

Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO
- *Servicio Geológico Nacional*

Informe de TNO

“Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA”

Estudio del Acuífero Patiño – Informe Técnico 2.7:

Monitoreo piezométrico en la Zona Piloto

Fecha

Marzo del 2001

Autor

Carlos E. Molano C.

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

Dentro del proyecto “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA” se ha llevado a cabo el Estudio del Acuífero Patiño a través de una “Zona Piloto”. En la misma, una parte importante es la construcción de una red de pozos de monitoreo. Luego, a fines del proyecto se inició el monitoreo piezométrico del área, tanto en los pozos existentes como en la red de los 10 piezómetros construidos durante el proyecto.

Con el monitoreo piezométrico se define espacialmente el nivel piezométrico y/o la profundidad a la tabla de agua, con sus fluctuaciones a través del tiempo.

En la Zona Piloto se determinaron profundidades máximas de 55 a 60 metros, 8 zonas de agua aflorante (manantiales) y 3 zonas de agua surgente. También se observó la incidencia que tienen los niveles con la hidrología superficial.

Se incluye también la superficie piezométrica obtenida con la medición de niveles, obteniendo los gradientes y direcciones de flujo.

La información obtenida se basa en los datos de los 10 piezómetros construidos, de unos cuantos pozos abandonados, de información de los archivos de SENASA, y de información aproximada dada por los propietarios de los pozos. Con el tiempo se debe complementar la información con datos adicionales.

Contenido

Resumen	i
Lista de figuras	iv
1 Introducción	1
2 Diseño y construcción de piezómetros.....	2
2.1 Localización.....	2
2.2 Diseño de los piezómetros	3
2.3 Equipo y método de perforación.....	4
2.4 Limpieza, desarrollo y purga de los piezómetros	4
3 Profundidad a la tabla de agua y superficie piezométrica.....	5
4 Variación de niveles.....	8
5 Conclusiones	11
6 Recomendaciones	12
6.1 Monitoreo manual de niveles en la red de piezómetros.....	12
6.2 Monitoreo automático continuo de niveles en la red de piezómetros.....	12
6.3 Pruebas de conductividad hidráulica	12
6.4 Construcción de piezómetros adicionales.....	12
7 Referencias.....	14

APÉNDICES

Apéndice A.	Columnas litológicas y diseño de piezómetros
Apéndice B.	Niveles medidos en los piezómetros
Apéndice C.	Niveles registrados en el piezómetro No. 9 Miraflores (San Lorenzo)

Lista de figuras

Figura 2-1:	Localización de los piezómetros.....	2
Figura 3-1:	Profundidad a la tabla de agua (en metros desde la superficie).....	5
Figura 3-2:	Superficie piezométrica (en metros sobre el nivel del mar, msnm)	6
Figura 3-3:	Velocidades de flujo generadas con la información piezométrica...	7
Figura 4-1:	Variación de niveles en los piezómetros.....	8
Figura 4-2:	Variación de niveles en el piezómetro No.9 Miraflores (San Lorenzo).....	9
Figura 4-3:	Variación de presión y temperatura en el piezómetro No. 9 Miraflores (San Lorenzo).	10

1 Introducción

Este informe hace parte del Volumen 2 “Estudio del Acuífero Patiño”, del informe técnico final del proyecto “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA” (FEHS). Los otros volúmenes tratan el banco de datos hidrogeológicos y las metodologías y capacitación del Departamento de Recursos Hídricos.

La importancia del monitoreo piezométrico radica fundamentalmente en los siguientes aspectos:

- El conocimiento directo del nivel estático del agua subterránea en los acuíferos es posible solamente a través de pozos que no se estén bombeando, y en el agua aflorante en manantiales. Desafortunadamente los pozos de bombeo tienen alteración en este tipo de datos fundamentalmente por las pérdidas de cabeza por el mismo bombeo, y por efectos de almacenamiento en el mismo pozo, registrando niveles diferentes al que tiene el acuífero (en ocasiones con diferencias de decenas de metros).
- Mediante el monitoreo de niveles de agua subterránea se logra tener un conocimiento primario de la forma como el agua subterránea se comporta, delimitando zonas de recarga, descarga, interacción con cauces superficiales, zonas depresionadas por bombeo, y su cambio con el tiempo.
- Con el monitoreo piezométrico se logra determinar los gradientes y direcciones de flujo, y con los datos geohidráulicos del acuífero la magnitud y dirección de las velocidades y caudales.
- Los niveles de agua subterránea con sus gradientes son parámetros importantes para la determinación de la vulnerabilidad del acuífero.

El monitoreo piezométrico se basa en los datos de los 10 piezómetros construidos, de unos cuantos pozos abandonados, de información de los archivos de SENASA, y de información aproximada dada por los propietarios de los pozos. Con el tiempo se debe complementar la información con datos adicionales.

Agradecimientos

Se agradece al grupo del Departamento de Recursos Hídricos del SENASA, en particular la colaboración de Felix Carvalho, del apoyo y colaboración de Jac van der Gun de TNO, y de Victor Gonzalez, constructor del los piezómetros.

2 Diseño y construcción de piezómetros

2.1 Localización

Dentro del proyecto se planeó la construcción de una red inicial de 10 piezómetros ó pozos de observación. Se localizaron fundamentalmente en las zonas de recarga (véase figura Figura 2-1) en donde usualmente las variaciones tienen mas incidencia con la hidrología superficial que en zonas de descarga como en manantiales y ríos.

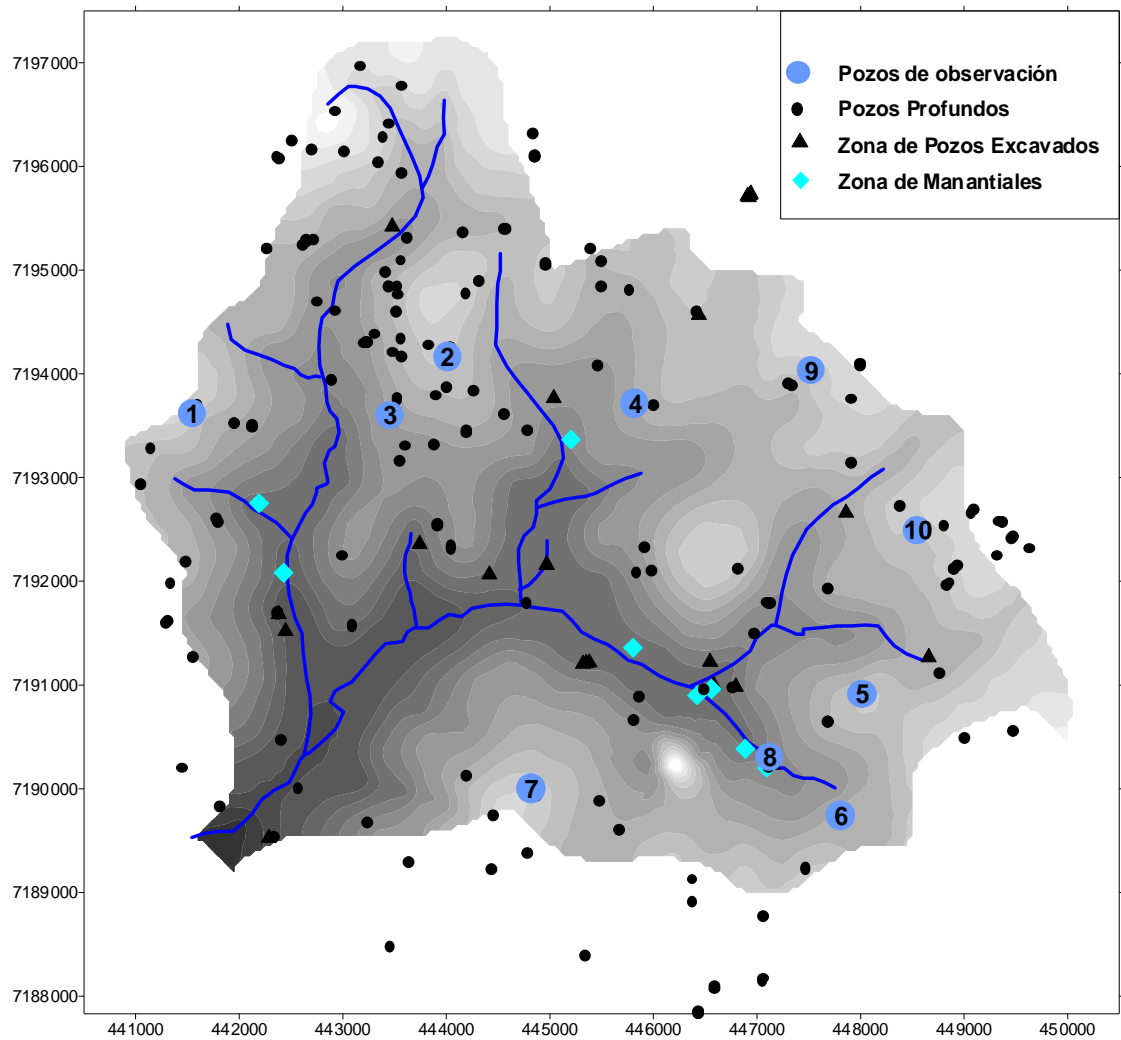


Figura 2-1: Localización de los piezómetros.

2.2 Diseño de los piezómetros

2.2.1 Características Generales.

La localización del tramo de rejilla y profundidad de cada uno de los piezómetros instalados, se estableció de acuerdo a la posición del nivel estático calculado y encontrado durante la perforación exploratoria.

Durante la perforación se efectuaron análisis a las muestras obtenidas en cada metro perforado. Las características generales de diseño y construcción de los piezómetros se pueden observar en el apéndice A, en donde se incluye el diseño definitivo, la tasa de penetración durante la perforación y la correspondiente columna litológica.

Los piezómetros se diseñaron para captar la carga hidráulica en la parte superior de la zona saturada. También sirven para efectuar pruebas de conductividad hidráulica (valdeo ó slug). Eventualmente, con una purga previa también sirven para muestreo y análisis químicos y bacteriológicos

Los piezómetros construidos fueron de tipo "puntual", abiertos sólo en su extremo inferior mediante rejillas ranuradas en una longitud de 6 metros.

2.2.2 Materiales y aspectos constructivos.

La tubería utilizada para el revestimiento de los pozos de monitoreo fue de P.V.C. Schedule 40 con un diámetro nominal de 2". Las uniones son de tipo "campana" en uno de sus extremos, para soldarlas con pegante entre tramos. Para la zona de filtros se emplearon tramos de filtros ranurados en P.V.C. Schedule 40 con abertura de 0.020" aproximadamente. En el extremo inferior se instaló un tapón soldado.

En el espacio anular, existente entre la pared del pozo y el revestimiento, se instaló desde el fondo un empaque filtrante conformado por grava limpia y seleccionada hasta cubrir toda la longitud de la rejilla más unos 5 metros por encima del borde superior de la misma.

Sobre el empaque filtrante de grava se colocó un sello de bentonita, cemento y arena para impermeabilizar la zona inmediatamente superior al empaque filtrante de grava, y evitar así la posible contaminación cruzada a través del espacio anular por filtración desde la superficie.

La terminación de los pozos de monitoreo se hizo conformando en superficie una base de concreto (pedestal) alrededor de la boca de la tubería de revestimiento a la cual se empotró una terminación en acero de tipo capucha, en tubería de 3", con su respectiva tapa con el fin de darle protección al piezómetro.

Finalmente se le colocó una protección en tubería de acero de 2 pulgadas pintada con franjas negras y amarillas reflexivas.

2.3 Equipo y método de perforación

Para la perforación de los 10 piezómetros se utilizó un equipo de perforación de fabricación nacional de pequeñas dimensiones, de tipo rotativo con circulación directa de lodos. Está accionado por un motor diesel de 7,5 HP, y una bomba de lodo centrífuga con suficiente potencial para el barrido hasta 120 m de profundidad.

El diámetro final de perforación fue de cinco (5") pulgadas.

2.4 Limpieza desarrollo y purga de los piezómetros

Con el objeto de remover y extraer el material fino de las paredes del pozo y del empaque filtrante y las partículas de material sedimentado dentro del piezómetro, y asegurar con ello la interconexión hidráulica con la formación acuífera adyacente, se efectuó la limpieza y desarrollo de cada uno de los piezómetros.

Se utilizó inicialmente un lavado del pozo con agua limpia, y después el uso de compresor.

3 Profundidad a la tabla de agua y superficie piezométrica

Con la información de los piezómetros y con ayuda de los inventarios realizados (Molano, 2000a) se obtiene la profundidad a la tabla de agua, la cual se presenta en la Figura 3.1. Esta profundidad se ha obtenido con los datos de niveles estáticos, no de niveles dinámicos de bombeo.

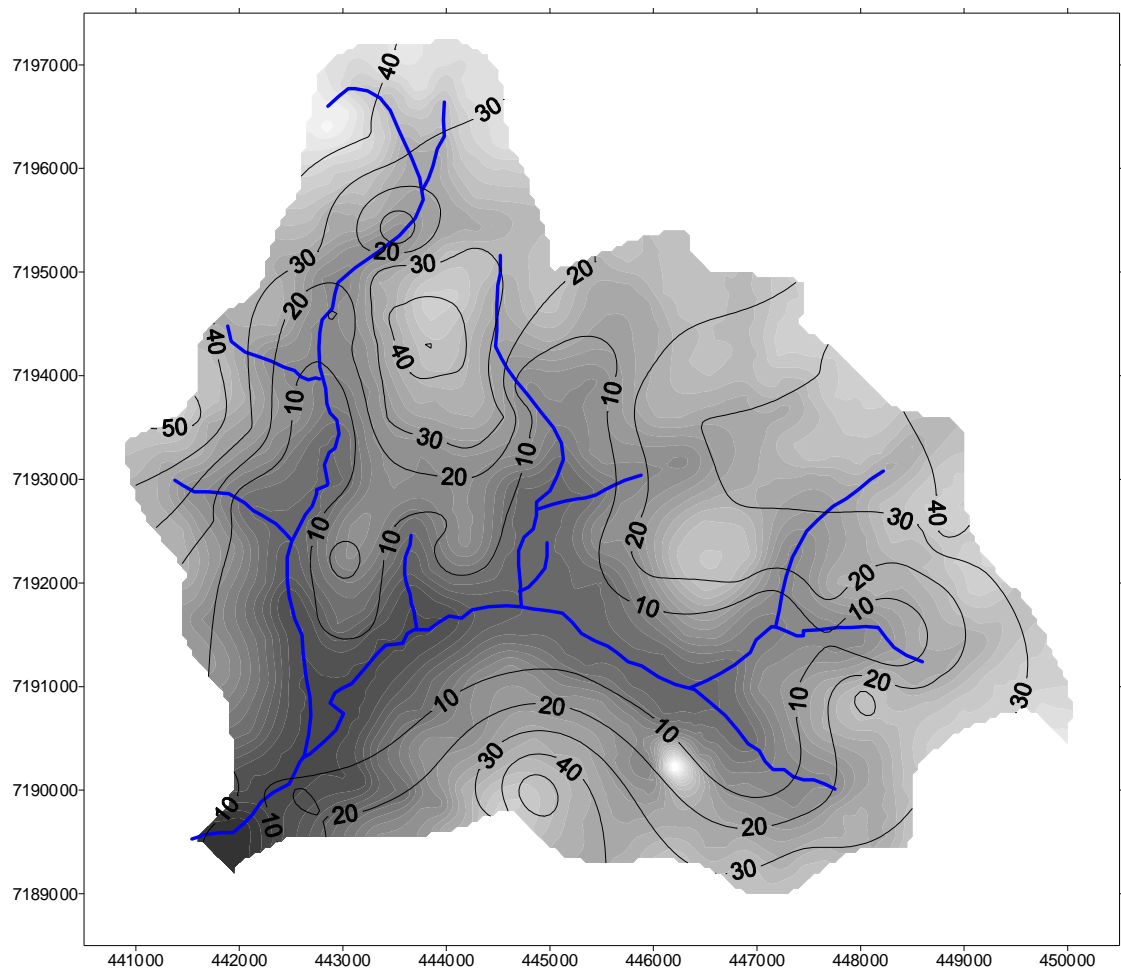


Figura 3-1: Profundidad a la tabla de agua (en metros desde la superficie)

Puede observarse que las menores profundidades corresponden a la zona media y baja de los cauces superficiales, en donde también se localizan los manantiales. Las zonas más profundas se localizan en general en zonas morfológicamente altas.

Con la información de la profundidad a la tabla de agua y con la topografía del terreno, se obtiene la superficie piezométrica ó de tabla de agua, la cual se presenta en la figura 3-2.

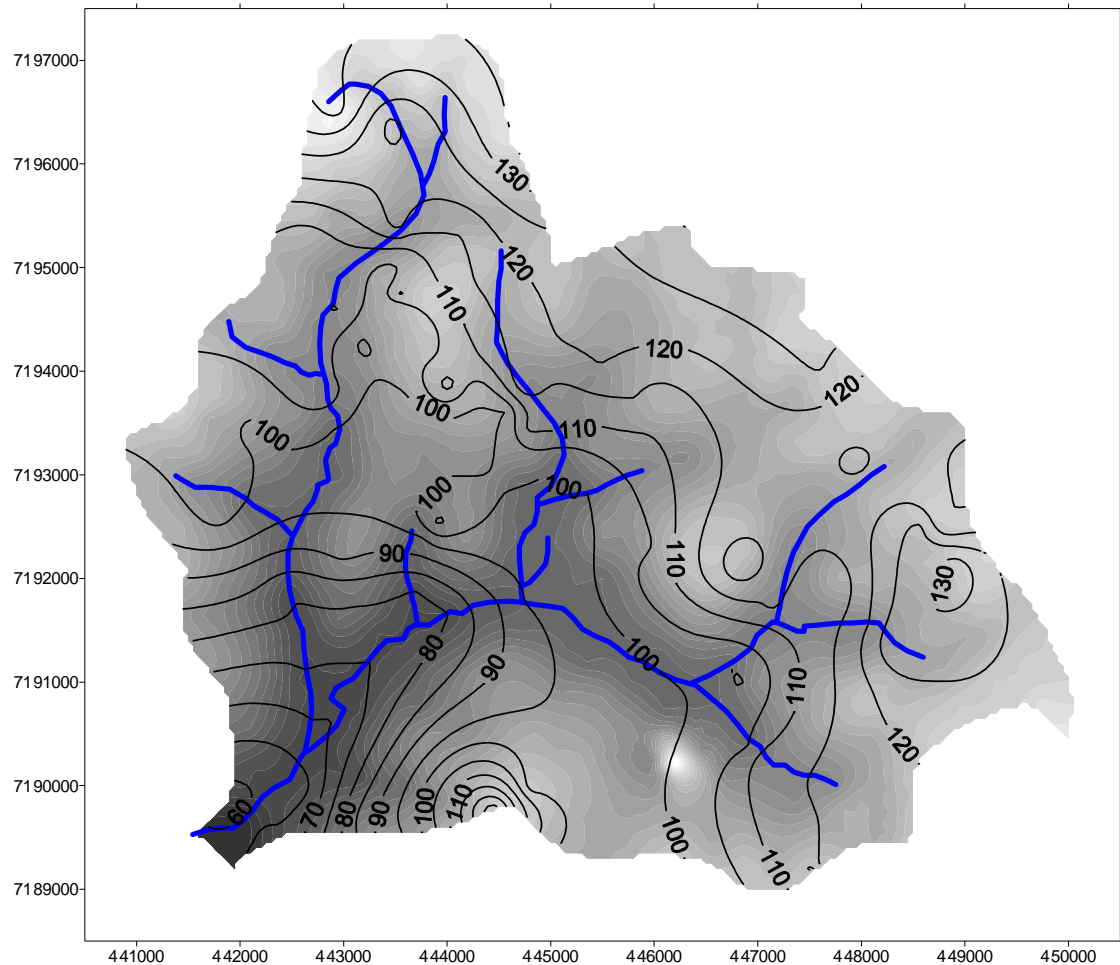


Figura 3-2: Superficie piezométrica (en metros sobre el nivel del mar, msnm)

Puede observarse que los niveles más altos de la tabla de agua están entre 120 y 135 metros, correspondientes a zonas de recarga, hasta niveles entre 60 y 80 metros en la parte más baja de la cuenca en zonas de descarga.

Con esta superficie piezométrica se generó el campo de velocidades de flujo con la información del gradiente y su dirección (Molano 2001a y 2001b). Estos resultados se presentan en la figura 3-3.

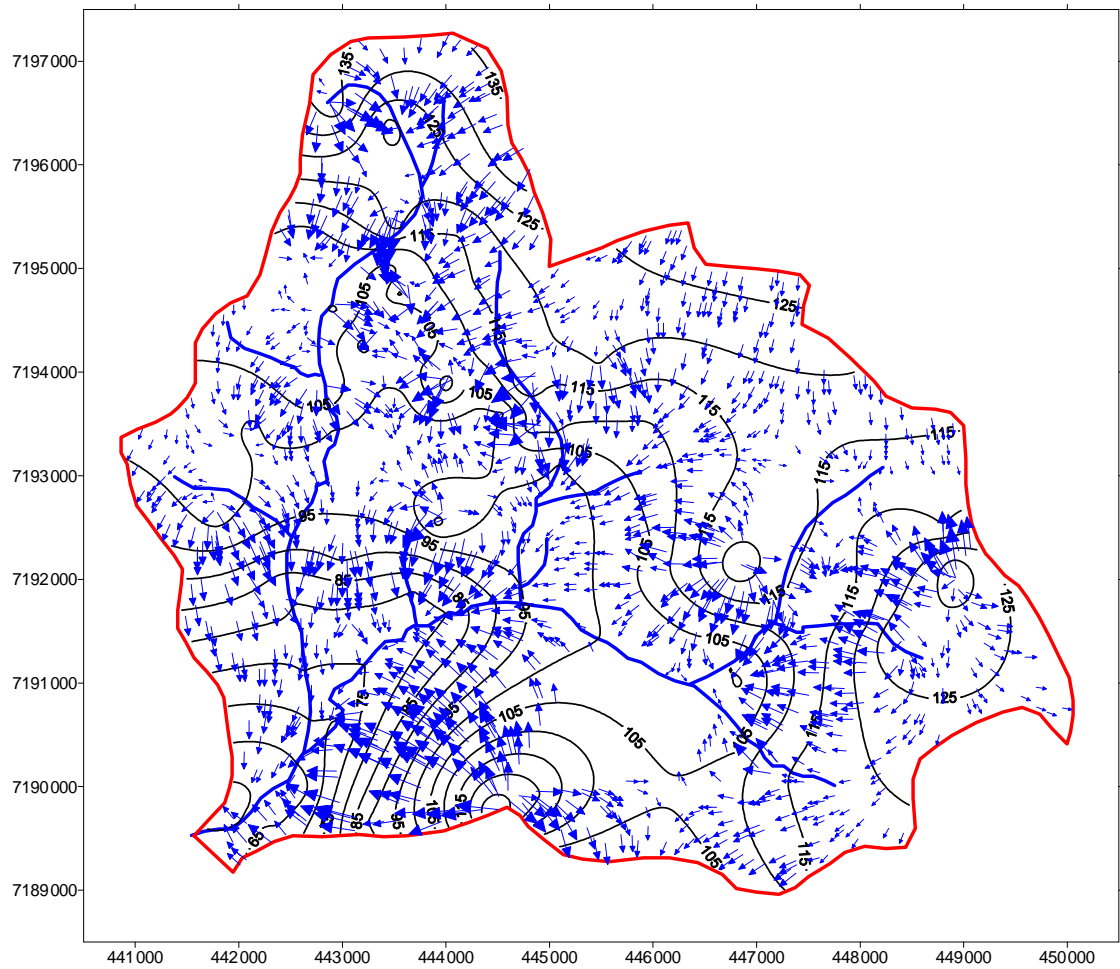


Figura 3-3: Velocidades de flujo generadas con la información piezométrica

También la información de la morfología del terreno y las profundidades a la tabla de agua fueron parámetros utilizados en el estudio de vulnerabilidad del acuífero (Molano 2001c)

4 Variación de niveles

Los piezómetros se construyeron al final del proyecto y no se tienen series largas para determinar la variación de niveles con el tiempo. Sin embargo se presentan los datos de 10 días para la totalidad de los piezómetros (véase figura 4-1), registrados durante un periodo sin lluvia. Por la escala no se notan variaciones, pero se registraron los niveles en forma detallada en el piezómetro No. 9 localizado en la plaza Miraflores en San Lorenzo (véase Figura 4-2). Estos últimos datos corresponden a las lecturas de un registrador automático, en donde se registró cada tres horas el nivel de agua subterránea. Estos niveles ya están corregidos por las variaciones de presión y temperatura en el sitio, las cuales se presentan en la figura 4-3.

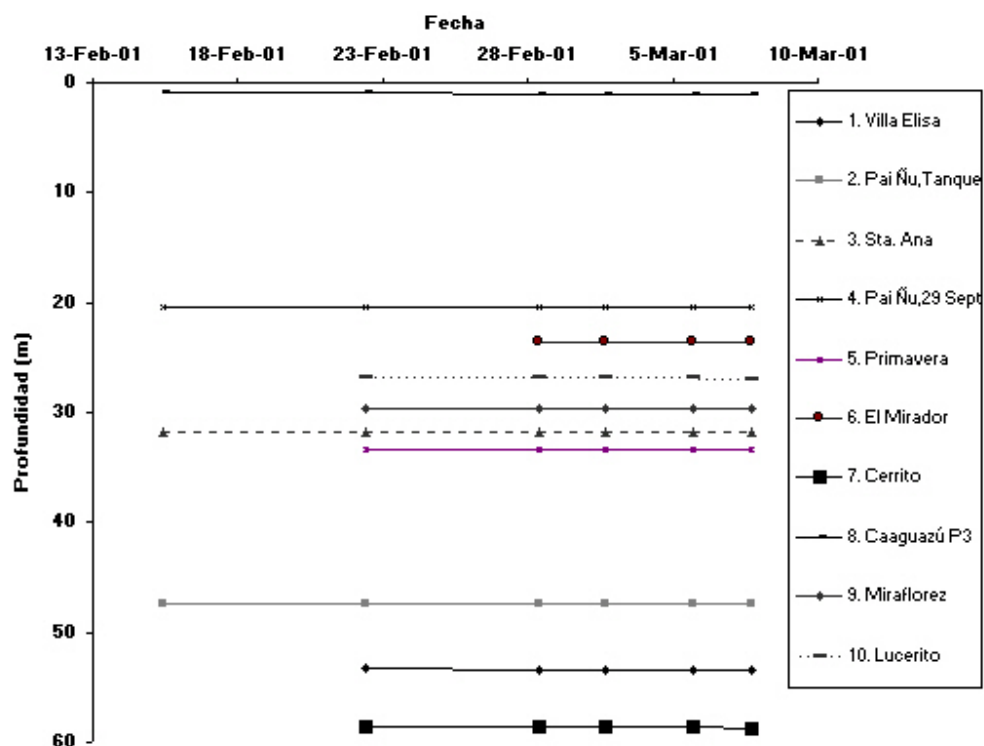


Figura 4-1: Variación de niveles en los piezómetros.

En la figura 4-2 se observan las variaciones de niveles por influencias de bombeos cercanos, pero hay un notorio descenso promedio de unos 5 cm, en ausencia de lluvias durante un periodo de 12 días sin recarga.

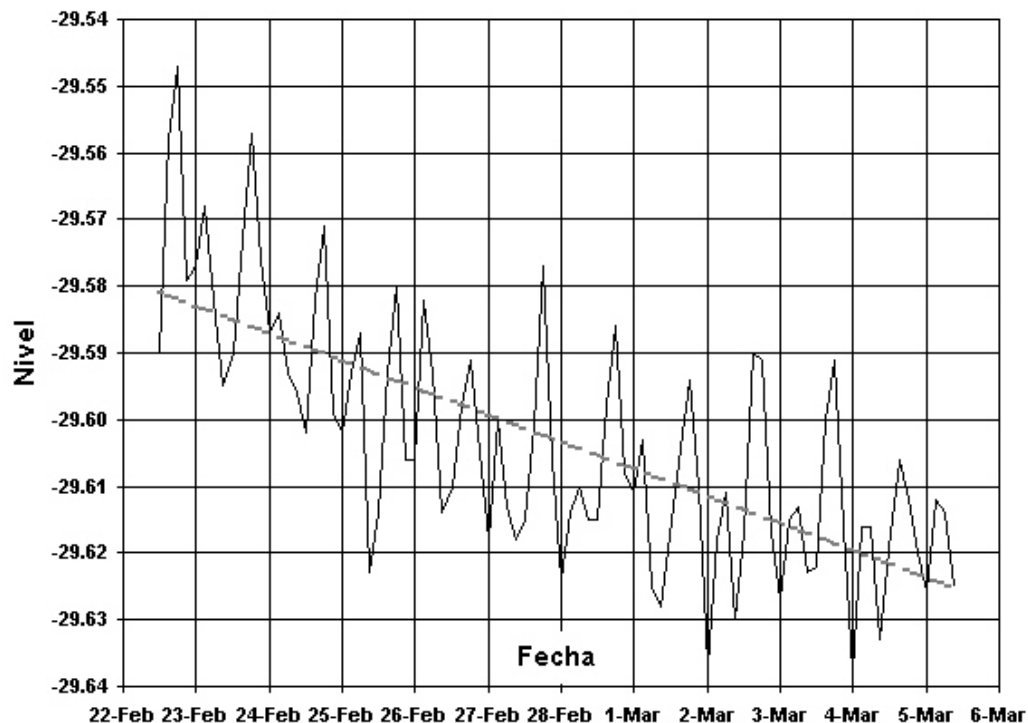


Figura 4-2: Variación de niveles en el piezómetro No.9 Miraflores (San Lorenzo).

Si se tiene esta información a través del tiempo en los 10 piezómetros y ojalá en algunos adicionales, se puede determinar con precisión en ausencia de lluvias el volumen y caudal que sale del acuífero; con la información de lluvias se tiene el volumen y tasa de la recarga; de esta forma se tiene con precisión el porcentaje de infiltración a partir de la lluvia.

Un cálculo muy aproximado de la variación de 5 cm (50 mm) observado en los piezómetros, nos permite estimar el volumen que salió del acuífero en ese periodo de 12 días sin recarga.

Con una porosidad del 20%, una recarga uniforme de 50 mm en los 12 días en el área de 45.37 km². Da un volumen total de 453700 m³ durante los 12 días, lo que corresponde a 13.8 millones de m³/año que trasladado a un caudal medio da 1575 m³/hora, valor muy similar a la extracción media anual obtenida con los inventarios. Sin embargo, es una estimación a nivel muy preliminar, ayque solo es un punto de observación, asumiendo que la misma variación ocurre en promedio en toda la zona.

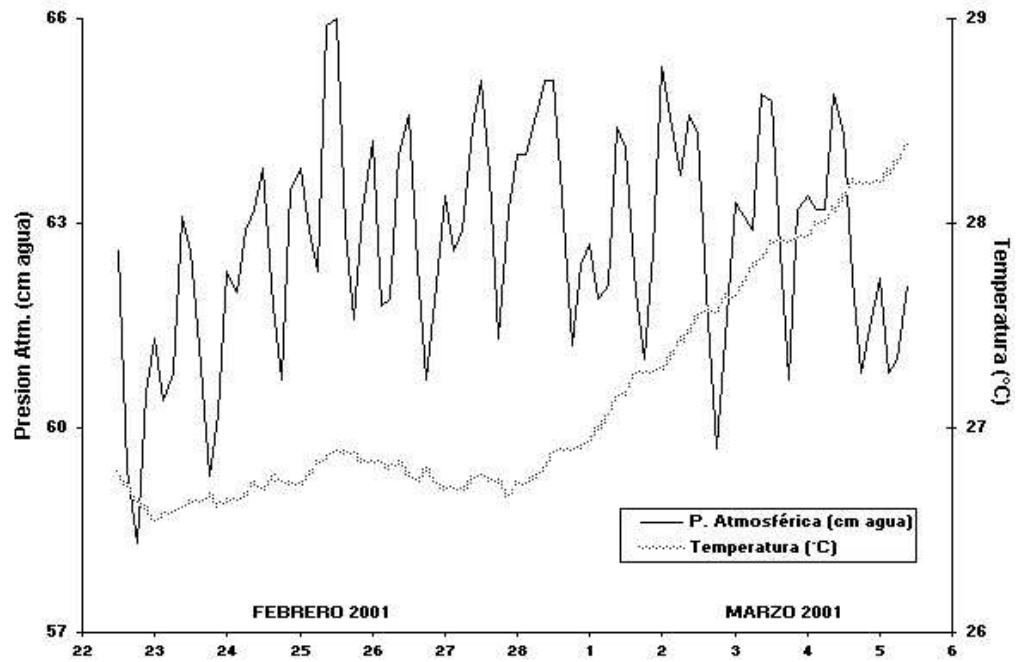


Figura 4-3: Variación de presión y temperatura en el piezómetro No. 9 Miraflores (San Lorenzo).

5 Conclusiones

- Se cuenta ya con una red inicial de 10 piezómetros para el monitoreo de agua subterráneas.
- Se tiene la información y los mapas respectivos de profundidad y superficie piezométrica en la Zona Piloto.
- Las profundidades máximas a la tabla de agua están entre 50 a 60 metros, localizadas en las zonas altas de El Cerrito, Pai Ñú y Villa Elisa. Las profundidades mínimas están en la superficie del terreno en forma de manantiales, localizados fundamentalmente cerca de los cauces superficiales a partir de la parte media de la cuenca. Existen también zonas de agua surgente por debajo de los 40 m de profundidad, localizados hacia las zonas de Caaguazú y Ñemby.
- La superficie piezométrica hacia las zonas de recarga tiene una alta incidencia con la hidrología superficial.
- La cota piezométrica esta entre 125 a 135 metros en las zonas altas, correspondientes a zonas de recarga, hasta cotas entre 65 y 85 metros en la parte mas baja de la cuenca en zonas de descarga.

6 Recomendaciones

6.1 Monitoreo manual de niveles en la red de piezómetros

Se recomienda continuar con la medición de niveles en la red de piezómetros con una frecuencia de dos veces por mes.

Se debe continuar con el monitoreo de niveles en la red de piezómetros. En forma manual con las sondas eléctricas se recomienda efectuar una medición mensual. El tiempo de registro requiere aproximadamente de dos horas, labor que la puede efectuar el supervisor de la zona.

6.2 Monitoreo automático continuo de niveles en la red de piezómetros

Se recomienda seguir con la medición automática continua de niveles en la red de piezómetros intercalándolos mensualmente.

Además del registro mensual de niveles, también se recomienda instalar el registrador automático de niveles (“Diver”) inicialmente en forma alterna entre los pozos para tener periodos cortos (de un mes) de registro continuo de niveles. Después analizar las series y donde se vea una mayor incidencia de la lluvia colocar en forma permanente el registrador. El registro de niveles es la forma directa de conocer el estado del agua subterránea, y sirven como medio de control del acuífero: si está siendo recargado, explotado ó sobre explotado.

6.3 Pruebas de conductividad hidráulica

Se recomienda efectuar pruebas de conductividad hidráulica en los piezómetros.

Se deben efectuar pruebas de conductividad hidráulica en los piezómetros construidos. Esta prueba llamada también de baldeo ó “slug”, toma unos cuantos minutos para zonas permeables y máximo unas dos horas en zonas de muy baja permeabilidad. De esta forma se tienen información sobre la permeabilidad de la zona saturada en el área de cada piezómetro.

6.4 Construcción de piezómetros adicionales

Se recomienda construir mas piezómetros en la Zona Piloto.

La red piezómetros construida durante el estudio es una red inicial de monitoreo, localizada fundamentalmente hacia las zonas de recarga, pero falta monitorear las

zonas intermedias, las zonas de descarga y las zonas de influencia de bombeo de los pozos.

Es difícil dar el número de piezómetros requeridos, pero se pueden ir construyendo a medida que se disponga de recursos; los proyectos de cooperación internacional en el futuro cercano, pueden proveer algunos recursos menores ya que el costo por piezómetro no es muy alto (entre \$3000 a \$6000 dólares americanos, dependiendo de la profundidad). Pero no necesariamente tienen que ser construidos y financiados a través de SENASA, las Juntas de Saneamiento podrían eventualmente construir piezómetros en las zonas de influencia de sus pozos. También con el proyecto, se ha difundido una mayor conciencia sobre la contaminación y sobreexplotación del agua subterránea, de manera que el medio directo de medir cambios en la calidad y en los niveles son los piezómetros; eventualmente los dueños privados de pozos podrían estar interesados en construcción de piezómetros para el control y protección de este recurso.

7 Referencias

Molano, C., 2001a. Estudio del Acuífero Patiño, Informe técnico 2.3: Inventario de pozos y manantiales en la Zona Piloto.

Molano, C., 2001b. Estudio del Acuífero Patiño, Informe técnico 2.6: Condiciones geohidráulicas en la Zona Piloto.

Molano, C., 2001c. Estudio del Acuífero Patiño, Informe técnico 2.5: Riesgos de polución en la Zona Piloto.

SENASA, 1999. Banco de datos de pozos perforados por SENASA, Publicación Técnica No. 2, Asunción, Paraguay.

Surfer, 1996. Surface Mapping System, ver 6.04. Golden.

Apéndice A

Apéndice A. Columnas litológicas y diseño de piezómetros

Apéndice B

Apéndice B. Niveles registrados en los piezómetros

Apéndice C

**Apéndice C. Niveles registrados en el piezómetro No. 9
Miraflores (San Lorenzo).**