



## **PLAN DE CONTROL DE PROCEDIMIENTOS**

**Y**

## **ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD**

### **Del Conocimiento Técnico y Científico del SAG**

## **INFORME FINAL del CONTENIDO DE LOS INFORMES DEL PLAN**

**DICIEMBRE 2008**





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 I 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.

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 Consulting Engineers Ltd., Seinco S.R.L.,  
Hidroestructuras S.A., Hidrocontrol S.A., Hidroambiente S.A**

Licitación LPI/03/05 - TF 050950 Servicios de Inventario, Muestreo, Geología, Geofísica, Hidrogeoquímica, Isótopos, Hidrogeología localizada y otros, 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**



## ***Equipo del Proyecto***

### ***Responsables Nacionales:***

*Por Argentina*

*Por Brasil*

*Por Paraguay*

*Por Uruguay*

*Fabián López*

*Eustáquio Luciano Zica*

*Carlos López Dose*

*Víctor Rossi*

### ***Coordinadores Nacionales:***

*Argentina*

*Brasil*

*Paraguay*

*Uruguay*

*Miguel Ángel Giraut*

*María Josefa Fioritti (Co-coordinadora)*

*María Santi (Co-coordinadora)*

*João Bosco Senra*

*Adriana Niemeyer Pires Ferreira (Co-coordinadora)*

*Elena Benítez*

*Lourdes Batista*

### ***Representantes OEA:***

*Jorge Rucks*

*Carlos Sténeri*

### ***Representantes Banco Mundial:***

*Abel Mejía*

*Douglas Olson*

*Samuel Taffesse*

### ***Secretaría General:***

*Secretario General*

*Coordinador Técnico I y VI*

*Coordinador Técnico II y V*

*Coord. Comunicación*

*Asistente técnico*

*Coord. Administración*

*Auxiliar Administrativa*

*Auxiliar Administrativo*

*Informática*

*Secretaria Bilingüe*

*Secretaria Administrativa*

*Luiz Amore*

*Jorge N. Santa Cruz (Gerente de Servicios)*

*Daniel H. García Segredo*

*Roberto Montes*

*Alberto Manganelli*

*Luis Reolón*

*Virginia Vila*

*Mathías González*

*Diego Lupinacci*

*Patricia Guianze*

*Rossana Obispo*

### ***Facilitadores Proyectos Piloto:***

*Concordia – Salto*

*Rivera – Santana*

*Itapúa*

*Ribeirão Preto*

*Enrique Massa Segui*

*Achylles Bassedas*

*Alicia Eisenkölbl*

*Mauricio Moreira dos Santos*



## SUMARIO

Introducción

Objetivos

Metodología

Inventario y Muestreo de pozos

Hidroquímica e Isotopía

Banco de Datos Hidrogeológicos

Geología

Laboratorio de petrografía

Geofísica

Mapas Base escala local

Mapa Hidrogeológico

Ensayos de Bombeo

Modelos Numéricos Pilotos

Pasantías y Estancias en Empresas como colaboración al Control de Calidad

Recursos humanos Empresas



## Introducción

La objetivo general del Proyecto es apoyar a Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay en la elaboración e implementación conjunta de un marco técnico, legal e institucional para proteger y gestionar el Sistema Acuífero Guaraní (SAG).

Considerando la falta de datos precisos que permitan a los países gerenciar y tomar decisiones fundadas sobre el desarrollo y uso sostenible del SAG, uno de los componentes principales del Proyecto está orientado al fortalecimiento y profundización del conocimiento técnico y científico sobre este recurso hídrico.

La identidad del proyecto puede ser sintetizada en la idea de dos importantes procesos que corren paralelos e interrelacionados:

- el desarrollo del Análisis Diagnóstico Transfronterizo y del Programa Estratégico de Acción; y
- el desarrollo de un proceso de construcción de conocimiento y capacidades que dependen de un conjunto de actividades técnicas y científicas (Componentes 1 y 6 del Proyecto). Este proceso de desarrollo de conocimientos y capacidades se organiza en torno a tres contratos principales cuyas actividades son ejecutadas por empresas o consorcios internacionales adjudicatarios de licitaciones públicas internacionales:
  - Hidrogeología general, termalismo y modelo regional, ejecutado por el Consorcio Guaraní ( Tahal de Israel , Hidroestructuras de Argentina, Arcadis Hidroambiente de Brasil, Hidrocontrol de Paraguay y Seinco de Uruguay ).
  - Servicios Básicos de Cartografía y elaboración del mapa base del Acuífero Guaraní, ejecutado por Tecslut Internacional Limiteé de Canadá.
  - Servicio de inventario, muestreo, geología, geofísica, hidrogeoquímica, isotopía y actividades de campo en hidrogeología del Sistema Acuífero Guaraní, ejecutado por SNC- Lavalin , asociada a PROINSA, P&T , LCV, y Geodatos de Argentina, y DH Perforación de Pozos, de Brasil.



## Objetivos

Los Objetivos del Plan de Control de Calidad son controlar, asegurar y eventualmente corregir:

- Los procedimientos de ejecución y los productos inherentes a las principales actividades científico técnicas de las Empresas que prestan servicio al Proyecto
- Los Recursos Asignados a la ejecución de esas actividades o tareas (infraestructura, capital Humano, equipamiento, aspectos organizativos);
- El propio control de calidad realizado por la empresa contratista (y el de la SG)

## Metodología

El mecanismo del Programa de Control de Calidad funcionó de la siguiente manera:

- a) Cada Unidad Nacional de Ejecución del Proyecto (UNEP) designó especialistas en distintas áreas tales como: Geólogos estratígrafos, Geólogos estructurales, Hidrogeólogos, Geofísicos, Químicos, Especialistas en sistemas de información y modelistas matemáticos, especialmente.
- b) Ese grupo de especialistas fue convocado en determinadas ocasiones por la SG/SAG, para ejecutar tareas sistemáticas de control de calidad en áreas geográficas definidas fuera del país de origen de cada uno y de acuerdo con su campo de competencia.
- c) Entre sus deberes y responsabilidades los especialistas debieron realizar control de calidad de los procedimientos, productos y asignaciones de recursos de los contratistas en función de pautas técnicas establecidas. Además debieron desarrollar informes a ser presentados a la SG.

En ocasiones que lo ameritaban los especialistas nacionales fueron acompañados por los técnicos de la Secretaría General.



En ciertos casos, la SG/SAG ha solicitado ajustes técnicos a las empresas a cargo de los trabajos bajo control.

d) La SG/SAG analizó y tomó en cuenta los resultados de control de calidad de procedimientos y productos que realizaran a su vez las Empresas.

e) En casos de necesidad operativa se contrataron los servicios locales de pequeñas empresas, caso el control de campo de los mapas base de los Pilotos.

Las actividades que forman parte del plan y las tareas controladas fueron:

### **Inventario y Muestreo de pozos, Hidroquímica e Isotopía**

- Procedimientos de campo
- Laboratorios
- Equipamiento

### **Geología**

- Mapeo geológico y transectas. Mediciones realizadas.
- Muestreo de perfiles estratigráficos
- Muestreo petrográfico

### **Geofísica**

- Trabajos de mediciones de campo

### **Laboratorio de petrografía**

- Infraestructura y equipamiento utilizado

### **Cartografía Topográfica y Temática**

- Mediciones de campo y revisión de mapas en gabinete.

### **Ensayos de Bombeo**

- Procedimientos y equipamiento utilizado
- Interpretación





## **Banco de Datos**

## **Mapa Hidrogeológico Regional**

## **Recursos Humanos**

## **Infraestructura de las Empresas**



## **INVENTARIO Y MUESTREO / HIDROQUÍMICA e ISOTOPIA**

Los servicios de Inventario y Muestreo junto con los de Hidroquímica e Isotopía fueron de la empresa SNC – Lavalin Internacional de Canadá la cual contrató para su realización a las empresas Proinsa (Proyectos de Ingeniería S.A.) de Argentina en la Subregión Operativa Sur y DH Perfurações Ltda de Brasil en la Subregión Operativa Norte.

Los sistemas de calidad desarrollados a través de programas específicos se detallan a continuación.

### **PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD CONTRATO LAVALIN**

#### **Procedimientos**

Lavalin exigió a las empresas subcontratadas que adopten para la realización de sus actividades tanto en campo como en gabinete un SISTEMA DE CALIDAD DE PROCEDIMIENTOS DE HIDROGEOQUÍMICA E ISOTOPIA especificado en las *Normas ISO 9001:2000 Hidrogeoquímica e Isotopía*. (ANEXO Lavalin Carpeta 2)

También toma como referencia en los procedimientos los Informes de consultoría de Hidroquímica e Hidrogeoquímica elaborados por los especialistas *José Eliseo Lobos* de Argentina y *André Virmond Lima Bittencourt* de Brasil.

Disponible en: <http://www.sg-guarani.org/index/site/proyecto/pto006b.php>.

#### **Laboratorios de Hidrogeoquímica**

Siguiendo los requerimientos de la SG/SAG, SNC – Lavalin realizó controles de calidad de los análisis de laboratorio durante el Primer y Segundo año de muestreo.

Para tal acción en el Primer año se compararon muestras analizadas en laboratorios locales de ambas subregiones operativas Norte y Sur (*las Certificaciones correspondientes a c/u de los laboratorios se encuentran en el anexo Carpeta Lavalin*), con valores de análisis



realizados en Canadá. Se compararon 6 muestras (3 de cada Subregión) con los resultados de análisis de las mismas muestras realizados en Canadá.

#### LABORATORIO DE SUB – REGIÓN NORTE (SON)

El día 9 de Mayo de 2007, SNC- Lavalin junto con DH efectuaron una visita de control de calidad al Laboratorio Ecolabor en San Pablo, Brasil.

Durante la reunión se discutieron las diferencias encontradas en algunos parámetros respecto a los valores, en las mismas muestras, por el Laboratorio SGS LAKEFIELD de Canadá.

Ecolabor explicó que el método utilizado para determinar metales es el Standard Methods, Inductively Coupled Plasma (ICP), similar al usado por el Laboratorio de Canadá, lo que eliminaría fuentes de diferencia en la comparación.

Asimismo, Ecolabor expuso el método para determinación de límite de detección interno del Laboratorio y explicó las curvas de relación-intensidad vs. Concentración de los elementos. De tal forma, demostró que la diferencia de valores entre laboratorios, en la mayoría de los parámetros, es debido a una relación matemática, lo que no afecta la validez de las mediciones químicas. Ecolabor entregó los cálculos de curva de calibración del Cobre y del Cromo para demostrar la validez de los resultados de dichos parámetros, que mostraron diferencias con el Laboratorio de Canadá.

Se observó la importancia de calcular el balance Iónico de Cationes y Aniones para cada muestra analizada. Ecolabor entregó los balances Iónicos de las muestras usadas para Control de Calidad. Las tres muestras controladas muestran un porcentaje de balance Iónico entre -5% y -8% que es aceptable dentro según el criterio de Standard Methods.



En Anexo (*Lavalin Carpeta 5* Pagina 14) se presentan las comparaciones de resultados de los laboratorios de Brasil y Canadá y los documentos explicativos presentados por Ecolabor.

En conclusión, se aceptaron las explicaciones del Laboratorio de Ecolabor respecto a las diferencias de valores entre laboratorios y se concluyó que los análisis cumplen con los estándares de calidad requeridos por el proyecto.

### ACCIONES CORRECTIVAS

No se requirieron acciones correctivas para el laboratorio de Subregión Norte (SON).

### LABORATORIO DE SUB-REGIÓN SUR

El día 11 de Mayo de 2007, SNC- Lavalin junto con Proinsa mantuvieron una conferencia telefónica para efectuar el Control de Calidad del Laboratorio de la Universidad Nacional del Litoral – Santa Fé, Argentina.

Durante la reunión se discutieron las diferencias encontradas en algunos parámetros respecto a los valores, en las mismas muestras, medidos por el Laboratorio SGS – LAKEFIELD de Canadá.

El Laboratorio UNL explicó que el método utilizado para determinar la mayoría de metales es el Standard Methods, Espectro Fotómetro de Absorción Atómica, Método de llama, diferente del usado por el Laboratorio de Canadá que es el Inductively Coupled Plasma (ICP), lo que podría introducir ciertas diferencias en la comparación.

Asimismo, el laboratorio de UNL confirmó que cumple con los límites de detección requeridos por los términos de referencia y entregó los límites de detección y sensibilidad interno del laboratorio, correspondientes a cada norma de detección analítica.



El Laboratorio UNL entregó la explicación de método de Sulfonazo III para medición de Bario y la curva de calibrado con la comparación de valores obtenidos. También entregó la explicación del método Zincon para medir Zinc y la correspondiente curva de calibración, según el Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE) del CONICET, Argentina.

Se observó la importancia de calcular el Balance Iónico para cada muestra analizada. El Laboratorio de UNL entregó los balances iónicos para las muestras usadas para control de Calidad. Las muestras controladas tenían un porcentaje de Balance Iónico aceptable según el criterio del Standard Methods pero en otras había significativas diferencias.

Se observó que las muestras provenientes de aguas muy saladas, presentaban mayores diferencias en resultados al compararla con Canadá. El Laboratorio UNL explicó que efectivamente había encontrado problemas al medir las muestras muy saladas.

En (ANEXO *Lavalin Carpeta 5* pagina 30) se presentan las comparaciones de resultados de los laboratorios de Argentina y Canadá y los documentos explicativos presentados por el Laboratorio de la Universidad Nacional del Litoral (UNL)

En conclusión el laboratorio no cumplió con todos los requerimientos de calidad establecidos por los procedimientos de hidrogeoquímica e Isotopía del Proyecto, por lo que se decidió tomar las acciones correctivas que se describen a continuación:

## ACCIONES CORRECTIVAS

Los resultados de los análisis y las aclaraciones provistas por el laboratorio fueron consideradas y discutidas por Lavalin con la empresa Proinsa y con la Secretaría General, durante el Taller de Empresas realizado el 15 de Mayo de 2007 en Montevideo. Se acordó:

- Proinsa: re – muestrear seis sitios para que el Laboratorio de UNL analice, incluyendo sitios de agua salada y de agua no salobre.



- Los pozos a re – muestrear con el protocolo básico (únicamente) de hidrogeoquímica serán los siguientes: 1 pozo en Itapúa, 1 pozo en Rivera – Santana, el pozo La Paz, el pozo Villa Elisa, el pozo Federación y el pozo Concordia.
- Los análisis deberán ser realizados en el Laboratorio de UNL y el Control de Calidad se hará en el Laboratorios SGS en Buenos Aires.
- El Laboratorio SGS, fue elegido por cumplir con los requisitos de calidad establecidos por los términos de referencia y además por tener el mismo método analítico que el Laboratorio UNL.
- Los laboratorios debieron calcular los balances iónicos y repetir los análisis donde fue necesario garantizar los resultados.
- Los laboratorios debieron presentar sus resultados internos de Control de Calidad y Ensayos.

## ACATAMIENTO DE LAS MEDIDAS CORRECTIVAS

La comparación de resultados de laboratorio de (SOS) con el laboratorio de referencia se realizó siguiendo los procedimientos establecidos por el “Standard Methods for the examination of Water and Wastewater” referido en el texto como Standard Methods.

El Laboratorio UNL utiliza para determinar la mayoría de los metales el Standard Methods, Espectrofotómetro de Absorción Atómico, Método de Llama, diferente del usado por el laboratorio de Canadá que es el Inductively Coupled Plasma (ICP), lo que podría introducir ciertas diferencias en los resultados.

A fin de eliminar toda posible fuente de diferencias se decidió usar como laboratorio de referencia al Laboratorio SGS Buenos Aires, Argentina, el cual usa el mismo que el Laboratorio UNL para determinar metales o sea el Standard Methods, Espectrofotómetro de Absorción Atómica, Método de Llama.



Se confirmó que el Laboratorio de UNL cumple con los límites de detección requeridos por los términos de referencia y entregó los límites de detección y sensibilidad interno del laboratorio, correspondiente a cada norma de detección analítica.

EL laboratorio de la UNL entregó los Balances Iónicos de las muestras usadas para control de calidad. Las muestras controladas muestran un porcentaje de balance iónico aceptable según el criterio de Standard Methods.

La tabla N° 1 que se presenta a continuación resume las medidas correctivas enunciadas con anterioridad y el cumplimiento de las mismas por parte de la empresa Proinsa y el laboratorio de la Subregión operativa Sur (SOS)

Tabla No. 1 – Cumplimiento de Medidas Correctivas

<b>Medida Correctiva</b>	<b>Cumplimiento</b>
PROINSA deberá Re-muestrear 6 sitios para que el laboratorio de UNL analice, incluyendo sitios de agua salada y de agua no salobre.	Cumplió
Los pozos a re-muestrear y analizar con el protocolo básico (únicamente) de hidrogeoquímica son los siguientes: Un pozo en Itapúa, un pozo en Rivera-Santana, el pozo La Paz, el pozo Villa Elisa, el pozo Federación, y el pozo Concordia.	Cumplió
Los análisis serán realizados en el laboratorio de UNL y el control de calidad se hará en el laboratorio SGS Buenos Aires, Argentina.	Cumplió
El laboratorio SGS Buenos Aires, fue elegido por cumplir con los requisitos de calidad establecidos por los Términos de Referencia y además por tener el mismo método analítico que el laboratorio de UNL.	Cumplió
Los laboratorios deben calcular los balances de aniones y cationes y repetir los análisis donde sea necesario garantizar los resultados	Cumplió
Los laboratorios deben presentar sus resultados internos de control de calidad y ensayos.	Cumplió



En el anexo (Lavalin pagina 5 archivo 6) se presentan las comparaciones de resultados entre los Laboratorios Argentinos de la Universidad Nacional del Litoral (UNL), Santa Fé, y SGS Buenos Aires, tomado como referencia

Algunas de las comparaciones de los resultados de los análisis de los laboratorios cumplen con los criterios establecidos por Standard Methods. Cuando las comparaciones muestran diferencia de valor cuantitativo, son absolutamente consistentes en su valor cualitativo (muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo).

En conclusión, el laboratorio cumplió con todos los requerimientos de calidad establecidos por los procedimientos de Hidrogeoquímica e Isotopía del proyecto. Los resultados obtenidos permitirán realizar una apropiada caracterización del Sistema Acuífero Guaraní.

## **PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD PRESENTADO POR LA EMPRESA PROINSA**

Los productos de la empresa PROINSA referidos al inventario y muestreo, Hidroquímica e Isotopía fueron:

- MUESTREO *IN SITU* – ÁREA REGIONAL
- MONOGRAFÍAS DE POZO – ÁREA REGIONAL
- MUESTREO *IN SITU* – ÁREAS PILOTO
- MONOGRAFÍAS DE POZO – AREAS PILOTO
- MUESTREO ISOTÓPICO

## **PROCEDIMIENTOS E INFRAESTRUCTURA**





Los procedimientos e infraestructura utilizados se detallan en el anexo Hidroquímica e Isotopía

*“Procedimiento Inventario y Muestreo Hidroquímico en la SOS (PROINSA) “*

## **CONTROL DE CALIDAD DE ACTIVIDADES DE CAMPO Y LABORATORIO**

### **MUESTREO DE CAMPO**

#### **Control Interno**

Realizaron blancos y duplicados de muestras para constatar la pureza de los conservadores químicos y detectar posible contaminación o error sistemático desde la toma de muestra hasta el análisis de laboratorio.

#### **Auditorías de Campo**

Tanto expertos de los países como Lavalin acompañaron a la empresa durante varios días cuando se realizaban trabajos de campo y se verificaban el seguimiento de todos los pasos indicados en el manual de procedimientos para la toma de muestras de agua y cadena de custodia.

Les realizaron las siguientes auditorías de campo:

##### **Auditoría de SNC-Lavalin**

Fecha: 09 de octubre de 2006

Lugar: Piloto Salto-Concordia

Auditor: Coordinador del Proyecto Andrew Gilchrist, Henri P. Sangam, James Harris.

##### **Auditorías de Expertos**



Supervisión de muestreo isotópico:

Fecha: 17 - 18 de agosto de 2006

Lugar: Piloto Salto-Concordia

Supervisor: Ing. Samuel Hernández.

Organismo internacional de Energía Atómica (OIEA)

Fecha: 30 de octubre - 01 de noviembre de 2006

Lugar: PROINSA y piloto Salto-Concordia

Auditora: Dra. Marisol Manzano Arellano (OIEA)

Auditorías de la SG-SAG

Fecha: 01- 02 de diciembre de 2006

Lugar: Piloto Itapúa

Auditor: Dra. Gladys Alcaraz

Fecha: 28 de Noviembre al 5 de Diciembre de 2006.

Lugar: Piloto Itapúa.

Auditor: Alicia E. Facilitadora Local del Proyecto Piloto Itapúa.

Fecha: Agosto 2006

Lugar: Concordia Salto

Auditor: Enrique Massa Facilitador Local del Proyecto Piloto Salto – Concordia

Fecha: Agosto 2006

Lugar: Concordia - Salto

Auditor: Alberto Manganelli



Fecha: 6 Noviembre 2006.

Lugar: Rincón de Valentin (Salto Uruguay).

Auditor: Enrique Massa Facilitador Local del Proyecto Piloto Salto – Concordia.

## LABORATORIO

Para los análisis químicos no isotópicos realizaban en coordinación con SNC- Lavalin, un control analítico con laboratorios de contraste para control de calidad de resultados de análisis.

Realizaban además, en coordinación con la SG-SAG, un control de calidad cruzado con la empresa DH de Brasil, donde se intercambiaban muestras por duplicado para analizar en los laboratorios de Argentina y Brasil involucrados en el Proyecto.

Se realizaron las siguientes auditorías de laboratorio

Auditoría de SNC-Lavalin

Consistió en la toma de muestras dobles y el envío de las mismas para ser analizadas en un laboratorio en Toronto, Canadá, a fin de efectuar un control de calidad de los métodos de análisis utilizados.

Realizaron el envío de 6 muestras:

Auditorías de la SG-SAG

Auditoría de instalaciones y procedimientos de laboratorios contratados

Fecha: 11,12 y 13 de setiembre de 2006

Lugar: Santa Fe

Auditor: Ing. Qca. Gladys Alcaraz - Jefa de Calidad de Agua - Paraguay



Fecha: 30-31 de Agosto

Lugar: Laboratorio de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) Santa Fé - Argentina.

Auditores: Q.F. Rita Caristo – Jefe Laboratorio OSE Uruguay

Ing. Qca Gladys Carmen Alcaraz -

Jefa de Calidad de Agua – Paraguay.

Realizaron el envío de 4 muestras al laboratorio de Brasil en coordinación con la empresa DH:

Gabinete:

A los trabajos de gabinete se los auditaba SNC-Lavalin que realizaba informes mensuales en donde detallaban las actividades y adjuntaba los resultados de análisis de laboratorio realizados en cada período.

Además se mantenía un permanente contacto vía correo electrónico con el coordinador del Proyecto de SNC-Lavalin y con el cuerpo técnico de la Secretaría General.

## **PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD PRESENTADO POR LA EMPRESA DH**

Los productos de la empresa DH referidos al inventario y muestreo, Hidroquímica e Isotopía fueron:

- MUESTREO *IN SITU* – ÁREA REGIONAL
- MONOGRAFÍAS DE POZO – ÁREA REGIONAL
- MUESTREO *IN SITU* – ÁREAS PILOTO



- MONOGRAFÍAS DE POZO – AREAS PILOTO
- MUESTREO ISOTÓPICO

## PROCEDIMIENTOS E INFRAESTRUCTURA

Los procedimientos e infraestructura que utilizaban se detallan en el anexo Hidroquímica e Isotopía

*“Procedimiento Inventario y Muestreo Hidroquímico en la SON (DH) “*

## CONTROL DE CALIDAD DE ACTIVIDADES DE CAMPO Y LABORATORIO

### MUESTREOS DE CAMPO

#### ***Control Interno***

Para control de las análisis In Situ realizaban calibraciones diarias de los pHmetros (tampones 4,01 e 7,01), conductímetro (solución standard de 1460  $\mu$ A) e Potencial Redox.

El electrodo de los aparatos también lo sujetaban a una comprobación mensual donde el potencial medido a pH 7,01 .

Para alcalinidad, también hacían análisis para control de calidad, donde se intentaba verificar errores de observación del punto de cambio del indicador. Para hacerlo realizaban titulaciones con patrones conocidos de  $\text{CaCO}_3$ .

#### Auditorías de Campo

Tanto expertos de los países como Lavalin acompañaban a la empresa durante algunos días cuando se realizaban trabajos de campo y verificaban el seguimiento de todos los pasos indicados en el manual de procedimientos para la toma de muestras de agua.

Les realizaron las siguientes auditorías de campo:

Auditorías de SG-SAG



Supervisión de muestreo de isotopía:

Fechas: 14 y 15 de Agosto de 2006

Lugar: Piloto Ribeirão Preto

Auditor: Ing. Samuel Hernandez

Supervisión de las tareas de campo

Fecha: 19 y 20 de Agosto

Lugar: Piloto Ribeirão Preto

Auditor: Rita Caristo

Fecha: Junio 2007

Lugar: Londrina – Zona Del Paraná

Auditor: Ing. Qca. Gladys Carmen Alcaraz Jefa de Calidad de Agua – Paraguay

Fecha: 18 – 27 Diciembre de 2006

Lugar: Sao Carlos E. Araraquara (SP/ BR)

Auditor: Heraldo Campo Facilitador Local Del Proyecto Piloto Ribeirao Preto

Fecha: 13- 15 Agosto de 2006

Lugar: Ribeirao Preto (BR)

Auditor: Heraldo Campo Facilitador Local Del Proyecto Piloto Ribeirao Preto

Auditoria da SNC-Lavalin

Fecha: 14 y 15 de Agosto de 2006

Local: Ribeirão Preto

Auditor: Adriana Lafleur



Fecha: 25 y 26 de Abril de 2007

Lugar: São Paulo Ribeirão Preto y Bebedouro

*Auditor: Coordinador del Proyecto Andrew Gilchrist*

## Laboratorio

Para control de los parámetros físico-químicos, microbiológicos y orgánicos, realizaban, en conjunto con SNC-Lavalin un control analítico de calidad del laboratorio.

Colectaron cuatro muestras en duplicidad, donde una de ellas siguió para un laboratorio en Lakefield-Ontário no Canadá a fin de chequear la calidad del Laboratorio donde enviaban las replicas.

Las siguientes muestras colectaron en duplicidad:

## Auditorias del SG-SAG

Auditoria de las instalaciones y procedimientos de los laboratorios contratados

Fecha: 20 de Setiembre

Lugar: São Paulo

*Auditor: Rita Caristo*

## SNC Lavalin

Fecha: 14 de Agosto de 2006

Auditor: Adriana Lafleur

*Fecha: 25 de Abril de 2007*

*Auditor: Andrew Gilchrist*



Finalmente, surgieron una serie de observaciones y sugerencias realizadas por la Coordinación Nacional de Argentina con motivo de la última entrega efectuada en la Zona Sur. Estas indicaciones se resumen a continuación:

- a) Agregar a los resultados presentados, el cálculo del Balance Iónico y el cálculo de error porcentual. Así podrían detectarse y corregir algunas anomalías detectadas.
- b) Información de la Metodología analítica utilizada y límite de detección de la técnica para todos los casos.
- d) En el caso del zinc (el cual en la comunicación se expresa como ocurrencia preocupante) la Organización Mundial de la Salud establece un valor guía inferior a 3 mg/l, el cual se cumple en casi todas las muestras exceptuando una.
- e) Que los límites de detección utilizados para el cadmio y el plomo no son suficientemente bajos para observar los valores guía de la OMS (LD Plomo: 30 µg/l, Valor Guía: 10 µg/l; LD Cadmio: 10 µg/l Valor Guía: 3 µg/l). Por lo tanto sólo los valores informados como absolutos para cadmio indicarían, en todos los casos, excesos por sobre el Valor Guía llegando a valores del mg/l.
- f) Realizar nuevas mediciones para el Cadmio y el Bario ya que los resultados presentados no son lo suficientemente confiables.
- g) Es imprescindible se informe el método de análisis del arsénico y por ser los primeros análisis en estos pozos, realizar una nueva medición, para concluir correctamente sobre su ocurrencia y concentración.
- h) En lo que respecta al análisis bacteriológico no se considera la aplicación de los Valores Guía de la OMS en aquellas muestras que se describen como cuerpos de agua, efluentes, etc pues estas fueron derivadas para agua de suministro para consumo humano.
- i) No es necesaria la medición de todos los parámetros mencionados en la normativa de la OMS (en particular de los numerosos compuestos orgánicos) en la República Argentina.





j) Para la medición de metales se sugiere el uso de Plasma de Acoplamiento Inductivo – Espectrometría de masa que facilita menores límites de detección e interferencias.

La Secretaria General convocó a la Especialista Química- Jefa de Control de Calidad del Laboratorio Central de Paraguay, Quím. Gladys Alcaraz quien ya había colaborado en otras ocasiones en el Plan de Control de Calidad.

Dicha profesional realizó las auditorías correspondientes entre marzo y abril de 2008 y la empresa prestadora del servicio (PROINSA) ejecutó nuevamente los análisis cuyos resultados presentaban dudas y siguió las recomendaciones efectuadas.



## **BANCO DE DATOS**

El banco de datos o geodatabase es un producto del **Consorcio Guaraní**

(Servicios de Hidrogeología General, Termalismo y Modelo Regional del Acuífero Guaraní Licitación SBCC/01/04-1/1018.1)

Su principal objetivo es almacenar datos hidrogeológicos, con el fin de que ciertas aplicaciones y procesos de iguales características formen parte de un sistema que permita monitorear el acuífero según las necesidades actuales de información, y sea lo suficientemente flexible para poder adaptarse a las necesidades futuras.

El informe final sobre la arquitectura de este producto fue presentado por el Consorcio Guarní en Setiembre de 2006. Sus principales tópicos se detallan a continuación :

- El diseño y la implementación:

La arquitectura de la BDH la diseñaron utilizando UML ( Unified Modeling language) o sea un determinado lenguaje de programación el cual es apto para ser interpretado por el Software ESRI ( ArcGis) así como por el Access de Microsoft, que utilizaron como soporte de datos alfanuméricos de la personal Database

La relación final entre objetos y tablas fue el resultado del intercambio de conceptos e ideas entre técnicos del consorcio y especialistas de los países (Taller de Bases de Datos Montevideo 11 y 12 de Octubre de 2005).

- La Ficha de Pozo

La definieron como el instrumento que permite sistematizar la recolección de datos de campo en todo el ámbito del proyecto SAG y es la herramienta de ingreso de datos a la Base de datos Hidrogeológica (BDH). Dada su radical importancia especifican en el informe su innovador formato y la manera en que debe ser cargada.

- Problemas encontrados y soluciones:

En esta sección del informe tratan el problema surgido por la gran variedad de formatos en que se encuentran los datos requeridos y la solución adoptada para salvar dicho inconveniente.



Se adjuntan en el anexo correspondiente a Base de Datos el informe de control de calidad realizado por especialista de los países en el tema.

Cabe destacar que al ser la base de datos un producto dinámico se encuentra sujeto a mejoras periódicas surgidas estas de los constantes controles de calidad efectuados por los Técnicos de la Secretaria. Por ende luego del INFORME FINAL del Consorcio se le agregaron nuevos campos y le efectuaron mejoras en la Ficha de pozos.

## **AUDITORIAS**

Se resumen los principales controles e Informes realizados a este producto por parte de sus expertos ejecutores y la Secretaria General a través de sus Técnicos:

Fecha: Enero y febrero de 2007 Febrero 2007

Labor: Se verifico la relación entre tablas, numero de pozos por país, códigos a asignar etc.

Consultor: Santiago Ferrero SG/ SAG

Fecha: marzo y abril del 2008

Labor: se realizaron visitas al consorcio para constatar los avances realizados referidos a la carga de datos geológicos de Paraguay , análisis químicos y corrección de Coordenadas :

Consultor: Santiago Ferrero





## **CARTOGRAFIA TOPOGRÁFICA Y TEMÁTICA**

### **1. Mapas Bases**

Los mapas bases son un producto de la empresa SNC – Lavalin la cual contrato para su confección a Tecslut Internacional Limited. Los mapas que elaboraron son de las cuatro áreas piloto: Concordia – Salto en Argentina y Uruguay, Rivera Santana do Livramento en Uruguay y Brasil, Ribeirao Preto en Brasil e Itapúa en Paraguay.

La metodología empleada y los controles de campo utilizados para su elaboración fueron detallada en el Informe Final Mapas Base de Áreas Piloto – Abril 2007. De manera sucinta se citan los principales tópicos de este informe:

- Fotografías áreas empleadas:

La fuente de fotos aéreas utilizadas para la confección de la cartografía.

- Control Fotogrametrico:

El control fotogramétrico fue realizado por empresas subcontratistas tomando puntos de control en tierra para llevar a cavo la Aerotriangulacion. Tecslut fue a Argentina, Paraguay y Uruguay para verificar el desempeño de las empresas subcontratistas. En Riberirao petro el control fue planeado por la misma subcontratista.

- Fotorestitución:

Fue realizada según consta en el informe de manera completa de características de planimetría y altimetría.

Utilizaron estereotrazadores analíticos o digitales. Los elementos que interpretaron en las fotografías aéreas forman parte de los mapas bases finales.



- Edición de Hoja de Mapa :

Produjeron 4 hojas de mapas a escala 1 50 000 que constituyen el sector del piloto Ribeirao Preto, dos para Itapúa, uno para Concordia – Salto a escala 1 50 000.

Para Rivera Santana do Libramento se prepararon cuatro hojas de mapa a escala 1/ 10 000 y uno a escalas 1 / 50 000.

Los controles de calidad se especifican en el informe Final presentado por Lavalin .

- Estructura de la Información digital

La información digital la estructuraron en Personal Geodatabase similar al modelo desarrollado con anterioridad por Tecsul

- Fecha de entrega

Especifica las fechas de entrega de los mapas base.

- Correcciones Realizadas

De acuerdo a lo estipulado por los técnicos especializados de la Secretaria General.

## Control de Calidad

Toda la Fase de Producción estuvo sujeta a control de calidad (modelo, digital de elevación, archivo vectorial del mapa digital y base de datos asociadas, y las láminas de impresión) correspondientes a las áreas piloto. Con respecto a los Mapas temáticos, se analizó la metodología empleada, desde la búsqueda en la base de datos original, revisión de estudios existentes y utilización de un SIG para analizar datos y producir mapas.



Se determinaron los elementos más fuertes y débiles existentes en cada Piloto al respecto de la información utilizada y los resultados gráficos de los mismos.

Especialistas de los países con la dirección de la Secretaria General generaron las Siguietes Auditorias :

Auditoría : Informe de Evaluación del Mapa Base de los Proyectos Pilotos

Lugar: Montevideo – SG / SAG

Fecha: 21 de Junio de 2007

Autor: Ing. Néstor Cabral Antúnez Esp. SIG y Cartografía Digital.

También la Secretaria General designo en cada Área Piloto Consultoras locales y pasantes para el control de calidad en campo y gabinete respectivamente.

Control de Campo :

A los efectos de comprobar la precisión, la SG – SAG realizo su propio control de calidades los Mapa Base de cada Piloto, articulado por medio de la contratación de especialistas en cada Área Piloto. Estos utilizaron puntos de chequeo seleccionados al azar que en algunos casos fueron amojonados y métodos convencionales para la verificación de la precisión horizontal y vertical de los detalles contenidos en cada lámina. Se comprobó que se ha cumplido con la tolerancia utilizada a nivel internacional, no sobrepasando los errores medios de más – menos 2,50 metros y más – menos 1,50 metros de precisión vertical para las equidistancias de 10 metros en escala 1:50.000 y 5 metros para la escala 1:10.000 respectivamente.



## **GEOLOGÍA:**

La geología del proyecto es un producto de la empresa SNC – Lavalin Internacional Inc. que contrato para su confección a P&T Consultora la cual desarrollo las siguientes actividades:

- Mapeo geológico
- Transectas, Muestreo de Perfiles estratigráfico y
- Muestreo petrográfico.

El control de calidad de ambas empresas fue articulado a través de:

En SNC – Lavalin por medio del SISTEMA DE CALIDAD PROCEDIMIENTOS DE GEOLOGÍA ISO 9001 2000 (ANEXO A GEOLOGÍA). Este establece los pasos a seguir para realizar los trabajos de geología en el campo y en el gabinete de los Lotes Norte y Sur del SAG.

En P&T Consultora por medio de un Manuales de Procedimientos, Tareas de Campo para el Sistema Acuífero Guaraní (Anexo B geología). Este especifica las prácticas y procedimientos para tareas vinculadas a la generación de los productos mencionados tales como: manejos de vehículos, Mapeo Geológico, Confección de perfiles estratigráficos y Levantamiento de cortes estructurales.

Por otra parte y en el marco del plan, especialistas designados por la Unidad de Ejecución del proyecto (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay), generaron Informes de Control de Calidad sobre los distintos trabajos de Geología (Tabla 1G)

Título	Autor
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de trabajo de campo sobre Transectas Geológicas Pirajú –</li> </ul>	Dr. Eduardo Rossello. UNEP Argentina





<p>Fatura y Rodovia Castelo Branco (Estado De Sao Paulo, Brasil )</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control al informe final de P&amp;T</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Informe de campo Área de Influencia del Proyecto Piloto Itapúa Paraguay</li> <li>Geología: Estratigrafía, Mediciones de paleocorrientes. Rivera Santana</li> </ul>	<p>Dra. Ana María Castillo C. UNEP Paraguay</p>

TABLA 1G

Por último los técnicos de la Secretaria General al igual que los Facilitadores de los Pilotos generaron informes internos de control de calidad que sirvieron para monitorear el desarrollo de esta actividad.

## **GEOFÍSICA**

El control de Procedimientos empleados, realizado por el Profesor Francisco José Fonseca Ferreira considera que la metodología aplicada es adecuada y favorable a los trabajos regionales realizados. Considera idónea a la Empresa actuante y que reúne las condiciones técnicas necesarias.

Se controló la medición de coordenadas, determinación del geoide, mediciones simultáneas, medición de la gravedad y controles efectuados en el tiempo, y la deriva del instrumental. También la reducción de datos y correcciones. También se controló el equipamiento utilizado.

Posteriormente, el prof.Ferreira controló los procedimientos de mediciones de campo del método MT y AMT, con idénticos resultados positivos.





## **LABORATORIO PETROGRÁFICO**

Este servicio estuvo a cargo de la empresa subcontratada Laboratorio de Análisis Geológicos LCV S. R. L. la cual empleo para el desarrollo de sus actividades una metodología e infraestructura especificada en un “Manual de la Calidad “(Anexos: Laboratorio Petrográfico). Este establece el Sistema de Gestión de la Calidad implementado, tomando como referencias normativas ISO/IEC 17025:1999, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayos y de calibración.

Esta norma es un estándar que fija los requerimientos para la competencia de laboratorios de ensayo y/o calibración. Estos requerimientos cubren tanto requisitos de gestión como requisitos técnicos, siendo su objetivo principal asegurar la calidad de los resultados emitidos.

## **AUDITORIAS**

Tantos miembros de la SG/ SAG como especialistas designados por la UNEPs nacionales, generaron Informes de Control de Calidad los cuales describen específicamente metodologías aplicadas, infraestructuras y avances sobre los conocimientos geológicos alcanzados por LCV.



TÍTULO	AUTOR
AVANCES EN EL CONOCIMIENTO GEOLÓGICO DEL ACUIFERO GUARANÍ A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS POR LOS ESTUDIOS ENCOMENDADOS POR LA SAG.- JUNIO2008	Dr. Eduardo A. Rossello
EVALUACIÓN DEL INFORME “ESTUDIO PETROGRÁFICO, DIAGENÉTICO, DRX, MEB, MINERALES PESADOS, PETROFÍSICA BÁSICA Y PALINOLOGIA” REALIZADO POR LCV S.R.L. (NOVIEMBRE 2007, ENERO, FEBRERO Y MAYO 2008)	Dr. Eduardo A. Rossello
VISITA TÉCNICA AL LABORATORIO LCV , FLORENCIO VARELA ARGENTINA ( MARZO 2007 )	Dr. Celso Dal Ré Carneiro





## **ENSAYOS HIDRÁULICOS EN LOS PILOTOS**

Con el fin de obtener información para alimentar el modelo matemático de las cuatro (4) áreas piloto, es decir: Concordia-Salto (Argentina-Uruguay), Rivera-Santana do Livramento (Uruguay/Brasil), Ribeirão Preto (Brasil), e Itapúa (Paraguay) se realizaron unas series de ensayos hidráulicos, cuyo objetivo principal era inferir los rangos de transmisividad y almacenamiento del acuífero.

Adicionalmente, los datos de estos ensayos fueron usados para validar los modelos matemáticos en las cuatro áreas y en particular en el área piloto Concordia-Salto en donde tuvieron como fin evaluar la interferencia entre los pozos termales infrabasalticos

La dirección e interpretación de este servicio estuvo a cargo de la empresa SNC Lavalin. Las tareas de campo fueron realizadas por las empresas subcontratadas Proinsa en los Pilotos de Salto- Concordia, Rivera- Santana e Itapúa y DH en Ribeirão Preto.

El presente informe presenta las principales tareas realizadas en cada una de las pruebas, la metodología aplicada para el análisis de los resultados y las auditorias de campo efectuadas por la SG/SAG

### **Tareas Realizadas**

- **Salto Concordia**

Durante el mes de marzo del año 2007 se llevaron a cabo dos (2) ensayos en el área piloto Concordia Salto. El primer ensayo hidráulico lo realizaron en el pozo del Club Remeros Salto (Remeros), localizado en Uruguay, donde un pozo denominado “ OSE “ (también en Uruguay) actuó como pozo de observación. El segundo ensayo se hizo en las Termas de Villa Zorraquin (Zorraquin) en Argentina, y el pozo de observación estuvo en



Vertientes de la Concordia (Vertientes). También realizaron análisis adicionales de la información histórica de ensayos hidráulicos realizados en el año 2002 por la Dirección Nacional de Minería y Geología (Dinamige) - Uruguay) .en los pozos Kanarek y Dayman, los que estaban a unos 300 m de distancia.

Los resultados de los ensayos desarrollados por Proinsa complementados con información histórica de ensayos realizados por Dinamige indicaron que hay alguna interferencia entre los pozos; el nivel de interferencia depende de la tasa de descarga y de la distancia entre las perforaciones. Para los ensayos en Remeros, los abatimientos máximos que registraron en el pozo de descarga (Remeros) y en el pozo de observación (OSE) fueron de 33,1 m y 1.5 m, respectivamente. Para los ensayos en Zorraquin, los abatimientos máximos registrados del nivel de agua durante los ensayos fueron de 17 m en Zorraquin (pozo de descarga) y 12,5 m en Vertientes (pozo de observación).

Los valores máximos de abatimiento registrados en el nivel del agua durante los ensayos históricos cuando el pozo Dayman funcionó como un pozo de descarga fueron de 41,8 m en Dayman (pozo de de descarga) y 3,3 m en Kanarek (pozo de observación). Sin embargo, cuando el pozo Kanarek funcionó como pozo de descarga, el abatimiento fue de 32,8 en Kanarek (pozo de descarga) y 3,3 m en Dayman (pozo de observación)

- **Rivera Santana**

Ensayaron pozos en Parque Hidráulico del Departamento de Agua y e Esgostos. DAE. (BRASIL) Sistema Barrio Armur DAE (Brasil), Usina de Obras Sanitarias del Estado OSE Uruguay, Sistema Parque Británico OSE Uruguay. Abril / Mayo del 2007

Previo a la realización de las pruebas personal de la SG/ SAG, técnicos de OSE y la empresa PROINSA realizaron una recorrida por el piloto para evaluar los lugares mas favorables para la realización de cada prueba y fijar los principales lineamientos de su diseño. 23 de Marzo 2007.

En esta área piloto se ejecutaron cuatro (4) ensayos hidráulicos durante abril de 2007. El primer ensayo se llevó a cabo en el Parque Hidráulico de DAE (Pozo H-9) en la ciudad de



Santana do Livramento (Parque Hidráulico) y el segundo ensayo se hizo en las instalaciones

de suministro de agua de DAE (Pozo AR-4) en Barrio Armour (Armour). El tercer y cuarto ensayo se llevaron a cabo en la porción uruguaya del área piloto. El ensayo # 3 se hizo en la instalación principal de suministro de agua en Rivera, la estación de energía de Obras Sanitarias del Estado (OSE) (Estación de Energía), y el ensayo #4 se realizó en una instalación de OSE (Pozo 10-4-037) en el Parque Británico (Británico).

Los resultados de los ensayos hidráulicos fueron confiables hasta cierto punto. Los ensayos en el Parque Hidráulico produjeron resultados bastante confiables, aunque bajos, con un buen ajuste de curva, especialmente los datos del pozo de observación. Si la tasa de bombeo hubiera sido tres o cuatro veces la tasa del ensayo (15 m<sup>3</sup>/h) se habrían obtenido resultados más confiables en los ensayos hidráulicos. En Barrio Armour los ensayos produjeron buenos resultados, especialmente en el pozo de observación. En la Estación de Energía los ensayos hidráulicos arrojaron buenos resultados, con una respuesta progresiva y continua al bombeo a lo largo de los ensayos tanto en el pozo de bombeo como en el de observación. Los valores estimados de transmisividad varían entre 2,2 y 109 m<sup>2</sup>/día. Los valores de almacenamiento varían entre 7,44 x10<sup>-2</sup> y 4.39 x10<sup>-4</sup>.

También se llevó a cabo una revisión de los ensayos históricos realizados por OSE en Rivera. En total se llevaron a cabo y analizaron 16 ensayos. Los valores inferidos de transmisividad están dentro del mismo rango que los calculados a partir de los ensayos hidráulicos presentados en este informe. La transmisividad del acuífero de arenisca de Guaraní varió entre 1,6 y 160 m<sup>2</sup>/día.

### **Ribeirão Preto**

Entre julio y agosto de 2007 se realizaron diez (10) ensayos hidráulicos en los siguientes sitios del área piloto Ribeirão Preto: Ciane, Dutra, Jandaia, Laginha, Pompado, San Jose, Serrana, Sertaozinho y Simioni. Los ensayos hidráulicos suministraron una información confiable, consistente y rápidamente analizable. Los valores representativos calculados de





transmisividad variaron entre 80 y 656 m<sup>2</sup>/día. El almacenamiento del acuífero varió entre  $7,92 \times 10^{-2}$  y  $1,3 \times 10^{-5}$ .

## **Itapúa**

En mayo de 2007 se llevaron a cabo exitosamente cuatro (4) ensayos hidráulicos en el área piloto de Itapúa, en Paraguay. Dos de los ensayos se realizaron en la ciudad de Trinidad (Pozo No. 1) mientras que un ensayo se hizo en Hohenau (Pozo No. 1) y otro en Jesús (Pozo No. 2). En general, la mayor parte de los ensayos hidráulicos en Itapúa no arrojaron información muy consistente. Sin embargo, los ensayos hidráulicos históricos suministraron información adicional que ayudó a inferir las características del acuífero. Los valores de transmisividad inferidos para el acuífero de arenisca estuvieron entre 72 y 670 m<sup>2</sup>/día. No se pudieron calcular los valores de almacenamiento debido a que durante los ensayos no hubo recolección de información en los pozos de observación.

## **PROCEDIMIENTOS**

Los ensayos hidráulicos y la recolección de información fueron realizados por la empresa Proinsa Proyectos de Ingeniería de Argentina (Proinsa) en las áreas piloto Concordia-Salto, Rivera-Santana do Livramento e Itapúa, y por la empresa DH Perforacao de Poços Ltda (DH) de Brasil, en el área Ribeirão Preto. La ejecución total de las obras fue supervisada por SNC-Lavalin International (SNC) de Canadá. Todos los análisis de los ensayos fueron realizados por SNC.

Toda la información de los ensayos de campo fue suministrada por Proinsa o DH. Además, se obtuvo información histórica de ensayos hidráulicos para las áreas piloto Concordia-Salto e Itapúa.



El análisis de la información se realizó utilizando la versión 4.2 de AquiferTest (AquiferTest) producida por Waterloo Hydrogeologics, Inc. de la ciudad de Waterloo, en Ontario, Canadá.

Los métodos de análisis de ensayos de bombeo utilizados en este informe comprenden: Theis, Hantush-Jacob (Hantush), Papadopulos-Cooper (Papadopulos), y Recuperación Agarwal (Agarwal). El método de análisis Bower-Rice fue el único utilizado en este informe para analizar los datos de ensayos slug. En las secciones siguientes se explican los criterios de selección de cada método.

Cabe señalar que si durante el análisis se desconocía si un pozo tenía penetración parcial o profunda, se analizaban, donde era posible, los dos escenarios. Los análisis de penetración parcial dan cuenta sobre posibles flujos verticales hacia el pozo que pueden inducirse por penetración parcial de un pozo en un acuífero. Para analizar un pozo con penetración parcial con el AquiferTest, se deben registrar las longitudes de filtro de los pozos, la distancia desde el fondo del filtro hasta el techo del acuífero y el espesor inicial del acuífero saturado.

## AUDITORIAS DE CAMPO

Se acompaña a la empresa durante algunos días cuando realizaban los trabajos de campo y se verificaron los procedimientos empleados.

### Auditorias SG/SAG

Lugar: Piloto Rivera – Sant´ Ana

Auditor: Pasante de la SG / SG Cleuza Gomes Viana IMASUL .

Lugar: Piloto Rivera – Sant´ Ana

Auditor: Pasante de la SG / SG Sergio Pena.



Lugar: Piloto Rivera – Sant´ Ana

Auditor: Auxiliar Técnico de la SG / SG Santiago Ferrero.

Lugar: Piloto Itapúa- Praguat

Auditor: Lic Alberto Manganelli – SG/PSAG

Lugar: Piloto R.Preto-S.PAULO-Brasil

Auditores: Dr.Jorge N. Santa Cruz y Lic. Alberto Manganelli

Auditor: Ramón Leônidas Lluviera Rocha

En todos los casos se determinó que los ensayos fueron realizados a satisfacción de calidad, en la preparación previa, instrumental de mediciones, procedimientos y ensayos.

## **MODELOS MATEMÁTICOS**

### **Concordia-Salto**

En cuanto a las condiciones de borde, se adoptaron condiciones de nivel fijo para todo el perímetro. Esta situación es realmente poco apropiada para un modelo, ya que condiciona excesivamente los niveles en el interior del dominio, fijando los niveles en todos sus bordes y entregando toda el agua que se extraiga en el interior, **a veces creando situaciones físicamente poco realistas**. Estos modelos son poco sensibles a las variaciones en los parámetros. Esto se acentúa cuando los bordes están relativamente cercanos a la zona problema, limitando las variaciones a un dominio que probablemente sea mucho más extenso. De acuerdo a lo aconsejado en la Reunión de Belo Horizonte, se intentó una variante combinando condiciones de caudal impuesto en una zona y nivel fijo en otra, pero finalmente se descartó.

El modelo se ejecutó en condiciones estacionarias para realizar la calibración. Como era esperable, en el Informe se reporta que **el modelo resultó ser relativamente insensible a los cambios en la conductividad hidráulica de las cargas del acuífero, por lo que los niveles en los pozos de observación terminaron ajustándose variando los niveles fijos en los bordes**. Esto puede resultar en niveles relativamente ajustados, lo cual **no quiere decir que el modelo esté calibrado** porque responde de manera muy similar a distintos valores de conductividad hidráulica.

**No se presenta un balance** para las condiciones permanentes.



La validación del modelo se realiza simulando varios ensayos de bombeo y verificando que el modelo los reproduzca aceptablemente. Se ejecutó el modelo en régimen transitorio para simular la evolución en el tiempo de los niveles en cuatro ensayos de bombeo. Esto requirió densificar la malla del modelo en cercanías de los pozos de bombeo. El ajuste de los ensayos requirió de cambios locales en la conductividad hidráulica. **Los abatimientos no fueron corregidos por el efecto de la relación entre el tamaño de la celda de bombeo y el tamaño real del pozo y, además, por el efecto de la penetración parcial del pozo de bombeo.** Se obtienen abatimientos simulados similares a los medidos, aunque debieron utilizarse valores distintos para calibrar los abatimientos en el pozo de bombeo que en los pozos de observación. Por lo tanto, **puede considerarse que el modelo ha sido validado sólo en forma parcial.** De hecho, cuando se incorporaron los valores de conductividad hidráulica retocados en los ensayos de bombeo en el modelo general en condiciones estacionarias, una de las perforaciones se seca. **Es evidente que existe una gran incertidumbre en los valores de conductividad hidráulica,** lo que deriva del problema planteado en las condiciones de borde ya comentado. Cuando se simulan los pozos bombeando para un período de 15000 días se evidencia que el cono de depresión está siendo “sostenido” por las condiciones de borde, esto es, **si el dominio fuese más grande el cono se extendería.**

El objeto de la modelación predictiva fue la simulación de dos escenarios en los que se simula la construcción de perforaciones adicionales. Si ya existían problemas con las condiciones de borde sin las perforaciones adicionales, su inclusión complica más el problema. En estas condiciones, **el modelo no es una herramienta válida para realizar predicciones sobre el efecto de extracciones adicionales.**

### **Concretando:**

- a) **Se observa que las condiciones de borde adoptadas (carga hidráulica constante para todo el perímetro) y su cercanía al área de simulación determinan condiciones limitantes del producto.**
- b) **El Modelo resulta insensible a los cambios de Conductividad Hidráulica.**
- c) **En el Informe habría una discrepancia entre el mapa de isopiezas presentado y las direcciones de flujo del estudio hidrogeológico del Piloto.**
- d) **Por lo tanto, los efectos de los escenarios de simulación serían muy poco realistas.**

### **NOTA**

**Extraído del Informe de Control de Calidad del experto correspondiente**



## **Informe sobre los Informes corregidos por parte de SNC Lavalin de las cuatro áreas piloto del SAG**

A continuación se evalúan los nuevos Informes presentados por SNC Lavalín para el caso de las áreas piloto Concordia-Salto y Ribeirao Preto, resultantes de modificaciones en los modelos. En los dos casos restantes, Itapúa y Rivera-Santana do Livramento, sólo se solicitaron aclaraciones puntuales, las que también se comentan.

### **Concordia-Salto**

Según consta en el nuevo Informe, el modelo se ha realizado en Visual Modflow 4.3 Premium, y no con el Visual Modflow 4.2 Pro que se había utilizado para construir el modelo en la primer entrega.

En primer lugar debe decirse que el área piloto está constituida por un rectángulo de 19 x 26 km. El dominio a modelar se eligió siempre como un área más amplia que incluyese el área piloto. En el caso del modelo original, el área del dominio fue de 1628 km<sup>2</sup> (37 x 44 km). En el modelo corregido el dominio se extendió a 2025 km<sup>2</sup> (45 x 45 km). Esto implica un aumento de área del 25%. Sin embargo, la principal mejora del modelo está dada por el cambio de orientación de los bordes de la malla, por la cual ahora se orientan en la dirección del flujo de agua subterránea cuando antes estaban girados aproximadamente 45 grados. Esto permitió adoptar dos bordes como límites de flujo nulo y dos como carga constante. El revisor sugirió la adopción de uno de estos dos últimos límites como caudal especificado, aunque los modeladores han adoptado finalmente la opción de carga constante. Sin embargo, debe decirse que la opción de caudal establecido suele fijarse en el límite aguas arriba del modelo y, en este caso, el borde de carga constante establecido en dicho límite está suficientemente alejado de la zona problema, como muestran los resultados de las simulaciones.

No se han efectuado cambios en la definición de las condiciones geológicas/hidrogeológicas.

Como antes se dijo, en el nuevo dominio se incluyen bordes de carga fija y de flujo nulo (en contraste con los correspondientes al informe anterior, con cuatro bordes de carga fija y con una combinación de carga fija y flujo controlado que fue rechazada por los mismos modeladores).



Al igual que en el modelo inicial, se incluyen en el SAG las Formaciones Rivera, Tacuarembó y Buena Vista.

Las simulaciones muestran ahora una configuración de líneas equipotenciales mucho más realista, al alejarse de las zonas de bombeo de los límites del modelo y, además, al quitarse dos de los cuatro bordes de carga constante. Se observa claramente que el borde de carga constante ubicado aguas arriba está muy alejado de la zona de explotación y constituye un límite que no afecta la zona de bombeo.

Si se comparan las equipotenciales para el caso de la situación actual de explotación en ambos modelos se nota una extensión mucho mayor de la zona de afectación en el modelo corregido (ver la configuración de las curvas de 67 y 65 msnm).

En la simulación de escenarios futuros se ve también una situación mucho más realista de los niveles piezométricos. Tanto en el escenario 1 como en el 2 los niveles resultantes son apreciablemente más bajos en el modelo corregido. Basta decir que en el apartado “5.4. Impactos en perforaciones existentes” dentro del “Modelo Predictivo”, en el informe original puede leerse “al mirar la figura 15 se puede ver que el modelo no predice disminuciones significativas en los niveles de agua de las perforaciones”, mientras que en el informe nuevo se dice que “al mirar la figura 16 se puede ver que el modelo predice disminuciones significativas en los niveles de agua de las perforaciones” (páginas 57 y 64, respectivamente). En ambos casos se refiere a la misma figura: el cambio en el número de figura se debe al agregado de una adicional en el informe nuevo.

Al igual que en el modelo original, se realiza un análisis de sensibilidad.

En la calibración, la conductividad hidráulica ( $k$ ) termina ajustándose a un valor de 2,4 m/día (se partió de un valor de 1,2 m/día). Sin los archivos del modelo es imposible contrastar esta calibración (y sería una tarea que involucra cierto tiempo). El uso de  $k$  regionales en modelos mayores a los  $k$  obtenidos en ensayos locales es razonable (diversos autores hablan de un efecto de escala en la transmisividad).

Se agregan un par de figuras nuevas que muestran el abatimiento adicional de niveles que implican la inclusión de dos y siete perforaciones adicionales en el modelo predictivo. En el caso de los siete pozos adicionales se verifica un descenso compuesto que incluye a los siete pozos con más de 10 m de descenso respecto a la situación actual.

Finalmente, aunque las conclusiones en ambos informes son exactamente iguales, resaltando que el agregado de dos perforaciones no produciría un impacto importante y que la inclusión de siete pozos podría producir la pérdida de flujo artesiano en algunos pozos, debe decirse que con el nuevo modelo esto es mucho más evidente. La Figura 18 del nuevo informe (equivalente a la Figura 17 del original) muestra que los niveles en un perfil NE-SO son considerablemente más bajos en el nuevo modelo que en el viejo (principalmente para el caso de los siete pozos adicionales con niveles inferiores a los 55 m en el modelo nuevo y cercanos a los 60 msnm para el viejo).



En definitiva, se considera a este modelo aceptable. En comparación con el original, en situación de explotación los niveles están por debajo de los predichos en el modelo anterior, debido a la eliminación de la influencia de los bordes de carga constante. Esto no se refleja en las conclusiones del informe del modelo nuevo, aunque merecería haberse mencionado.

## **Ribeirao Preto**

La capa superior, que representa al Basalto, presenta límites impermeables al norte y al este (divisoria de aguas) y condición de borde río en los límites oeste y sur. En la zona interna de la malla activa se representaron los cursos de agua por medio de la condición dren. Todas estas condiciones no han cambiado respecto al modelo original.

Se incorporó al modelo una condición de borde de carga constante en los límites oeste y sur de las dos subcapas inferiores que representan a las Formaciones Botucatú y Piramboia, mientras que los límites este y norte se consideran impermeables (se quitó la condición de borde tipo “pared” y se dejó simplemente un límite con celdas inactivas, como se sugirió). La incorporación del borde de carga constante en las areniscas constituye la respuesta a la observación por parte de la Secretaría General del Proyecto Acuífero Guaraní respecto a que las areniscas estaban limitadas en todo su perímetro por bordes impermeables.

En el punto 3.3.6 se dice que la descarga de las aguas subterráneas en el área piloto se realiza hacia cursos de agua y pozos de bombeo. Debería mencionarse también la descarga por escurrimiento subterráneo hacia el borde oeste de dicha área.

En la Tabla 9 se muestra un resumen estadístico de la calibración. Los ajustes obtenidos son mejores que con el anterior modelo. Seguramente debido al apuro en la escritura del nuevo informe, el redactor no cambió los valores estadísticos que se mencionan en el texto, donde se mantienen los del modelo anterior.

Los valores de conductividad hidráulica calibrados son los mismos que para el modelo anterior, mientras que en los valores de recarga calibrados sólo cambia la recarga en los afloramientos del Pérmico. Los términos del balance hídrico de la zona piloto son muy similares a los del modelo anterior.

En el proceso de validación del modelo, simulando los ensayos de bombeo en régimen transitorio, se obtuvieron abatimientos simulados aceptablemente ajustados a los observados, salvo en los pozos de observación Lagoinha y Dutra. En general, el ajuste obtenido es mejor que con el anterior modelo.

En cuanto a la predicción del efecto de nuevos campos de pozos, los resultados son similares a los resultados obtenidos en el modelo original en las tres alternativas estudiadas, aunque se advierte un leve aumento en el desarrollo del cono (por ejemplo, en la curva de 500 msnm).





En resumen, según lo que consta en el Informe, el modelo ha sido modificado de acuerdo a las observaciones realizadas.

### **Itapúa**

Claramente, la observación más importante en este modelo era la adopción de una condición de flujo nulo bajo el río Paraná. Ello se basó en la posibilidad de que el acuífero permitiese el flujo de agua bajo el río. La respuesta de SNC-Lavalin, se argumenta en la nota de 1/12/2008 firmada por Stephen Lindsley. Considero que las argumentaciones expresadas en dicha nota son suficientes para justificar la adopción de dicha condición de borde por parte de los modeladores, ya que no tengo elementos de juicio que me permitan argumentar algo en su contra.

### **Rivera-Santana do Livramento**

Con nota de Stephen Lindsley del 1 de diciembre de 2008 se envía la página 63 del Informe donde se ha introducido un párrafo donde se aclara la posible inconsistencia de conductividades hidráulicas ajustadas en los pozos de bombeo (más bajas) y en los pozos de observación de los mismos ensayos (más altas). Es razonable pensar que ello se debe a las pérdidas en los pozos de bombeo y que las conductividades hidráulicas más representativas del acuífero son las que se ajustan mediante los pozos de observación.

*Marcelo R. Varni*

## **MAPA HIDROGEOLÓGICO DEL SAG**





El Informe adjunto presentado por el Dr. Carlos Schulz considera que el Mapa Hidrogeológico representa la síntesis del conocimiento del Acuífero a la fecha planteando un esquema de funcionamiento hidrogeológico de las aguas subterráneas. Lo considera un aporte novedoso al conocimiento regional y base para futuras investigaciones de carácter más específico y local.

Determina la densidad de pozos utilizados por km<sup>2</sup> para c/u de los mapas temáticos: hidrogeológico, de espesores, contorno estructural, potenciométrico y de isotermas. Considera que la densidad de pozos con datos disponibles es en general muy pobre y, sumada la variabilidad espacial y temporal, arroja un gran factor de incertidumbre en diversos sectores del área.

## **RECURSOS HUMANOS**

Fueron investigados, por parte de la Lic. Celina Bizzozero, los alcances del grado de compromiso asumido, tiempos de afectación, motivación, grado de apropiación de las tareas desarrolladas, desarrollo de los trabajos, comunicación y relacionamientos y dificultades encontradas de los principales profesionales y técnicos de las Empresas del Componente 1 del Conocimiento. Además Fortalezas y Debilidades de las mismas.

Se adjunta el Informe Final correspondiente con las conclusiones y lecciones aprendidas.

Incluye los CV de los principales profesionales actuantes

## **INFRAESTRUCTURA DE LAS EMPRESAS**

Se ha cumplido con lo estipulado en el Pliego en cuanto a los requerimientos mínimos de superficie, infraestructura informática y aptitudes de las oficinas para los fines perseguidos. Se anexan los informes correspondientes.

## **CONTROL DE CALIDAD EN BASE A PASANTÍAS Y ESTANCIAS DE ENTRENAMIENTO**



2005	Estancia de Entrenamiento	Maria Esther Santi	Geóloga	Hidrogeología-Base de datos	AR
2006	Pasantía	Leonardo de Almeida	Geólogo	Geología-Base de datos	BR
2006	Pasantía	Ana María Castillo Clerici	Geóloga	Estratigrafía-PyT-SRL	PY
2006	Estancia de Entrenamiento	Dora Cecilia Sosa	Ingeniera en Recursos Hídricos	Geofísica – Gravimetría-Geodatos SRL	AR
2006	Estancia de Entrenamiento	Antônio Carlos Benatte Valente	Geólogo	Hidrogeología-Base de Datos	BR
2006	Estancia de Entrenamiento	Sergio Pena	Geólogo	Geología- PyT SRL.	UY
2007	Estancia de Entrenamiento	Ramón Leonidas Lluviera Rocha	Ingeniero Agrimensor	Ensayos hidráulicos	UY
2008	Estancia de Entrenamiento	Griselda Galindo	Geóloga	Red de Monitoreo	AR
2008	Pasantía	José Machado	Geólogo	Mapa hidrogeológico	BR
2008	Estancia de Entrenamiento	Flavio Ribeiro Fernandes	Estudiante de Ingeniería	Catastro de Pozos	BR
2008	Pasantía	Rafael Pintos	Ingeniero Ambiental	Base de Datos	BR
2008	Pasantía	Stela Dalva Santos	Geóloga	Modelo Matemático	BR
2007 - 2008	Pasantía	Marcia Pressinotti	Geóloga	Mapa hidrogeológico	BR

## RESUMIENDO:

- ❖ Se realizaron más de 40 intervenciones de distinto tipo, con viajes a los 4 países y a la SG en Montevideo, para control y seguimiento a las distintas empresas tanto para los procedimientos como los productos obtenidos.



- ❖ *Incluyó además 15 intervenciones a través de pasantías y estancias en Empresas que contribuyeron a llevar adelante este Plan.*