeológico regional del Sistema Acuífero Guaraní, siendo un estudio a partir del cual se abre el camino a futuras investigaciones de carácter más específico y local.



- La insuficiencia de datos en determinadas áreas condiciona el planteo de diversas hipótesis cuya verosimilitud se puede ver afectada al momento de llevar adelante la gestión del SAG.
- Se establece un sistema de flujo, donde existirían cuatro grandes áreas hidrodinámicas para el SAG, que tienen relación directa con el modelo conceptual presentado, NE, E, W, y S.
- Puede considerarse, en consecuencia, una zonación geoquímica del SAG, diferenciada en por lo menos cuatro partes, que se corresponden como Bicarbonatadas-Cálcicas, Bicarbonatadas-Sódicas, Sulfatadas-Cloruradas-Sódicas y Cloruradas-Sódicas
- Es importante destacar que la escasez de antecedentes en determinadas áreas de la región contribuyen de manera notable a que el trabajo tuviera un enfoque generalista. No obstante se ha profundizado en cada una de las regiones con mayor información con la debida rigurosidad. La integración de todas ellas ha permitido obtener un modelo conceptual serio.
- Es por esto que, un relevamiento de estas características y en la escala en el cual fue realizado, se lo puede considerar como finalizado.

## **SUGERENCIAS**

Se plantean algunas sugerencias que podrán ser tenidas en cuenta en futuros estudios en la región.

- Sería importante poder efectuar los mapas isopiezométricos con datos contemporáneos ya que, si bien se plantea que lo presentado solo refleja un modelo de flujo de las aguas subterráneas y no del acuífero, puede inducir a errores en la gestión del SAG. Lo mismo se puede considerar para el resto de las isolíneas.
- Con respecto al banco de datos hidrogeológicos sería importante poder realizar una ponderación de los mismos basada en un control de calidad, lo que llevaría a tener un producto más confiable.
- Se debería considerar continuar con los estudios del Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Guaraní, preparado a escala 1:3.000.000, dividiendo al mismo en las cuatro grandes áreas planteadas para la hidrodinámica del SAG interrelacionada con las cuatro principales zonas hidrogeoquímicas. El mismo convendría que sea en escala con mayor detalle. También la división de estas áreas se podría llevar a cabo por país.
- Para lo considerado anteriormente se deberían establecer pautas metodológicas generales para las cuatro regiones pero, para cada área en particular se podrían establecer metodologías específicas acorde a las condiciones hidrogeológicas, geográficas, del conocimiento, etc. del lugar.



- A partir de esto se debería intensificar la investigación en aquellas superficies que más lo necesiten, para así poder homogeneizar la información en la totalidad de las áreas.
- Se sugiere que los lugares del mapa como en los cortes hidrogeológicos esquemáticos con poca información o directamente con blancos, se deje expresa constancia que la información presentada es con reserva del caso.
- Montevideo, 14 de agosto de 2008

Dr. Carlos Juan Schulz



GEF



Banco Mundial



OEA

---

Secretaría General del Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní  
Edificio Mercosur - Dr. Luis Piera 1992, 2º piso - (CP:11200) - Tel/Fax: (598 2) 410 03 37  
e-mail: [sag@sg-guarani.org](mailto:sag@sg-guarani.org) - web: [www.sg-guarani.org](http://www.sg-guarani.org)  
Montevideo - Uruguay

---