

Informe de TNO

"Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA"

Metodologías y capacitación - Informe técnico 3.1:

**Análisis de la metodología utilizada por el
Departamento de Recursos Hídricos del SENASA
en las áreas de ubicación, construcción y prueba
de bombeo de los pozos**

Fecha

Marzo del 2001

Autores

Jac A.M. van der Gun
y Ronald A. van Overmeeren

Netherlands Institute of
Applied Geoscience TNO
P.O.Box 6012
2600 JA Delft
The Netherlands
www.nitg.tno.nl

Código del proyecto
005.50363

Código del contrato
Contrato No 28/2000

Contratante

Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA)

All rights reserved.
No part of this publication may be
reproduced and/or published by print,
photoprint, microfilm of any other
means without the previous written
consent of TNO.

In case this report was drafted on
instructions, the rights and obligations
of contracting parties are subject to
either the Standard Conditions for
Research Instructions given to TNO,
or the relevant agreement concluded
between the contracting parties.
Submitting the report for inspection to
parties who have a direct interest is
permitted.

© 1998 TNO

Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO has main
offices in Delft and Utrecht and branch locations in Heerlen,
Nuenen and Zwolle.

The Institute is the central geoscience institute in the
Netherlands for information and research on the
sustainable management and use of the subsurface and its
natural resources.

Netherlands Organization for
Applied Scientific Research TNO

The standard Conditions for Research Instructions
given to TNO, as filed at the Registry of the District Court
and the Chamber of Commerce in The Hague
shall apply to all instructions given to TNO.

Resumen

El presente informe analiza la metodología utilizada por el Departamento de Recursos Hídricos de SENASA en las áreas de ubicación, construcción y prueba de bombeo de los pozos. El análisis se basa en inspecciones de archivos, observaciones en el campo y en la oficina, y entrevistas con profesionales del departamento. En general, la metodología utilizada es considerada bastante racional; sin embargo, hay opciones para mejoras, ampliaciones y ajustes. Se presentan las observaciones principales, seguidas por conclusiones y recomendaciones.

Contenido

Resumen	i	
Lista de figuras	iv	
Lista de tablas	v	
1	Introducción	1
2	Metodología del análisis	3
3	Información adquirida.....	4
3.1	Carpetas de los pozos perforados	4
3.1.1	Los archivos del Departamento de Recursos Hídricos	4
3.1.2	Presencia de la información.....	6
3.1.3	Observaciones específicas	6
3.2	Observaciones en el campo y en la oficina.....	7
3.2.1	Observaciones en el campo	7
3.2.2	Observaciones en la oficina.....	11
3.3	Entrevistas con profesionales	12
3.3.1	General.....	12
3.3.2	Ubicación de pozos.....	12
3.3.3	Construcción de pozos.....	13
3.3.4	Prueba de bombeo.....	13
4	Observaciones con respecto a la metodología utilizada por el Departamento de Recursos Hídricos de SENASA	15
4.1	Metodología con respecto a la ubicación de los pozos	15
4.1.1	Observaciones generales.....	15
4.1.2	Consulta de datos archivados.....	15
4.1.3	Mediciones geoelectricas.....	16
4.2	Metodología con respecto a la construcción de los pozos	17
4.2.1	Observaciones generales.....	17
4.2.2	Perfilajes geofísicos.....	17
4.3	Metodología con respecto a la prueba de bombeo.....	17
4.3.1	Objetivos.....	17
4.3.2	Diseño y ejecución.....	18
4.3.3	Procesamiento e interpretación.....	18

5	Conclusiones y recomendaciones	19
5.1	Conclusiones.....	19
5.2	Recomendaciones	20
5.2.1	Recomendaciones con respecto al almacenamiento y procesamiento de los datos	20
5.2.2	Recomendaciones con respecto al método de resistividad eléctrica.....	20
5.2.3	Recomendaciones con respecto al perfilaje geofísico	22
5.2.4	Recomendaciones con respecto a las pruebas de bombeo	22
5.2.5	Recomendaciones con respecto al desarrollo y a la capacitación profesional	23
6	Referencias.....	25

Lista de figuras

Figura 1.1	Organización del Departamento de Recursos Hídricos del SENASA.....	1
Figura 3.1	Ejemplos de sondeos eléctricos verticales efectuados por SENASA para la ubicación de pozos en el área de Ñemby. Mediciones en dispositivo Wenner, pero graficadas en escala Schlumberger. Izquierda: sondeo indicando zona con malas perspectivas para un pozo de agua; derecha: sondeo indicando zona con buenas perspectivas para un pozo de agua.	10
Figura 3.2	Dos sondeos eléctricos verticales efectuados por SENASA para la ubicación de pozos en Quayquyho, Paraguari. Mediciones en dispositivo Wenner, pero graficadas en escala Schlumberger. Izquierda: sondeo perturbado; derecha: sondeo de buena calidad.	10
Figura 3.3	Ejemplos de la interpretación de sondeos cortos en 8 capas.	11

Lista de tablas

Tabla 3.1	Categorías de documentos técnicos en las carpetas de pozos del Departamento de Recursos Hídricos	4
Tabla 3.2	Presencia de documentos técnicos en las carpetas del Departamento de Recursos Hídricos para los pozos del área piloto.....	5

1 Introducción

Como parte de la Consultoría para el Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA (Contrato N° 28/2000) se ha llevado a cabo un análisis de la metodología de trabajo que utiliza el Departamento de Recursos Hídricos en las áreas de ubicación, construcción y prueba de bombeo de los pozos. Los Términos de Referencia de la mencionada consultoría relacionan dicho análisis a un plan de capacitación continua de mediano plazo, el cual deberá estar en concordancia con la tendencia actual del SENASA de la contratación por terceros de la construcción de los pozos (SENASA, 2000a; SENASA, 2000b; TNO, 2000).

La organización del Departamento de Recursos Hídricos se presenta en la Figura 1.1. La gran mayoría del personal está dentro de la División Operativa, responsable para la ejecución de las perforaciones. Las otras unidades técnicas tiene un número limitado de personal: cuatro y dos, respectivamente.

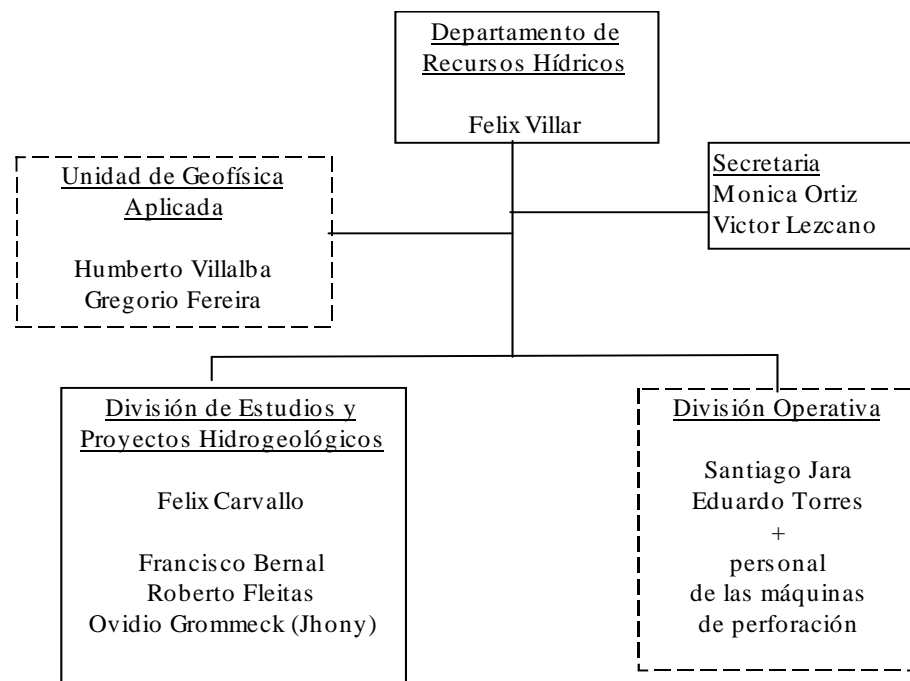


Figura 1.1 Organización del Departamento de Recursos Hídricos del SENASA

En este informe se presentan los resultados del análisis de la metodología utilizada. Como guía del enfoque se ha tenido en cuenta el objetivo de producir información que servirá para un plan de capacitación. Dado el carácter de la consultoría, el análisis se concentra en los métodos geofísicos e hidrogeológicos. El plan de capacitación, finalmente, se presentará en un informe separado.

El presente informe es parte del volumen 3 “Metodologías y Capacitación” de los informes técnicos del proyecto “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA”. Los demás volúmenes corresponden al “Desarrollo del Banco Nacional de Datos Hidrogeológicos” (volumen 1) y el “Estudio del Acuífero Patiño” (volumen 2).

Agradecimientos

Los autores agradecen a todos los profesionales del Departamento de Recursos Hídricos que han contribuido a este análisis mediante entrevistas y discusiones. Sus opiniones son reflejadas en buena parte también en las conclusiones y recomendaciones presentadas abajo.

2 Metodología del análisis

La metodología del análisis se basa en tres categorías principales de actividades:

(a) El análisis de una muestra de carpetas de pozos seleccionada de los archivos del Departamento de Recursos Hídricos del SENASA

Como muestra se seleccionaron los pozos perforados por SENASA en la Zona Piloto del proyecto, correspondiente a la cuenca hidrográfica de los arroyos Mbocayaty y Ñemby. La totalidad son 19 pozos, perforados entre 1974 y 1998. Nueve de estos pozos fueron perforados después del año 1995, entonces reflejan, de manera aproximada, las prácticas actuales de trabajo.

(b) Observaciones de campo y en la oficina

Las observaciones de campo se limitaron a la ejecución de sondeos geoeléctricos verticales y al perfilaje geofísico de pozos.

(c) Entrevistas con profesionales de Departamento de Recursos Hídricos del SENASA

Se entrevistaron los tres hidrogeólogos y el geofísico del Departamento de Recursos Hídricos. Los mismos han estado trabajando durante muchos años en las áreas de ubicación, construcción y prueba de bombeo de los pozos. Se preparó un formulario de encuesta para guiar las entrevistas y para determinar sistemáticamente diferencias en puntos de vista.

Aunque el número de pozos o sitios representados por la primera y segunda categoría de actividades es muy limitado, mediante las entrevistas se pudo verificar hasta cierto punto la representatividad de los mismos y su evaluación correspondiente.

El análisis enfatizó los siguientes aspectos:

- Tipos de mediciones y observaciones realizadas para optimizar la ubicación, la construcción y la explotación de los pozos
- Ejecución de las mediciones, calidad de los datos y método de interpretación
- Capacidad dentro del DRH con respecto a las actividades correspondientes
- Opciones para mejoras técnicas al respecto.

3 Información adquirida

3.1 Carpetas de los pozos perforados

3.1.1 Los archivos del Departamento de Recursos Hídricos

El Departamento de Recursos Hídricos del SENASA mantiene un archivo bien organizado de carpetas de pozo. Cada pozo perforado por SENASA tiene su carpeta individual, conteniendo una variedad de documentos en papel. Las carpetas tienen tanto documentos administrativos como documentos técnicos. Durante los años se observa una tendencia hacia la uniformación de los documentos, de modo que en las carpetas de los años más recientes se encuentran índices estándar de los documentos técnicos (13 documentos) y de los documentos administrativos (14 documentos). Los documentos técnicos – los cuales son de interés para el presente análisis – se especifican en la Tabla 3.1. Juntos, proveen documentación bastante completa con respecto al pozo. Sin embargo, llama la atención que el análisis granulométrico para la selección del empaque no está incluido; hecho que se explica por la estandarización actual de empaque y filtros en las actividades de perforación del SENASA.

Tabla 3.1 *Categorías de documentos técnicos en las carpetas de pozos del Departamento de Recursos Hídricos*

Nº	Documento
01	Informe de mantenimiento y operación del pozo
02	Informe técnico final del pozo
03	Resultado del análisis físico-químico y bacteriológico
04	Informe sobre la explotación del pozo
05	Planilla de prueba de bombeo
06	Perfil litológico
07	Gráfico del perfilaje eléctrico e informe adicional
08	Gráfico de avance de perforación
09	Planilla de limpieza y desarrollo
10	Planilla del engravado
11	Planilla del entubado
12	Planilla del control diario de la perforación
13	Estudio hidrogeológico para la ubicación del pozo

Tabla 3.2 Presencia de documentos técnicos en las carpetas del Departamento de Recursos Hídricos para los pozos del área piloto

Pozo N°	Informe de mantenimiento	Informe técnico final	Análisis físico-químico y bacteriológico	Informe sobre la explotación del pozo	Planilla de prueba de bombeo	Perfil litológico	Perfilaje eléctrico e informe adicional	Gráfico de avance de perforación	Planilla de limpieza y desarrollo	Planilla de engravado	Planilla del entubado	Planilla del control diario de la perforación	Estudio hidrogeológico para la ubicación del	Año de perforación	Observaciones
SCL075			X		x	x			x			x		1995	120 m de profundidad
SCL076			X			x			x		x	x		1995	128 m
SCL077			X			x					x	x		1974	161 m
SCL078					x	x					x	x		1983	70 m
SCL082			X			x	x							1994	153 m
SCL083		x				x						x		1989	152 m
SCL091			X		x	x				x	x	x		1998	176 m
SCL102		x	X			x	x	x			x	x		1991	152 m
SCL103			X		x	x						x		1997	150 m
SCL108			X	x	x	x			x	x	x	x	x	1994	127 m
SCL109			X			x	x				x	x		1997	152 m
SCL112														1991	152 m
SCL123			X			x			x		x	x	x	1996	127 m
SCL124			X		x	x	x		x		x	x		1996	201 m
SCL133					x	x						x	x	1988	200 m
SCL140			X		x	x	x					x		1998	190 m
SCL144			X			x	x			x		x		1997	170 m
SCL145					x							x		1980	52 m
SCL146?						x	x		x	x	x	x	x?	1996	134 m
SCL147					x	x						x		1987	150 m
Número:	0	2	13	1	10	18	7	1	6	4	10	18	4		

3.1.2 Presencia de la información

En general, las carpetas contienen solamente parte de los 13 documentos mencionados. La Tabla 3.2 indica cuales de los documentos se incluyen en las carpetas de la muestra de 19 pozos anteriormente mencionado. El perfil litológico (documento 06) y la planilla del control diario de la perforación se encuentran en casi todas las carpetas, mientras que el análisis de la calidad del agua (documento 03), la planilla de prueba de bombeo (documento 05) y la planilla del entubado (documento 11) se incluyen en la mayoría de los casos. Es importante anotar que solamente dos de las carpetas tienen informe técnico final de pozo (documento 02), razón por la cual en los demás casos es un poco difícil reconstruir las decisiones tomadas y, sobre todo, el motivo de aquellas decisiones. Sorprende también el número bajo de los estudios hidrogeológicos para la ubicación del pozo. Algunos categorías de documentos indicados en la tabla se encontraron en ninguna o en muy pocas de las carpetas.

3.1.3 Observaciones específicas

Con respecto a los diferentes documentos y temas se hacen las observaciones siguientes:

Informe técnico final del pozo (documento 02):

Aunque se encontraron dos solamente, se pudo observar que varían bastante con respecto a su contenido y el detalle presentado.

Análisis físico-químico y bacteriológico (documento 03):

Solamente en una de las muestras (SCL076) se hizo el análisis bacteriológico. El análisis físico-químico no está completo en ninguno de los casos, a veces muy incompleto (SCL077). Algunos pozos no tienen ningún análisis (por ejemplo SCL078)

Prueba hidráulica (documento 05):

Se efectuó en dos terceras partes de los pozos. Sin embargo, con excepción del pozo SCL 108, en las carpetas solamente se presentan los datos medidos de la prueba, sin su interpretación hidráulica. Aunque el diseño de algunas pruebas no permiten tal interpretación (por ejemplo SCL077), en la mayoría de los casos es posible, pero no se lo hizo. La planilla a veces está acompañada de un resumen con recomendaciones para el caudal de explotación del pozo y la ubicación de la bomba (por ejemplo SCL075, SCL076).

Perfil litológico (documento 06):

En general, está satisfactoriamente detallado. En muchos casos está acompañado de un esbozo indicando el diámetro y la posición de los filtros del pozo.

Perfil eléctrico e informe adicional (documento 07):

En los casos en que se presenta el gráfico, no hay interpretación cuantitativa. No se encontró informe adicional en ninguno de las carpetas.

Limpieza y desarrollo (documento 09):

Da una buena impresión del trabajo realizado, comentando también sobre los cambios efectuados.

Planilla del control diario de la perforación (documento 12):

Aparentemente consiste de cuatro hojas (véase el pozo SCL078): (1) avance de la perforación; (2) resumen de los labores realizados; (3) consumo de materiales; (4) construcción del pozo. Entonces, tiene elementos tanto técnicos como administrativos. La hoja n° 4 presenta datos de construcción del pozo, como por ejemplo el entubado, los filtros, el empaque de grava, el sellado, el desarrollo, etc.(véase por ejemplo el pozo SCL102). Sin embargo, en la mayoría de los casos se presenta la hoja n° 1.

3.2 Observaciones en el campo y en la oficina

Esta sección se limita a la aplicación del método de la resistividad eléctrica para la ubicación de los pozos, puesto que es el método más sobresaliente en SENASA en esta fase de proyectos de abastecimiento de agua. Se distinguen dos actividades principales: por un lado el trabajo de campo y por otro el procesamiento, la interpretación, el reporte y el almacenamiento de los datos en la oficina.

3.2.1 Observaciones en el campo

La instrumentación

El instrumento de medición utilizado para los sondeos eléctricos es el McOHM (Mark-2, Modelo – 2115A) de la OYO Corporation de Japón. Este instrumento digital incorpora el transmisor y el receptor en la misma unidad. Este excelente instrumento es robusto, bien sellado contra la humedad y su manejo es muy simple y práctico. La fuente de energía puede ser su batería interna o una batería externa de 12 V. SENASA utiliza una batería externa. Se selecciona un valor fijo para la corriente. Este tiene un valor mínimo de 1 mA y un valor máximo de 200 mA. Con este último valor, el voltaje de salida máximo es de 200 V. Quiere decir que la capacidad del instrumento es $200 \text{ (V)} \times 0.2 \text{ (A)} = 40 \text{ W}$. Se puede aumentar la capacidad del instrumento mediante un amplificador de alimentación eléctrica ('booster'). Con este booster se llega a valores de 800 mA con 100 V, o 500 mA con 200 V; la cual da una capacidad máxima de 100 W. Esta capacidad es relativamente pequeña; sin embargo, es suficiente para su uso

normal (hasta distancias electródicas $L/2$ de 1000 m), gracias a la posibilidad de apilamiento ('stacking') con 1, 4, 16 o 64 mediciones. El apilamiento permite mejorar notablemente la relación S/N (Señal/Ruido). El aparato aplica compensación automática de los potenciales espontáneos.

Los accesorios

Entre los accesorios se cuenta con los electrodos, los carreteles y los cables. Los electrodos son de acero, fuertes (diámetro ~2.5 cm), largos (~75 cm), con ranuras útiles para la conexión de las abrazaderas de los cables. Se utilizan estas barras para los electrodos de corriente y los electrodos de potencial; no se utilizan 'botellas' con electrodos de cobre en sulfato de cobre. Los carreteles y los cables son los elementos que tal vez más influyen tanto la producción como la calidad de los sondeos. Ambos elementos en el equipo de SENASA son de baja calidad y son inadecuados para el trabajo de campo. De una manera poco ortodoxa se enrollan los cables en una caja plástica vacía. Ofrece una solución en caso de la falta de accesorios adecuados, pero los resultados son enredados frecuentes del cable y una enorme e innecesaria pérdida de tiempo. Otro defecto crítico son los cables. Los cables suministrados con el instrumento son débiles, elásticos y están aislados por un plástico muy blando. Los resultados son frecuentes averías del plástico aislante (especialmente producidas por las calles empedradas), también frecuentes roturas del cable (de nuevo especialmente en las calles empedradas, donde el cable se queda trancado atrás de una piedra) y paulatinamente un incremento en la longitud del cable, producido por el estiramiento del mismo. Estos cables deben ser remplazados por cables aptos para la ejecución de mediciones geoeléctricas, que tienen como características una combinación de hilos de acero con hilos de cobre, los primeros para darle fuerza, los otros para darles una buena conductividad, y un plástico aislante que a la vez es fuerte y flexible. La carencia de carreteles robustos y de buen diseño y los cables de mala calidad inciden en la calidad de las mediciones y aumentan el tiempo y el costo de las investigaciones en una forma inaceptable.

El dispositivo

Actualmente SENASA ejecuta los sondeos eléctricos verticales (SEV) para la ubicación de pozos según el dispositivo de Wenner, y hasta una distancia electródica máxima muy corta ($a = 200$ m). Se extienden cintas de medir por toda la longitud del sondeo (hasta 300 m hacia ambos lados). Se conectan las cintas con unas extensiones a un electrodo auxiliar, clavado en el centro del dispositivo. Estas extensiones de las cintas de medir producen un error sistemático pequeño en la medición.

Los ayudantes

El grupo de geofísica de SENASA consiste de un geofísico y un ayudante-geofísico. Los demás ayudantes (hasta un total de 4) se reclutan en el lugar de la medición. Como

en la práctica de 'well siting' se hacen SEV cada vez en un nuevo lugar, eso implica que cada vez hay que entrenar nuevo personal, lo cual influye negativamente en la calidad de las mediciones como en la producción. Se equipan los ayudantes con unas listas de distancias en que tienen que clavar los electrodos. No llevan agua y cambian los electrodos de posición después de ser instruidos por el geofísico/operador. La orden de cambio es por un 'grito', lo cual no es problema, siendo la distancia máxima pequeña. Sin embargo, para distancias mayores necesitan radios para la comunicación. El proyecto FEHS recientemente ha proporcionado a SENASA con un juego de cuatro radios para la ejecución de los sondeos.

La medición

En las mediciones observadas en campo, se han aplicado una intensidad de corriente de 10 mA (a veces 20 mA). Cuando el potencial medido llega a valores pequeños, se debe aumentar la corriente. Sin embargo, al probar esto en el campo, generalmente resultó en un error. Las causas son la resistencia del suelo (generalmente alta) y la resistencia de contacto. Se pueden reducir ambos, clavando mas profundo los electrodos y añadiendo agua (salada) al área alrededor de los electrodos. Sin embargo, por lo general no se tomaron estas medidas y siguieron midiendo con valores de potenciales relativamente pequeños. Sin embargo, ya que se aplica Wenner, los valores de potenciales se mantienen relativamente altos y a distancias $a = 200$ m no llegaron a ser menores de 5 mV.

No se utiliza la posibilidad de apilamiento ('stacking').

Otra observación es que las distancias electródicas aplicadas no toma en cuenta la escala logarítmica, ni la resolución del método geoelectrico (Figuras 3.1 y 3.2). El resultado es una gran densidad de puntos del gráfico a distancias mayores de 'a' (y una densidad muy pequeña a corta distancia).

La producción y la calidad

Se efectúan las mediciones en forma rápida y eficaz. Se realizan dos SEV en dispositivo Wenner con 4 ayudantes en 2 horas y media. Sin embargo, debido a esta producción rápida, no se toma el tiempo para calcular la resistividad a partir de la resistencia y el factor geométrico y luego graficar los resultados en papel logarítmico para llevar un control de la calidad del sondeo. Se grafican los puntos después en la oficina.

La ubicación en el mapa de los sondeos

La ubicación del SEV se determina con un GPS portátil, que da valores de longitud y latitud con una medición que toma menos de un minuto. Según el manual de este instrumento, el eTrex de GARMIN, la precisión en la posición llega a 15 m.

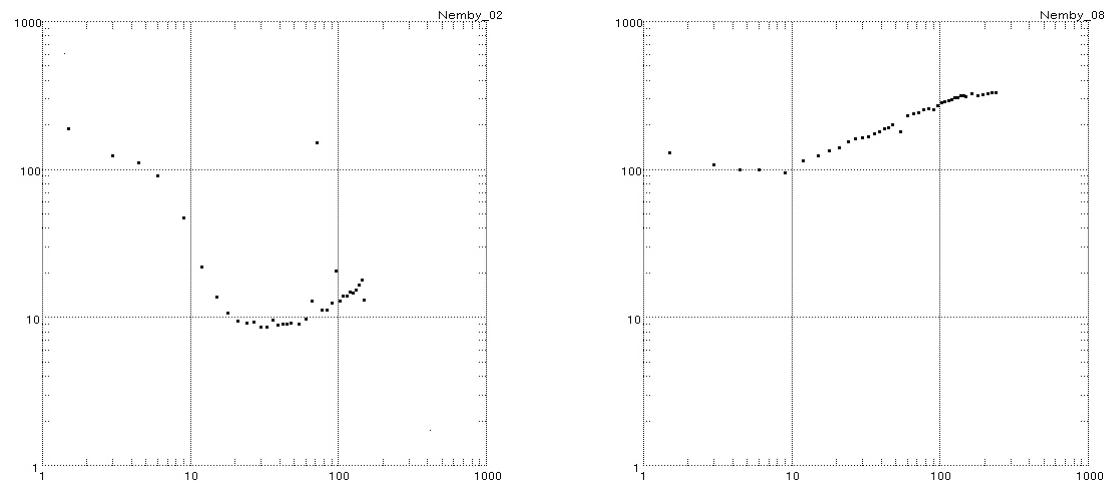


Figura 3.1 Ejemplos de sondeos eléctricos verticales efectuados por SENASA para la ubicación de pozos en el área de Ñemby. Mediciones en dispositivo Wenner, pero graficadas en escala Schlumberger. Izquierda: sondeo indicando zona con malas perspectivas para un pozo de agua; derecha: sondeo indicando zona con buenas perspectivas para un pozo de agua.

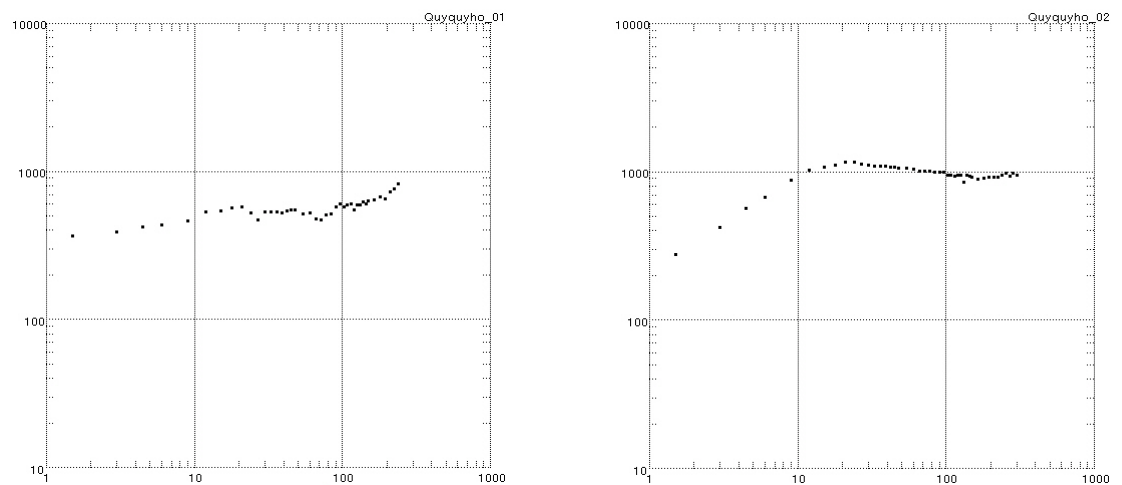


Figura 3.2 Dos sondeos eléctricos verticales efectuados por SENASA para la ubicación de pozos en Quiquyho, Paraguari. Mediciones en dispositivo Wenner, pero graficadas en escala Schlumberger. Izquierda: sondeo perturbado; derecha: sondeo de buena calidad.

3.2.2 Observaciones en la oficina

En la oficina, primero se grafican los puntos en papel bilogarítmico. Conectan entre dos puntos una línea, en vez de trazar una curva fluente por el conjunto de puntos de medición. Luego, se interpreta la curva de campo, utilizando solamente ábacos de 2 capas en combinación con el método de puntos auxiliares. Tienen la tendencia de interpretar cada cambio en la curva como una nueva capa, incluyendo cambios debidos a obvios errores, llegando así a modelos de 8 capas en un dispositivo de $a = 200$ m. No se toma en cuenta la posibilidad de modelos equivalentes y hasta la fecha no se verifica el modelo obtenido con programa de computadora.

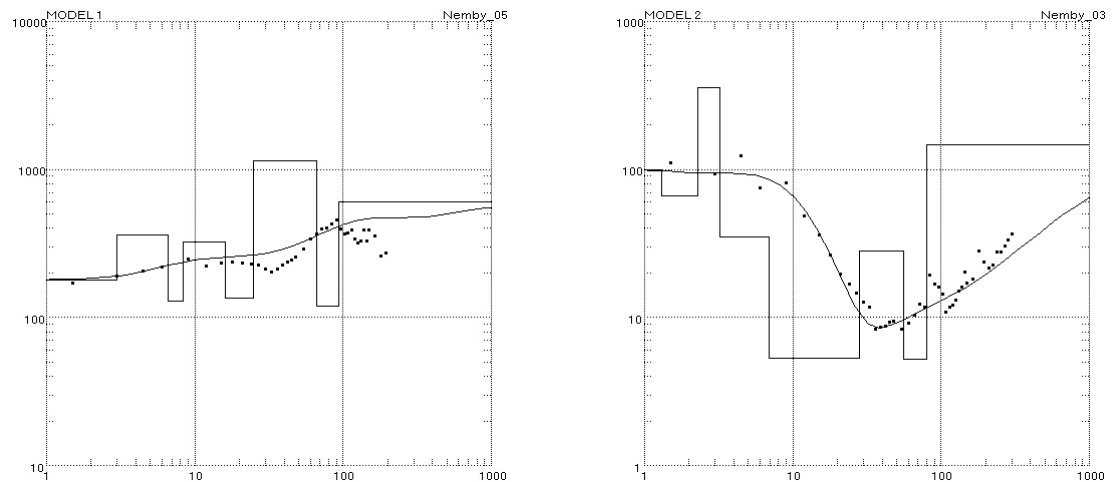


Figura 3.3 Ejemplos de la interpretación de sondeos cortos en 8 capas.

Se prepara un informe técnico para cada localidad donde se ejecutaron sondeos geoelectricos. En este informe técnico, se describe la ubicación del área de estudio, los antecedentes con la problemática que se trata resolver y los objetivos del estudio geofísico; se incluye también el sistema de medición, los resultados describiendo la interpretación con el modelo de capas y sus características deducidas; finalmente, se dan las recomendaciones, incluyendo el sitio para hacer la perforación del pozo. De cada SEV se dan las coordenadas y también, la profundidad de penetración, que interpretan como igual a la distancia 'a' entre los electrodos. En el informe se incluye un mapa con la ubicación de los sondeos y pozos existentes, un corte geoelectrico (en algunos casos 3-dimensional) mostrando la secuencia de los sondeos, las planillas y las curvas de campo con su interpretación en una lista de capas (profundidades y resistividades), y los perfiles litológicos; y - si existen - perfilajes geofísicos de pozos existentes en el área del estudio también se anexan al informe.

En la oficina no hay una biblioteca con libros de geofísica de referencia, ni con artículos que tratan el tema de métodos geofísicos aplicados a la hidrogeología.

3.3 Entrevistas con profesionales

3.3.1 General

Las entrevistas con tres profesionales del Departamento de Recursos Hídricos han proporcionado en primer lugar una noción general de las actividades con respecto a los pozos, y luego, de las condiciones prácticas bajo las cuales son llevadas a cabo. Un factor dominante en estas condiciones es la poca disponibilidad de tiempo y de recursos, razón por la cual a veces se reducen o se cancelan parcialmente los pasos técnicos. Las salidas al campo requieren la aprobación de la oficina central de SENASA.

3.3.2 Ubicación de pozos

Para la ubicación de un pozo, la práctica común es que un geólogo haga un breve estudio de gabinete para informarse de las condiciones hidrogeológicas en la zona correspondiente. Utiliza el mapa topográfico 1:50 000, a veces también fotografías aéreas, el archivo de pozos y otros materiales que puedan ayudar a definir las condiciones hidrogeológicas del área. Aspectos importantes para definir son la cuenca correspondiente, la presencia de fracturas y lineamientos estructurales, y la presencia de manantiales. También consulta a otros geólogos que tienen conocimientos de la zona. Posteriormente, el geólogo viaja al campo por un día, con la finalidad de verificar y ajustar sus informaciones e interpretaciones. En muchos casos ya no queda mucha duda, pero si el riesgo de encontrar agua en cantidad y calidad insuficiente es considerado alto o mediano, se recomienda la exploración geofísica. Consiste en la práctica de 2 hasta 5 días de trabajo de campo, ejecutándose calicatas o sondeos eléctricos para explorar las condiciones subterráneas. A partir de 1996 se cuenta con equipo geofísico nuevo para tal efecto. En el caso ideal, se presentan informes con recomendaciones de todos estos trabajos, pero solo ocasionalmente se los encuentra en los archivos. Sin embargo, después de reunirse en el Departamento de Recursos Hídricos para tomar una decisión, en muchos casos no se redacta un informe ya que se lo considera como pérdida de tiempo o simplemente falta tiempo para hacerlo. Existen ambiciones en el departamento de extender el instrumentario técnico para la ubicación de pozos con la magnetometría y con el monitoreo permanente de niveles y calidad del agua (en algunos acuíferos). Por otro lado, a veces ocurre también que SENASA decide la perforación inmediata de un pozo, sin dejar tiempo para los trabajos preparatorios.

3.3.3 Construcción de pozos

SENASA tiene en estado operacional cuatro máquinas de perforación con sus equipos y personales. Son dos máquinas Ingersol Rand TH 60 (modelos 79 y 90, respectivamente) y dos máquinas Sankyo. Los métodos de perforación más usados son la perforación por percusión a martillo y la perforación a rotación con circulación directa, usándose bentonita. El Departamento de Recursos Hídricos – además de ser el responsable para la ejecución del trabajo - tiene a cargo la supervisión geológica de la perforación, ejecuta un perfilaje eléctrico al finalizar y decide con respecto al revestimiento, los filtros y el grabado del pozo.

Durante la perforación se registra el progreso, anotándose el número de minutos por cada intervalo definido (por ejemplo 1.5 m) de profundidad. De cada intervalo se saca una muestra del material de la formación penetrada, la cual se guarda para su análisis y descripción posteriores. Cada equipo de perforación tiene su viscosímetro con el cual se saca mediciones repetidas en el caso de las perforaciones rotativas. Perforando a martillo se mide cada 6 metros la conductividad eléctrica y el caudal. El perfilaje eléctrico incluye SP, resistividad y gama; es interpretado en forma cualitativa, y después inmediatamente se diseña el revestimiento. El perfilaje, el entubado y la limpieza son ejecutados en un solo día. La limpieza de pozos perforados a rotación es por el método de pistoneo hidráulico, para no dañar la tubería.

Desde hace unos 10 años se utiliza tubería de PVC para el entubado y los filtros del pozo. Se reviste en formaciones no consolidadas y semi-consolidadas; en la presencia de roca dura (basaltos, rocas ígneas, areniscas duras) se extiende la encamización hasta el techo de la roca. Se ha optado por un empaque de tamaño estándar, porque la burocracia institucional no es lo suficientemente flexible para variar el empaque según las características de cada pozo. El empaque estándar es una gravilla de 0.30 a 3 mm.

3.3.4 Prueba de bombeo

El objetivo principal de la prueba de bombeo es la determinación de la capacidad óptima de la bomba. A veces no es necesario, por ejemplo si la bomba ya está comprada o si durante la limpieza ya es claro que la capacidad del pozo es mucho mayor que la demanda de agua.

SENASA tiene una unidad operativa de equipo para ejecutar las pruebas de bombeo, con tres personales. El equipo consiste de un camión con bomba, guinche, torre y accesorios. El nivel se mide con cinta eléctrica dentro de un tubo de plástico de 0.5” introducido dentro del pozo. Se utiliza hidrómetro para medir el caudal.

El ensayo consiste de una fase de bombeo durante alrededor de 2700 minutos (varia en función de la estabilización del nivel), seguida por una fase de recuperación hasta 70 – 80 % de la recuperación se ha producido. Son estandarizados los intervalos de tiempo entre las mediciones sucesivas del nivel, incrementándose el intervalo de un minuto en el inicio de la prueba hasta una hora al final de la fase de bombeo.

En base a los datos de caudal y abatimiento final durante la prueba, la demanda de agua, el abatimiento máximo permisible y otras consideraciones prácticas se recomienda el caudal óptimo para el pozo y el abatimiento correspondiente. Este abatimiento se estima por extrapolación, usándose la capacidad específica del pozo durante la prueba y un margen de seguridad hasta de unos 10 m. Estos datos indican también a qué profundidad colocar la bomba. Frecuentemente, esta información no se encuentra por escrito en los archivos.

4 Observaciones con respecto a la metodología utilizada por el Departamento de Recursos Hídricos de SENASA

4.1 Metodología con respecto a la ubicación de los pozos

4.1.1 Observaciones generales

En general, el planteamiento del Departamento de Recursos Hídricos de SENASA para la ubicación de pozos es bastante racional y bien desarrollado. El uso de los escasos recursos varía a medida del riesgo asociado con la perforación considerada, entonces se intenta optimizarlo. El personal profesional tiene aspiraciones para ampliar el gama de técnicas (por ejemplo con magnetometría y métodos electromagnéticos), pero las limitaciones presupuestarias parecen frenar tal desarrollo.

Aparte de algunas observaciones respecto a temas específicos (véase las secciones 4.1.2 y 4.1.3), se observa que no se toma mucho en cuenta que los datos del pozo de hoy puedan servir también para mejores decisiones acerca de otros pozos en el futuro. De este punto de vista es una lástima que en muchos casos es incompleta la documentación de los pozos. Métodos computarizados para la entrega y presentación rápida de información relevante podrían cambiar esta situación. También habría que pensar acerca la evaluación periódica del impacto de las actividades preparatorias, factor esencial para planificar evolución de la metodología utilizada.

4.1.2 Consulta de datos archivados

Si existen datos de pozos perforados anteriormente en los alrededores del sitio considerado para perforar un nuevo pozo, los archivos del Departamento de Recursos Hídricos de SENASA permiten orientarse acerca de las posibles condiciones hidrogeológicas. En base a tales datos el hidrogeólogo ya puede desarrollar ideas con respecto a las características del acuífero, la profundidad óptima de la perforación, la capacidad del pozo y la calidad de las aguas subterráneas en el sitio. No solamente sirven para confirmar o modificar el sitio seleccionado o la profundidad planificada del pozo (dentro de límites factibles), sino también para juzgar si algunos sondeos de resistividad serán necesarios y para reducir problemas operacionales mediante su anticipación adecuada.

Para hacer estas consultas es necesario poder encontrar rápidamente los datos de los pozos en las vecindades. Falta un catálogo sistemático de los datos presentes con el cual se puede identificar los sitios de pozos existentes y la disponibilidad de los datos

correspondientes. Entonces, depende de la familiaridad del hidrogeólogo si encontrará todos los datos de interés y el tiempo que gastará en encontrarlos. Los datos de los archivos son datos puntuales y no están procesados en forma regional o sub-regional, por ejemplo en forma de mapas. Esto dificulta el uso eficaz y exhaustivo de los datos. El Banco de Datos REGIS elimina estas limitaciones. Con el catálogo se ubica rápidamente la información disponible, mientras que las funciones gráficas de SIG permiten sin gastar mucho tiempo construir mapas para la estimación óptima las condiciones en el sitio considerado.

4.1.3 Mediciones geoelectricas

Salvo en casos de poco riesgo asociado con la perforación, es procedimiento común de SENASA efectuar mediciones geoelectricas en el área de una comunidad que pide la perforación de un pozo. El geofísico del proyecto FEHS participó en uno de estos estudios en el campo cerca al municipio de Quyuquyhó en el Departamento Paraguarí. El resto de las observaciones esta basado sobre los informes preparados por el geofísico de SENASA.

La aplicación de geoelectrica es importante para una buena ubicación de pozos y es bueno señalar la importancia que la da SENASA. La ejecución de estos sondeos se hace eficientemente pero aún se puede mejorar. Para mejorar la respuesta a cambios laterales en el subsuelo, tanto geológicos como artificiales, es mejor utilizar el dispositivo Schlumberger. Para esto es necesario aplicar corrientes de mayor intensidad, lo cual se puede lograr clavando mas los electrodos y añadiendo agua a los electrodos. Eso lógicamente requiere mas esfuerzo y más tiempo, lo cual se puede compensar disminuyendo el numero de puntos (distancias electródicas) que se mide. Es suficiente medir entre 8 y 10 puntos por ciclo logarítmico, en vez de los 21 puntos o más que se miden ahora¹. Aplicando Schlumberger en vez de Wenner, también es un ahorro en personal auxiliar. Aunque la técnica de interpretar los sondeos con ábacos (2 capas con puntos auxiliares) hoy día esta remplazada por programa de computación, los resultados han sido útiles. Comparando las curvas calculadas a partir de los modelos deducidos con ábacos, muestra que la interpretación puede ser mejorada. Sin embargo, las conclusiones obtenidas en general son buenas y útiles, y han servido para una buena ubicación de los pozos en la mayoría de los casos. Un ejemplo es la ubicación de un pozo en el área de Ñemby, donde se construyó el pozo (que resultó de buen caudal) en el lugar del SEV 8 (Figura 3.1, derecha) con altas resistividades del acuífero, evitando perforaciones en lugares de baja resistividad como la del SEV 2 (Figura 3.1, izquierda).

¹ La justificación de medir tantos puntos esta en la convicción de que pequeños cambios con la profundidad, como los producidos por zonas fracturadas, se puede notar en curvas SEV. Sin embargo, se puede comprobar mediante modelación que estos son ideas erróneos.

En general, se recomienda alargar los sondeos un poco mas para poder obtener conclusiones sobre el espesor del acuífero. Los sondeos cortos, como el ejemplo del SEV 8 (Figura 3.1, derecha), no permiten tener conclusiones sobre la base del acuífero.

4.2 Metodología con respecto a la construcción de los pozos

4.2.1 Observaciones generales

No es posible presentar una opinión válida con respecto a las prácticas diarias de la construcción de los pozos, por falta de oportunidades de observar las actividades de perforación en el campo. Sin embargo, se observa que por recursos limitados, distancias largas y otros factores es relativamente indirecto y limitado el papel del hidrogeólogo. No puede asistir día tras día, entonces muchas interpretaciones y decisiones en realidad son preparadas por el personal de la maquina de perforación. Este personal tiene que estar en la posición de cumplir bien con estas responsabilidades. No solamente requiere instrucciones claras y estandarización de los métodos usados, sino también el entrenamiento adecuado respecto a nociones geológicas e hidrogeológicas.

4.2.2 Perfilajes geofísicos

Ejecutar perfilajes geofísicos en pozos perforados por SENASA es un procedimiento común. Las observaciones se basan sobre las carpetas de SENASA. El perfilaje geofísico es fundamental para un optimo diseño de un pozo. Además, proporciona mucha información sobre la estratificación del subsuelo y la salinidad del agua subterránea. SENASA dispone de un buen equipo para ejecutar las mediciones en forma digital, permitiendo archivar las mediciones en un banco de datos. Se han encontrado los perfilajes en las carpetas de los pozos y estudios para la ubicación de los pozos. A veces con indicaciones en el registro sobre la terminación del pozo. Sin embargo, no existe una forma sistemática para evaluar los registros. En ningún caso, se ha encontrado una interpretación litológica del perfilaje.

4.3 Metodología con respecto a la prueba de bombeo

4.3.1 Objetivos

Las pruebas de bombeo conducidas por SENASA sobre todo parecen tener el objetivo de determinar la capacidad del pozo y el abatimiento del nivel correspondiente, con miras a la selección óptima de la bomba y su colocación a profundidad correcta. Sin embargo, sin una interpretación más fundamental - en términos de parámetros

hidráulicos - se obtiene un dato muy global, poco transparente y no siempre confiable. Conociendo los valores de tales parámetros se podría hacer predicciones del comportamiento a mediano/largo plazo del pozo mucho más confiables que las predicciones encontrados en las carpetas (véase abajo). Además es claro que las prácticas existentes no intentan coleccionar datos para estudios hidráulicos regionales, aunque es poco el esfuerzo adicional requerido y es muy probable que tales datos serán necesarios dentro de poco tiempo.

4.3.2 Diseño y ejecución

Las pruebas de bombeo seleccionadas de las carpetas son ensayos a caudal constante, seguidos por una fase de recuperación después de apagar la bomba. Su diseño a grandes rasgos es en conformidad con prácticas internacionales. Sin embargo, cabe hacer las siguientes observaciones:

- No son medidos los niveles antes de bombear para verificar la estabilidad del nivel inicial (la cual en general es un supuesto en las interpretaciones).
- No se registró en ninguna de las pruebas consultadas la hora exacta del inicio del bombeo, entonces no se conoce con precisión el lapso de tiempo de bombeo correspondiente a cada una de las mediciones del nivel. Esto es una desventaja si uno quiere estimar parámetros hidráulicos con base en la prueba.
- Es muy corta la duración de las fases de recuperación (15 –25 minutos), de modo que posiblemente no contribuye al objetivo en la mayoría de las pruebas (los datos de la recuperación de solo uno de los ensayos seleccionados fueron interpretados para estimar la transmisividad, utilizándose el método gráfico de Jacob; los datos de las demás pruebas posiblemente no han sido utilizados).

El diseño permite en la mayoría de los casos la estimación de los parámetros hidráulicos del acuífero, pero no permite evaluar la eficiencia del pozo en relación al caudal de bombeo, por no contar con caudales escalonados.

4.3.3 Procesamiento e interpretación

Los archivos presentan muy poca evidencia de procesamiento e interpretación de los datos. En varios casos, solamente se presentan datos de la prueba y no es claro si han sido utilizados después de aplicar alguna forma de procesamiento o interpretación. En algunos casos los datos medidos están acompañados de un resumen de la prueba hidráulica, en otros casos no. Por lo tanto, se puede concluir que parte de la información adquirida en el campo se está perdiendo por falta de procedimientos estrictos de oficina.

La interpretación de las pruebas es muy rudimentaria y en la extrapolación a caudales sustancialmente más elevadas es muy cruda. Faltando el conocimiento de los parámetros hidráulicos tanto del acuífero como del pozo, los valores extrapolados deben tener margen significativo de incertidumbre.

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Los métodos usados por el Departamento de Recursos Hídricos del SENASA para la ubicación, la construcción y las pruebas de bombeo son en general bastante racionales y – con algunas excepciones – profesionalmente bien desarrollados.
- Sin embargo, hay opciones para mejoras técnicas, como se indicará abajo en la sección de las recomendaciones. Se trata especialmente de los archivos de datos, los estudios geofísicos, los perfilajes geofísicos, las pruebas de bombeo y la capacitación profesional.
- Es evidente que son estructurales las restricciones de tiempo y de recursos como factores importantes que limiten la aplicación y el desarrollo de métodos hidrogeológicos y geofísicos.
- En las prácticas actuales las metas son de carácter local e inmediato. No se da mucha importancia a esfuerzos adicionales que podrían producir beneficios a mediano o largo plazo.
- Falta la evaluación explícita del éxito de las perforaciones y del funcionamiento a mediano plazo de los pozos en comparación con las expectativas durante las fases de la ubicación, construcción y prueba de bombeo.
- Los hidrogeólogos del Departamento de Recursos Hídricos del SENASA tienen amplios conocimientos de las condiciones hidrogeológicas locales en muchas partes del país. Sin embargo, estos conocimientos no son bien documentados, entonces solamente pueden compartirse mediante contacto personales y tienden a perderse cuando los profesionales terminan su cargos dentro del departamento.
- El número de profesionales dentro del Departamento de Recursos Hídricos del SENASA es reducido y la experiencia en la aplicación de algunos métodos (por ejemplo métodos geofísicos) no es compartida. Esto tiende a limitar el desarrollo profesional con respecto a los métodos considerados – por falta de interacción – y significa cierto riesgo potencial de continuidad.

5.2 Recomendaciones

5.2.1 Recomendaciones con respecto al almacenamiento y procesamiento de los datos

- Se recomienda seguir mejorando la documentación completa de las actividades llevadas a cabo, por lo menos asegurando que el conjunto de formularios diseñados hace algunos años realmente es llenado por completo para cada pozo. Los datos de pozos individuales sin duda contribuirán también a mejores decisiones en el futuro con respecto a otros pozos o a la gestión regional de las aguas subterráneas.
- Se recomienda utilizar y ampliar el nuevo sistema del Banco de Datos para facilitar el procesamiento y la presentación rápida de los datos, y para disponer de un catálogo que permita la ubicación instantáneo de todos los datos de interés.

5.2.2 Recomendaciones con respecto al método de resistividad eléctrica

El dispositivo

- Se recomienda cambiar el dispositivo del Wenner al Schlumberger. El dispositivo Wenner tiene la ventaja de medir potenciales más grandes, entonces una mejor relación Señal/Ruido. Su principal desventaja es la deformación de la curva en el caso de variaciones laterales, como las formadas por la inclinación de capas, por fallas y por desniveles topográficos. Otras desventajas son una mayor posibilidad de errores (sistemáticos) de distancia y un mayor número de ayudantes necesarios para mover los electrodos. Por otra parte, el dispositivo Schlumberger permite señalar heterogeneidades laterales y luego corregir por ellas. La desventaja del método Schlumberger de diferencias de potenciales más pequeñas se puede compensar aplicando por un lado corrientes de mayor intensidad y por otro lado aprovechando la posibilidad de apilamiento que ofrece el instrumento McOHM.
- Se recomienda utilizar corrientes con mas intensidad para los sondeos Schlumberger. Para obtener una mayor intensidad de corriente, deben instruir a los auxiliares de campo para siempre clavar los electrodos lo mas profundo posible, y siempre llevar recipientes con agua (salada).
- Para sondeos Schlumberger se recomienda utilizar radios ('walkie-talkie') para la comunicación entre el operador y los ayudantes a distancias electrónicas mayores

de 100 m. En la técnica de SEV Schlumberger deben aplicarse corrientes de mayor intensidad, que pueden ser peligrosas. Este riesgo se disminuye con una buena comunicación por radio. Además se evitan errores, lo cual resultara en una mejor calidad en las curvas SEV.

Los accesorios

- Se recomienda con gran énfasis adquirir carreteles y cables aptos para trabajar en campo. Quiere decir carreteles firmes, con un buen sistema de contacto de corriente en el eje y preferiblemente con un acelerador. Los cables deben ser fuertes y de baja resistencia, lo cual se logra combinando hilos de acero con hilos de cobre, de buen aislamiento y de baja elasticidad.
- Se recomienda conectar los cables a los carreteles e instrumentos con sus debidos enchufes de banana (en vez de tener que preparar para cada sondeo una nueva conexión).

La medición

- Es indispensable llevar en campo un control de calidad de la medición. Por eso debe calcular la resistividad y graficar su valor en papel bilogarítmico inmediatamente después de medir el punto. Eso permite corregir inmediatamente errores en las posiciones de los electrodos, descubrir las causas de perturbaciones y repetir las mediciones erróneas.
- Se recomienda siempre utilizar apilamiento ('stacking'), cuando los voltajes medidos llegan a ser bajos. Cuando son menores de 10 mV: un apilamiento de 4, menos de 1 mV e inestabilidad en las lecturas (mucho variación con apilamiento de 4): 16.

Procesamiento e interpretación de los datos

- Se recomienda que se interpreten los sondeos geoeléctricos con un programa de interpretación indirecta, como el programa VES de TNO. Éste método de interpretación tiene la ventaja sobre los métodos de interpretación directa (automática) en forzar al geofísico a utilizar modelos en armonía con la geología del área y de acuerdo con los datos de (registros de) pozos. De esta manera se entrena la capacidad y se utiliza al máximo el conocimiento del profesional. Una vez adquirida una amplia experiencia con esta forma de interpretación, se podría cambiar a programas de interpretación directa, como el RESIX de Interpex, Ltd.

5.2.3 Recomendaciones con respecto al perfilaje geofísico

- Se recomienda que se adapte un estándar para la interpretación de los perfilajes geofísicos. Quiere decir, interpretar el perfilaje en forma preliminar inmediatamente después de su medición en campo, para el diseño del pozo, y después ejecutar una interpretación detallada litológica (y posiblemente con el tiempo, también una interpretación estratigráfica, una vez adquirida suficiente experiencia para reconocer o determinar las diferentes formaciones geológicas). Obtener así un banco de datos con información geológica de los perfilajes geofísicos dará una gran contribución al conocimiento regional para futuros estudios hidrogeológicos.

5.2.4 Recomendaciones con respecto a las pruebas de bombeo

Trabajo de campo

- Se recomienda hacer apagar la bomba del pozo de bombeo durante un lapso suficiente de tiempo para permitir la estabilización del nivel del agua e iniciar el monitoreo piezométrico ya horas antes del inicio de la prueba para detectar posibles variaciones del nivel. Si el nivel no está estable al iniciar de bombeo, habrá que tomarlo en cuenta en interpretaciones cuantitativas.
- Se recomienda anotar en el campo y en los archivos el momento exacto del inicio de la fase de bombeo, para que todas las observaciones pueden relacionarse exactamente al lapso de tiempo a partir del inicio del bombeo.
- Se recomienda preparar ya en el campo los gráficos del abatimiento del tiempo (por ejemplo en papel semi-logarítmico), para poder detectar irregularidades de la prueba, para una interpretación cualitativa provisional y para facilitar la posible interpretación cuantitativa posterior.

Interpretación

- Se recomienda como componente estándar del trabajo la interpretación cuantitativa para determinar los parámetros hidráulicos del acuífero (transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc.). Con tal información se entienden mejor las diferencias de comportamiento entre los pozos. Además se necesitarán valores de estos parámetros en cualquiera simulación numérica regional de las aguas

subterráneas, que seguramente en el futuro se volverán necesarios para los acuíferos intensivamente explotados.

- Para esta interpretación cuantitativa hay que seleccionar métodos que corresponden al tipo de acuífero (libre, confinado, semi-confinado, etc.) y que toman en cuenta adecuadamente las condiciones especiales (almacenamiento en el pozo de bombeo, penetración parcial del acuífero, límites hidráulicos, etc.).

Pérdidas hidráulicas en el pozo

- Se recomienda tratar de estimar la eficiencia hidráulica del pozo bombeado para el caudal de bombeo, con base en la comparación de los datos de la fase de bombeo y de la fase de recuperación. Es posible que será conveniente un ajuste de la duración de la recuperación.
- Se recomienda incluir la ejecución de pruebas escalonadas en pozos seleccionados para desarrollar ideas claras con respecto a las características hidráulicas de los pozos, las cuales explican la pérdidas de carga dentro del pozo. No solamente sirve para mejor poder estimar el caudal máximo del pozo, sino también es indispensable para diagnosticar la necesidad de modificaciones en la construcción de los pozos si su eficiencia no fuese satisfactoria.

5.2.5 Recomendaciones con respecto al desarrollo y a la capacitación profesional

- Se recomienda que la ampliación de las actividades del Departamento de Recursos Hídricos con estudios regionales sea acompañada con la ampliación del personal, para que no se produzcan conflictos excesivos entre las actividades locales ya bien establecidas y la ambición de desarrollar actividades regionales.
- Se recomienda diseminar y acumular experiencias metodológicas entre el personal del Departamento de Recursos Hídricos para que cada tipo de actividad cuente por lo menos con dos personas que sepan llevarla a cabo satisfactoriamente. Obviamente tiene ventajas operacionales y favorecerá la calidad y la continuidad de las actividades consideradas.
- Se recomienda diseñar un plan de capacitación que tome en cuenta esta meta de ampliar los conocimientos dentro del personal.

- Se recomienda la evaluación periódica de las actividades desarrolladas con miras a su continua perfección y el ajuste de visiones a mediano y largo plazo. Es necesario definir como evaluar y asegurar que los datos necesarios para esta actividad se acumulan sistemáticamente.
- Se recomienda crear condiciones para estimular el desarrollo profesional continuo del personal del Departamento de Recursos Hídricos, por ejemplo mediante su participación en conferencias nacionales e internacionales, la publicación de artículos profesionales, la compra de libros técnicos esenciales y la suscripción a algunas revistas profesionales relevantes.

6 Referencias

SENASA, 2000a

Pedido de Propuestas PP No. 09/99 para Servicios de Consultoría para el “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del Senasa”. Cuarto Proyecto Rural de Suministro de Agua y Saneamiento (incluye los Términos de Referencia).

SENASA, 2000b

Contrato N° 28/2000 entre SENASA y el Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO con respecto a la “Consultoría para el Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del Senasa”.

TNO, 2000

Propuesta Técnica para Servicios de Consultoría para el “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del Senasa”. Presentada a SENASA, marzo del 2000.

