

*Informe de TNO*

*“Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA”*

Estudio del Acuífero Patiño – Informe técnico 2.3:

## **Inventario de pozos y manantiales en la Zona Piloto**

Fecha

Enero 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” está contemplado el Estudio del Acuífero Patiño a través de una “Zona Piloto”. En esta zona piloto, una parte fundamental es el Inventario Hidrogeológico de Pozos y Manantiales.

Como resultado final, se tiene un archivo incluyendo la información básica, con su respectivo análisis.

Se presenta la cuenca delimitada con un área de 45 km<sup>2</sup>, en donde se localiza un total de 195 puntos inventariados, de los cuales 164 corresponden a pozos profundos, 23 a zonas de pozos excavados, y 8 a zonas de manantiales.

Se incluye la superficie piezométrica del nivel estático, obteniendo también los patrones generales de flujo, con las zonas de recarga y descarga.

Se presenta también la distribución de caudales efectivos de bombeo teniendo una extracción media total estimada en 1541 m<sup>3</sup>/hr (428 l/s), que equivale para el área de la Zona Piloto a 278 mm/año.

Se determinan además cinco (5) sitios aptos para la ejecución de pruebas de bombeo, cuatro (4) sitios en pozos existentes en donde se pueden medir niveles, y veintinueve (29) zonas en donde se pueden construir pozos de observación.

Esta información es aproximada, y con el tiempo se debe complementar con datos esenciales que por razones técnicas en varios casos (como por ejemplo la imposibilidad de medir niveles en la mayoría de los pozos), en otros por no tener información y en algunos casos por no tener acceso. Aún así se considera que se tiene aproximadamente el 90% de la información disponible.

## Contenido

Resumen i

Lista de figuras ..... iv

Lista de tablas ..... v

1 Introducción ..... 1

2 Agradecimientos ..... 2

3 Delimitación del área de estudio ..... 3

4 Formularios y ejecución del inventarios ..... 4

5 Resultados del inventarios ..... 5

5.1 Localización cartográfica ..... 5

5.2 Altura topográfica ..... 6

5.3 Localización municipal, tipo y propiedad ..... 6

5.4 Niveles estáticos ..... 7

5.5 Patrones generales de flujo ..... 9

5.6 Datos constructivos y sistemas de bombeo ..... 9

5.7 Caudal efectivo de extracción del acuífero ..... 10

5.8 Conductividad eléctrica, sólidos disueltos, pH y temperatura .. 12

5.9 Información complementaria ..... 15

5.10 Sitios aptos para ejecución de ensayos de acuífero. .... 15

5.11 Sitios para construcción de pozos de observación ..... 16

6 Conclusiones ..... 17

7 Recomendaciones ..... 18

7.1 Deficiencia de la información ..... 18

7.2 Actualización del inventario ..... 18

7.3 Pruebas de bombeo ..... 18

7.4 Red de pozos de observación ..... 18

7.5 Manejo del acuífero y modelos de flujo ..... 19

8 Referencias ..... 20

## APÉNDICES

Apéndice A.	Formulario de inventarios
Apéndice B.	Tabla resumen de inventarios

## Lista de figuras

Figura 3-1:	Delimitación de la cuenca hidrográfica de la Zona Piloto.....	3
Figura 5-1:	Localización de pozos y manantiales.....	5
Figura 5-2:	Profundidad al nivel estático con base en todos los inventarios.....	7
Figura 5-3:	Nivel estático observado, estimado con base en todos los inventarios. ....	8
Figura 5-4:	Patrones generales de flujo .....	10
Figura 5-5:	Distribución de caudal medio de extracción del acuífero.....	12
Figura 5-6:	Isolíneas de conductividad específica en $\mu\text{mho/cm}$ en pozos profundos .....	13
Figura 5-7:	Distribución de conductividad eléctrica en $\mu\text{mho/cm}$ en todos los pozos .....	14
Figura 5-8:	Localización de sitios para pruebas de bombeo y construcción de pozos de observación .....	16

## Lista de tablas

Tabla 5-1: Pozos profundos por municipalidad.....	6
Tabla 5-2: Distribución de extracción media en la zona piloto .....	11
Tabla 5-3: Distribución de conductividad eléctrica en la Zona Piloto.....	15
Tabla 5-4: Sitios aptos para ensayos de acuífero .....	15

## 1 Introducción

Este informe hace parte del Volumen 2 “Estudio del Acuífero Patiño”, 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.

Base fundamental dentro del Estudio del Acuífero Patiño en la Zona Piloto, es el inventario de pozos y manantiales.

La importancia de los inventarios radica en los siguientes aspectos principales:

- Es la forma de tener un conocimiento primario directo del “estado” del sistema de aguas subterráneas. Desafortunadamente el agua subterránea es un sistema oculto y solamente se logra tener un conocimiento parcial de su estado mediante unos cuantos puntos discretos (pozos y manantiales).
- Se logra tener una visión (cuantitativa y cualitativa) del tipo de información existente y las deficiencias en la información.
- Se tiene la forma de uso y aprovechamiento del agua subterránea
- Se tiene la distribución de calidad del agua
- Constituye una herramienta básica para el control, manejo y operación de los acuíferos.

La metodología del inventario fue la consecución directa de información mediante entrevistas personales y telefónicas a los dueños, encargados ó administradores del uso de pozos en la zona de estudio. También, mediante mediciones en el campo, y el análisis de información existente, fundamentalmente en los archivos de pozos de SENASA.

## **2 Agradecimientos**

Se agradece al grupo del Departamento de Recursos Hidráulicos del SENASA, especialmente a Felix Carvallo y Francisco Bernal, quienes colaboraron en forma continua con los Inventarios; también al supervisor del área Armindo Brites, por su gran apoyo en campo. Finalmente el apoyo y colaboración de Jac van der Gun, Ronnie van Overmeeren, y Wim van der Linden de TNO.



### 3 Delimitación del área de estudio

El área de estudio corresponde a las cuencas hidrográficas de los Arroyos Ñemby, Mbocayaty y Pai Ñú; los dos primeros conforman el arroyo Guazú a la salida de la cuenca. Se incluye naturalmente los afluentes a estos cauces como son los arroyos Rincón y Kai.

Con la cartografía existente a escala 1:50.000, y mediante la digitalización de las curvas de nivel se logró delimitar la cuenca, correspondiente a la divisoria de aguas superficiales. La Figura 3-1 muestra la cuenca hidrográfica con la morfología topográfica en colores grises y algunas curvas de nivel. El área de la cuenca resultó ser de 45 km<sup>2</sup>.

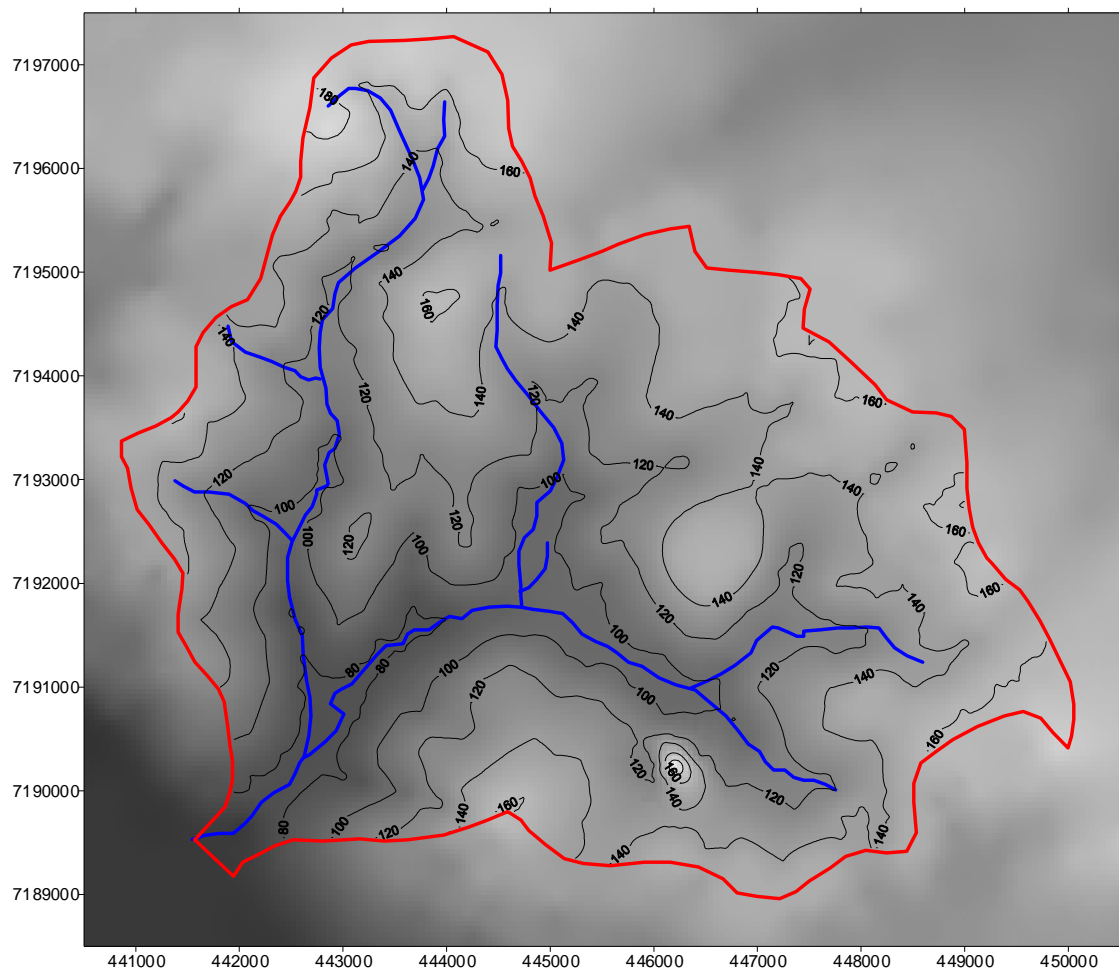


Figura 3-1: Delimitación de la cuenca hidrográfica de la Zona Piloto.

## 4 Formularios y ejecución del inventarios

Los inventarios de campo se realizaron siguiendo el formato del formulario que se incluye en el Apéndice A. Este formato fue el resultado de varios formularios utilizados con anterioridad en Bolivia, Colombia y Yemen; estos a su vez se basaron en formatos utilizados en Holanda y Estados Unidos.

La búsqueda y localización de pozos en el campo, se llevó a cabo con el apoyo de personal de SENASA, fundamentalmente con el supervisor del área de Ñemby.

En la zona, la mayoría de los pozos están conectados directamente a tuberías que van a los sistemas de distribución (tanques y usuarios), sin ningún tipo de medidor de caudal; por lo tanto es difícil medirlo. Generalmente tampoco se pueden registrar los niveles de agua por la imposibilidad de introducir una sonda. La mayoría de los pozos (a excepción de los construidos por SENASA, y algunos particulares) carecen de información sobre columna litológica, diseños de los mismos y pruebas de bombeo.

En algunos casos hubo carencia total de información por no lograr obtener el permiso para el suministro de la misma, ó por encontrarse siempre sin persona alguna que dé la información; sin embargo, algunas personas se lograron localizar telefónicamente. También dificultó el hecho que durante la ejecución de los inventarios, se aprobó una nueva ley (Erssan) sobre el Manejo y Regulación de Servicios, y en varios casos los usuarios mostraron su inquietud sobre la forma de aplicación de dicha ley a sus sistemas particulares de uso y administración de agua subterránea; algunos fueron renuentes a dar la información por considerar que los inventarios tenían algo de relación con esta ley.

A pesar de la poca información disponible, se logró tener un inventario inicial aceptable, el cual obviamente se puede y se debe mejorar con el transcurso del tiempo. En términos generales se considera que se cuenta aproximadamente con una información del 90% de los puntos de agua existentes.

## 5 Resultados del inventarios

### 5.1 Localización cartográfica

Los resultados obtenidos con los inventarios se incluyen en el cuadro del Apéndice B. En la Figura 5-1 está la localización de los pozos profundos, pozos excavados y manantiales inventariados; los números corresponden a la secuencia seguida durante el inventario.

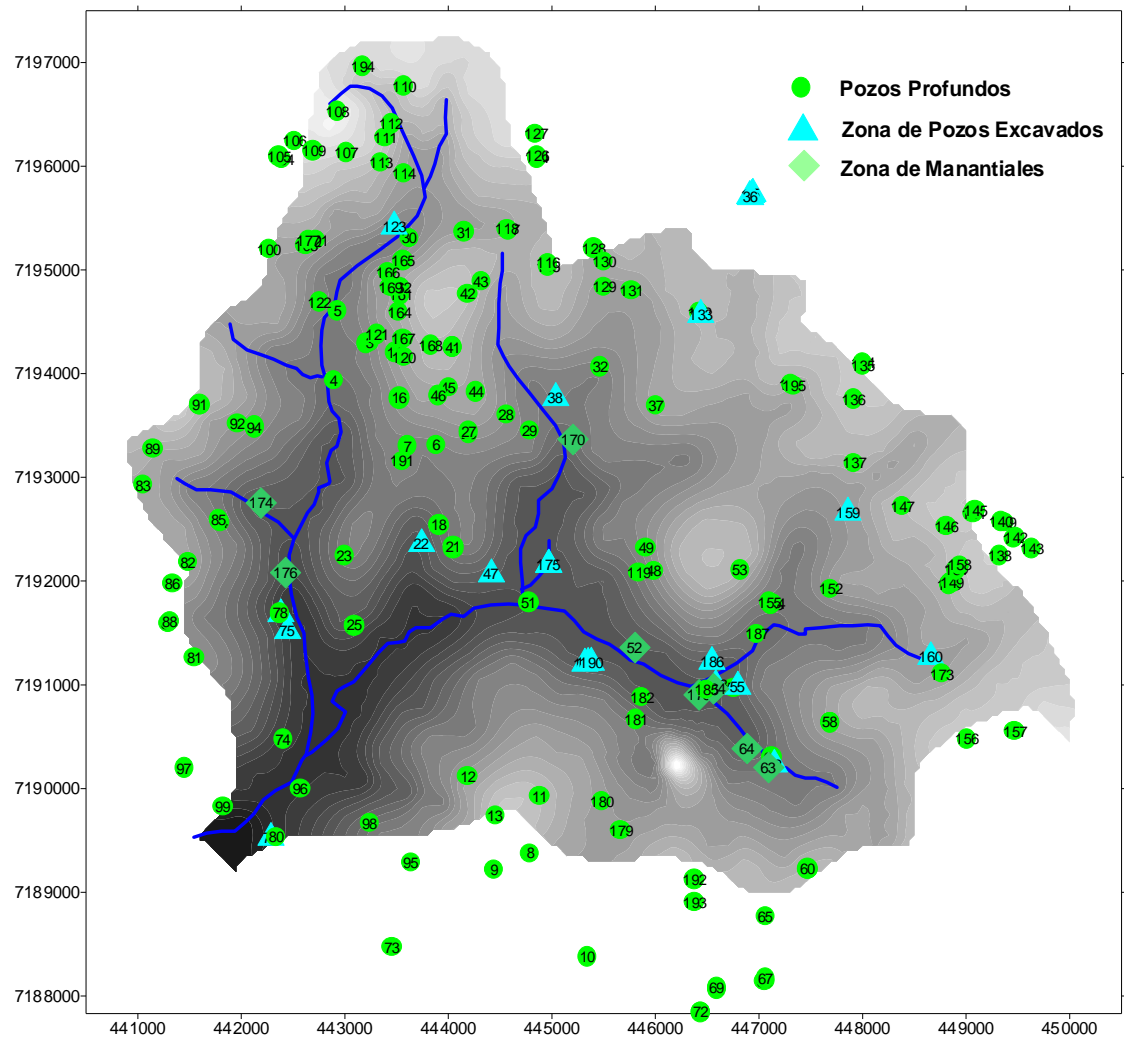


Figura 5-1: Localización de pozos y manantiales

La primera columna del cuadro de inventarios corresponde al código asignado al pozo, de acuerdo al Banco de Datos Hidrogeológicos de SENASA; la segunda columna corresponde a la secuencia del inventario realizado.

La tercera y cuarta columnas del inventario se refieren a las coordenadas globales de acuerdo al sistema UTM, en X, Y ó Este y Norte respectivamente. Estas coordenadas se tomaron directamente con un posicionador GPS, el cual tiene una aproximación entre 5 a 12 metros. Sin embargo cabe anotar que en algunos casos en donde no se tuvo acceso a los pozos, se estimó su ubicación a partir del punto más cercano, generalmente la puerta de acceso a las instalaciones del pozo.

## 5.2 Altura topográfica

La siguiente columna corresponde a la cota del terreno en metros sobre el nivel del mar (msnm) en donde se localiza el pozo, ubicada por medio de la interpolación de curvas de nivel a partir de los mapas cartográficos a escala 1:50000; de manera que es posible que se tengan errores máximos del orden de los 10 metros, pero en general, partiendo de la interpolación de la digitalización se considera que los errores están son menores a 5 metros. Normalmente esta cota no es la altura de la boca del pozo, la cual esta entre 0 a 1 metro por encima de la superficie, y está en la siguiente columna de la tabla resumen.

## 5.3 Localización municipal, tipo y propiedad

Las siguientes cinco columnas se refieren a datos sobre la municipalidad y barrio en donde se localiza el pozo; el tipo de punto de agua, si es pozo profundo, pozo excavado ó manantial, el nombre local como se conoce el pozo y el nombre del propietario, encargado ó administrador.

La distribución de pozos profundos de acuerdo a la municipalidad en donde se localizan dentro de la zona piloto, se presenta en la Tabla 5-1.

*Tabla 5-1: Pozos profundos por municipalidad*

MUNICIPALIDAD	POZOS PROFUNDOS
Ñemby	58
San Lorenzo	46
San Antonio	20
Villa Elisa	17
Fernando de la Mora	11

## 5.4 Niveles estáticos

Las siguientes tres columnas del cuadro resumen corresponden a los niveles estáticos; la primera al nivel estático medido ó reportado a partir de la boca del pozo, la segunda al nivel estático adoptado, y la siguiente su respectiva cota piezométrica.

Como se mencionó anteriormente, solamente en contados casos se logró medir el nivel en pozos profundos; naturalmente que en los pozos excavados si se midieron los niveles; también se obtuvieron los niveles estáticos de los pozos construidos por SENASA. Finalmente, el nivel estático adoptado resultó de la interpolación de la superficie piezométrica de niveles estáticos generada en la zona piloto.

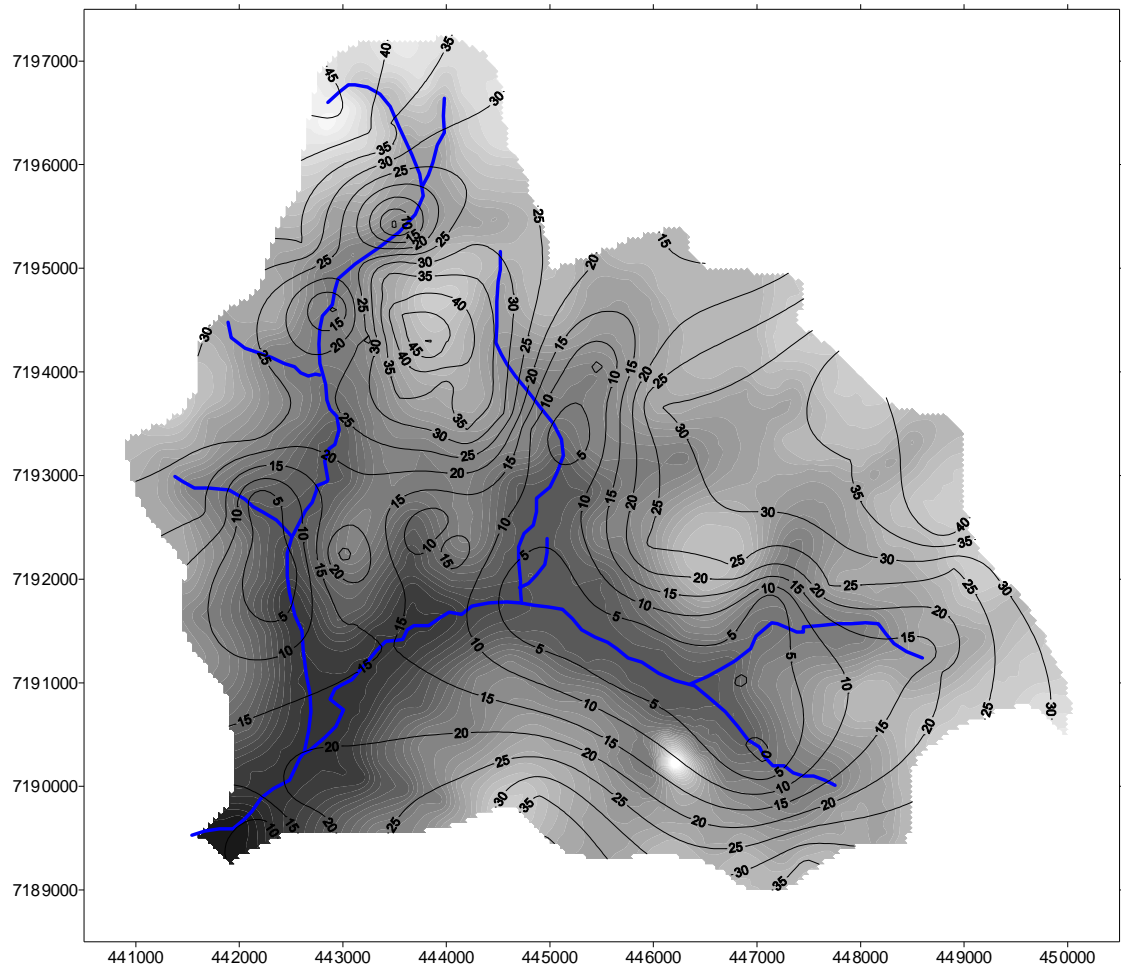


Figura 5-2: Profundidad al nivel estático con base en todos los inventarios

Las curvas de profundidad al nivel estático se presenta en la Figura 5–2. Esta gráfica resultó de la interpolación por krigging de los niveles adoptados en la tabla resumen.

Para la obtención de la superficie piezométrica existen varios procedimientos, dependiendo de la cantidad y calidad de información. En el presente estudio se utilizaron dos de ellos. El primero restando de la superficie topográfica (Figura 3–1), la superficie de profundidad al nivel de agua (Figura 5–2); sin embargo, este procedimiento tiende a reflejar más los accidentes topográficos en los niveles de agua (como por ejemplo el cerro Ñemby). El segundo procedimiento utilizado, fué generando la superficie piezométrica a partir de las cotas de niveles de agua en los inventarios, obteniendo la superficie piezométrica graficada en la Figura 5–3, siendo finalmente la superficie adoptada.

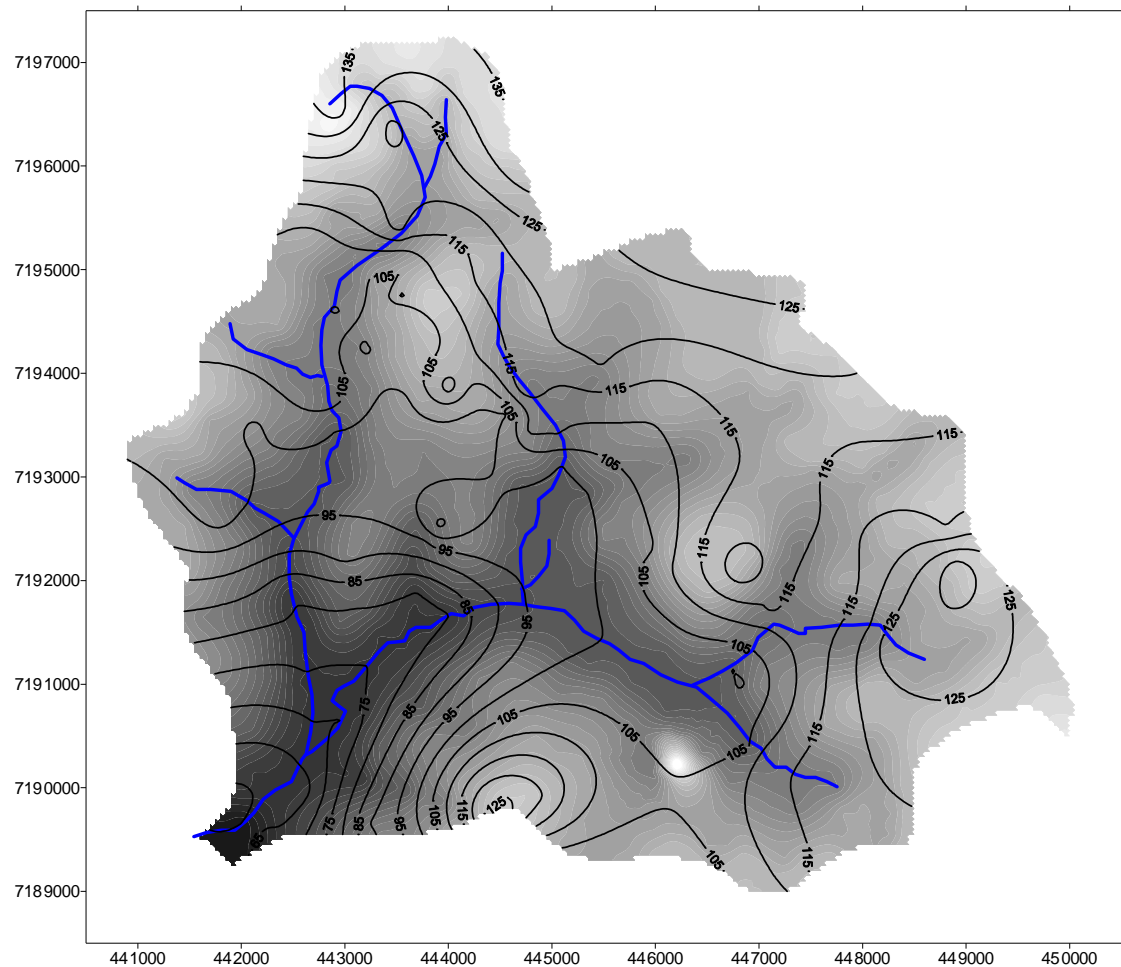


Figura 5–3: Nivel estático observado, estimado con base en todos los inventarios.

Inicialmente se consideraron únicamente los pozos profundos, sin embargo se notó que la superficie generada utilizando la totalidad de los inventarios (con pozos profundos, excavados y manantiales) era muy similar. Sin embargo, cabe anotar que en algunas zonas hay tablas de agua colgadas en la zona acuífera superficial.

Se puede observar en la Figura 5-3 que los niveles corresponden en forma general con los patrones de flujo esperados, desde las zonas morfológicas altas hacia los sistemas de drenaje de la cuenca a través de los cauces superficiales; este aspecto se puede observar con mayor detalle en el siguiente numeral.

### **5.5 Patrones generales de flujo**

A partir de la superficie piezométrica del nivel estático, se puede tener el patrón de flujo en forma generalizada, el cual consiste en la magnitud y dirección de los vectores de velocidad.

Haciendo uso del programa Surfer (1996), se puede calcular mediante la red de altura piezométrica (Figura 5-4), las zonas de mayor pendiente (ó mayor gradiente) con su magnitud, que corresponde a las direcciones perpendiculares a las curvas de igual nivel piezométrico; también se calcula el ángulo con el eje Norte-Sur en donde tiene lugar esta mayor pendiente. Con esta información, finalmente se obtiene el patrón de flujo de la Figura 5-4, el cual junto con la conductividad hidráulica del medio poroso va a servir para cuantificar flujos, y/ó comparar modelos de flujo.

Se puede observar una vez mas la concordancia del flujo desde zonas altas, que corresponden a zonas de recarga, hacia los cauces y zonas bajas, que constituyen las zonas de descarga.

### **5.6 Datos constructivos y sistemas de bombeo**

Los siguientes datos del cuadro resumen (Apéndice B) corresponden a los datos sobre año de construcción del pozo, la profundidad del mismo, el diámetro, profundidad de la bomba, potencia, año de instalación de la misma, el nivel dinámico y el uso diario.

Generalmente se tiene un dato aproximado de la profundidad de la bomba, pero no así el nivel dinámico. En cuanto al año de instalación de la bomba se tienen en algunos casos con la fecha de la última bomba instalada.

Con referencia al uso diario del pozo, varios de los sistemas de pozos operan en forma automática bombeando a medida que las necesidades lo requieren, ó cuando se llena el tanque de distribución, de manera que es difícil estimar el tiempo real de bombeo de los pozos.

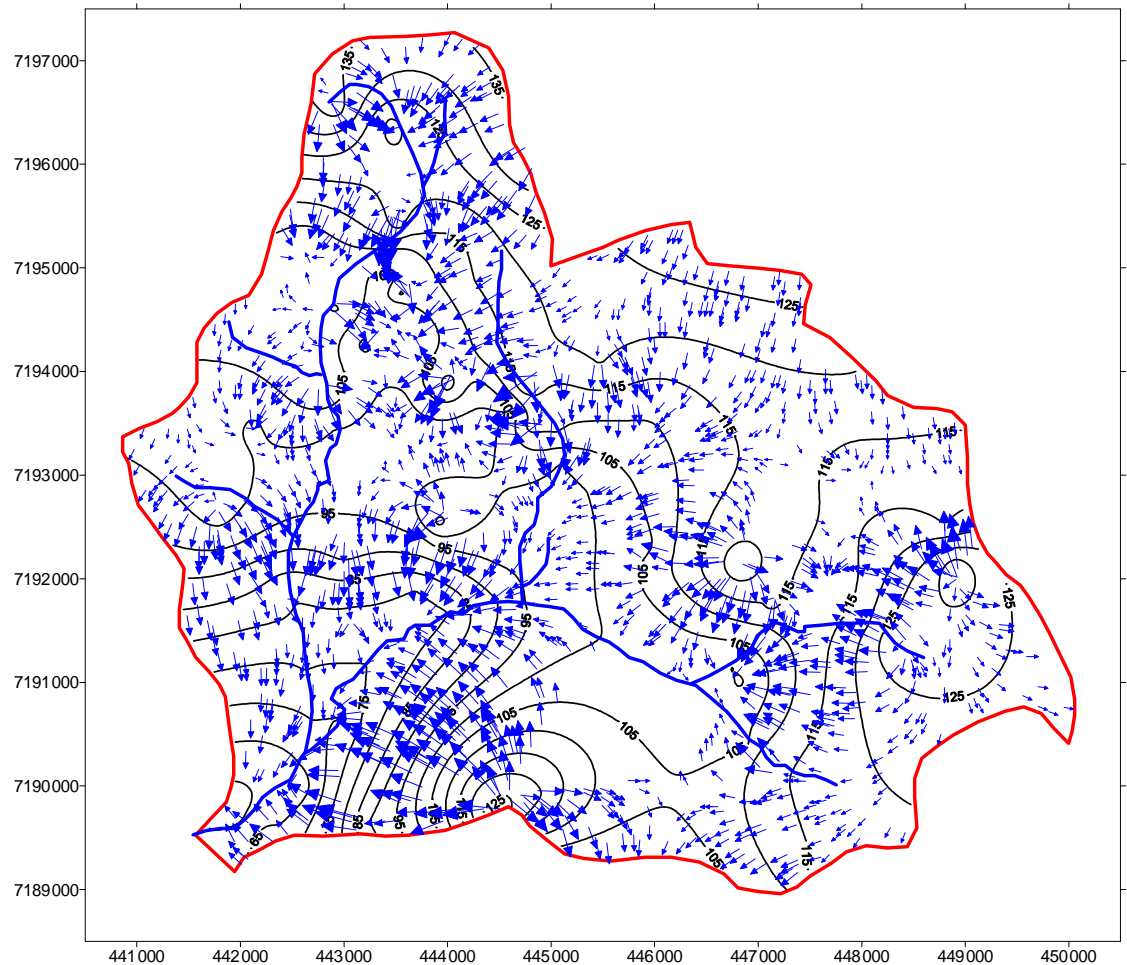


Figura 5-4: Patrones generales de flujo

### 5.7 Caudal efectivo de extracción del acuífero

La siguiente información del cuadro resumen de inventarios, hace referencia al caudal efectivo medio de extracción del pozo, o sea, la descarga efectiva media que se le extrae al acuífero. Como se mencionó anteriormente la mayoría de los pozos no disponen de sistemas de medición directa del caudal, y por lo tanto hay que estimarlo en forma indirecta.

Se utilizaron varias formas de estimar el caudal de extracción efectiva (del acuífero) en forma indirecta. En primer lugar por medio de la potencia de la bomba; sin embargo este dato da un caudal con referencia a la capacidad del equipo de bombeo, pero no así



de la extracción efectiva del acuífero por desconocer el tiempo diario de operación de los pozos.

Otra forma de estimar el caudal es mediante el tiempo de llenado de los tanques de distribución, caudal similar al reportado por los dueños, pero una vez más no refleja el caudal efectivo de extracción del acuífero por desconocer el régimen de bombeo diario.

Para estimar el caudal medio diario de extracción, se recurrió también al consumo de energía mensual y/o su costo. En algunos casos se obtuvo esta información, pero en otros los dueños se muestran renuentes a suministrar este tipo de información.

También se estimó mediante el número de conexiones a los sistemas de distribución, considerando un promedio de 5 habitantes por conexión y un uso diario de 250 lts/habitante/día. En general este cálculo resultó ser menor que el consumo real debido a varias razones: en muchos casos se cobra una tarifa única a los usuarios, de manera que no hay conciencia ni estímulo para ahorro de agua, por lo tanto el caudal tiende a ser mas alto que el estimado. Por otra parte también se presentan pérdidas en los sistemas de distribución, existen conexiones clandestinas, y por lo tanto el caudal real de distribución tiende a ser más alto que el estimado. Teniendo en cuenta estos factores, finalmente se adoptó un caudal efectivo medio de extracción por pozo, el cual se incluye en la tabla resumen.

El caudal medio de extracción total del acuífero para la zona piloto resultó ser de 13.5 millones de m<sup>3</sup>/año:

13'500.000 m<sup>3</sup>/año  
428 l/s  
1541 m<sup>3</sup>/hr  
278 mm/año

La distribución de la extracción media en los pozos se presenta gráficamente en la Figura 5-5, y un resumen en la Tabla 5-2.

*Tabla 5-2: Distribución de extracción media en la zona piloto*

<b>Q (m3/hr)</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>No. de Pozos</b>	<b>%</b>
0 - 5	0 - 1.4	69	40.8
5 - 10	1.4 - 2.8	28	16.6
10 - 20	2.8 - 5.6	50	29.6
20 - 40	5.6 - 11.1	17	10.1
40 - 75	11.1 - 20.8	5	3.0

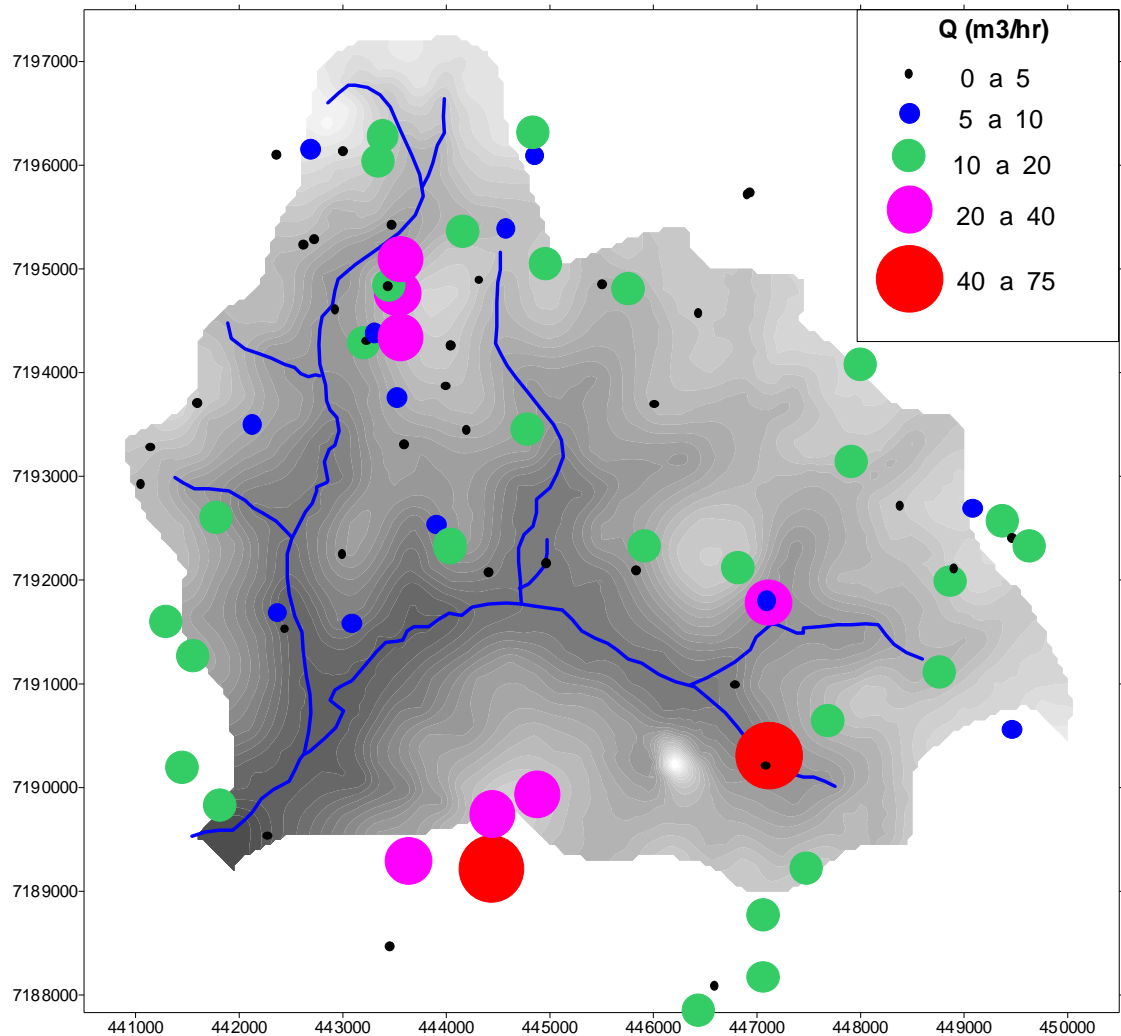


Figura 5-5: Distribución de caudal medio de extracción del acuífero

### 5.8 Conductividad eléctrica, sólidos disueltos, pH y temperatura

La siguiente información del cuadro resumen de inventarios, se refiere a la conductividad eléctrica, los sólidos totales disueltos, el pH y la temperatura. Los sólidos disueltos se calcularon a partir de la conductividad eléctrica.

Los resultados de conductividad eléctrica para pozos profundos, se presentan en forma de isolíneas en la Figura 5-6. Se excluyeron los pozos excavados, dado que algunos de

ellos están abandonados sin ningún tipo de protección, expuestos a la contaminación superficial.

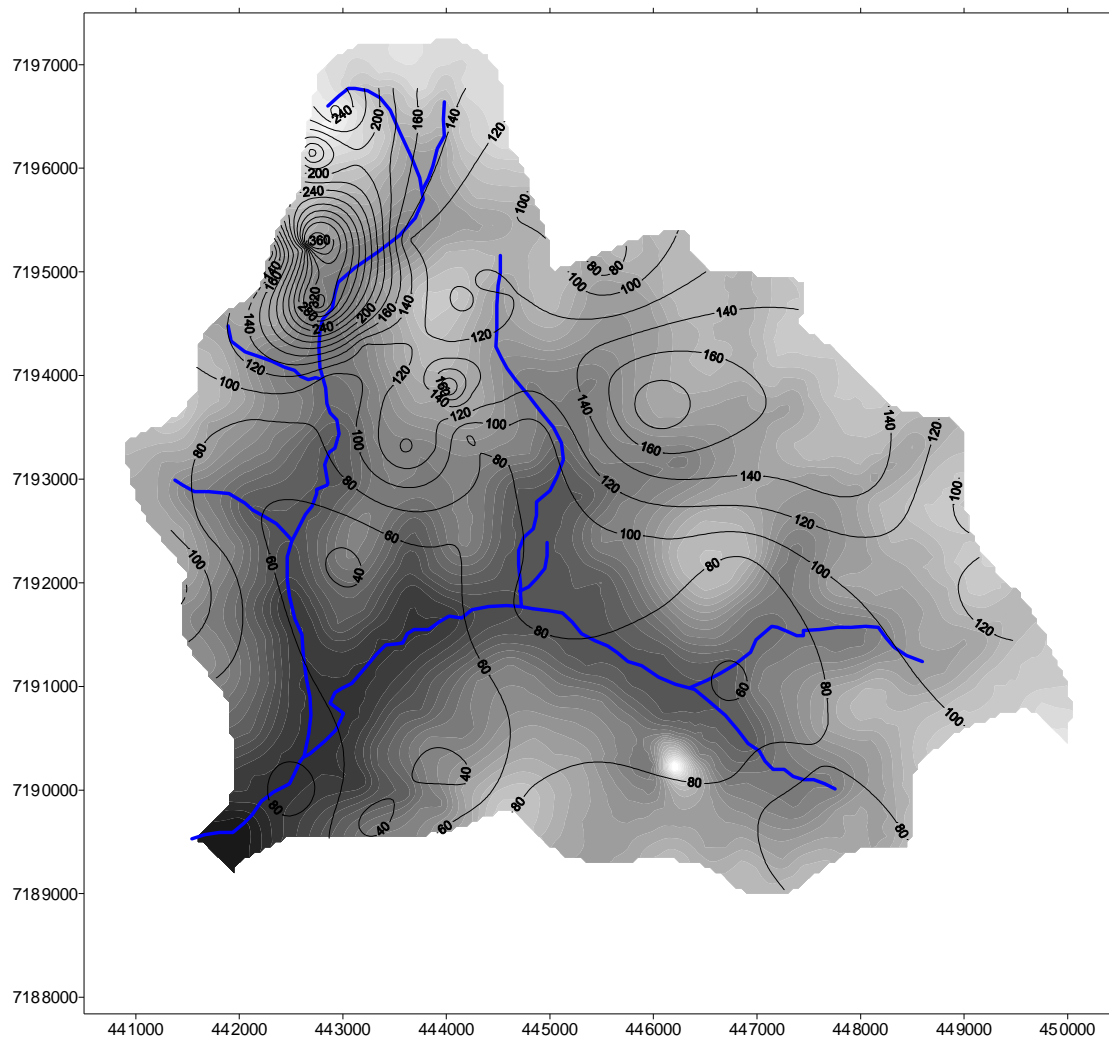


Figura 5-6: Isolíneas de conductividad específica en  $\mu\text{mho/cm}$  en pozos profundos

Como se puede apreciar la conductividad específica es en general menor a 200  $\mu\text{mho/cm}$ , a excepción de una zona nor oeste del proyecto, cerca al Arroyo Mbocayaty, en donde se presentan valores cercanos a los 400 . Seguramente el origen de esta conductividad alta sea contaminación a partir de la superficie del terreno.

También se graficó en la Figura 5-7 la distribución puntual de conductividad eléctrica, incluyendo la totalidad de los inventarios. Puede observarse que hay dos zonas

adicionales a la contemplada en la figura anterior, originada en pozos excavados someros, seguramente por contaminación superficial.

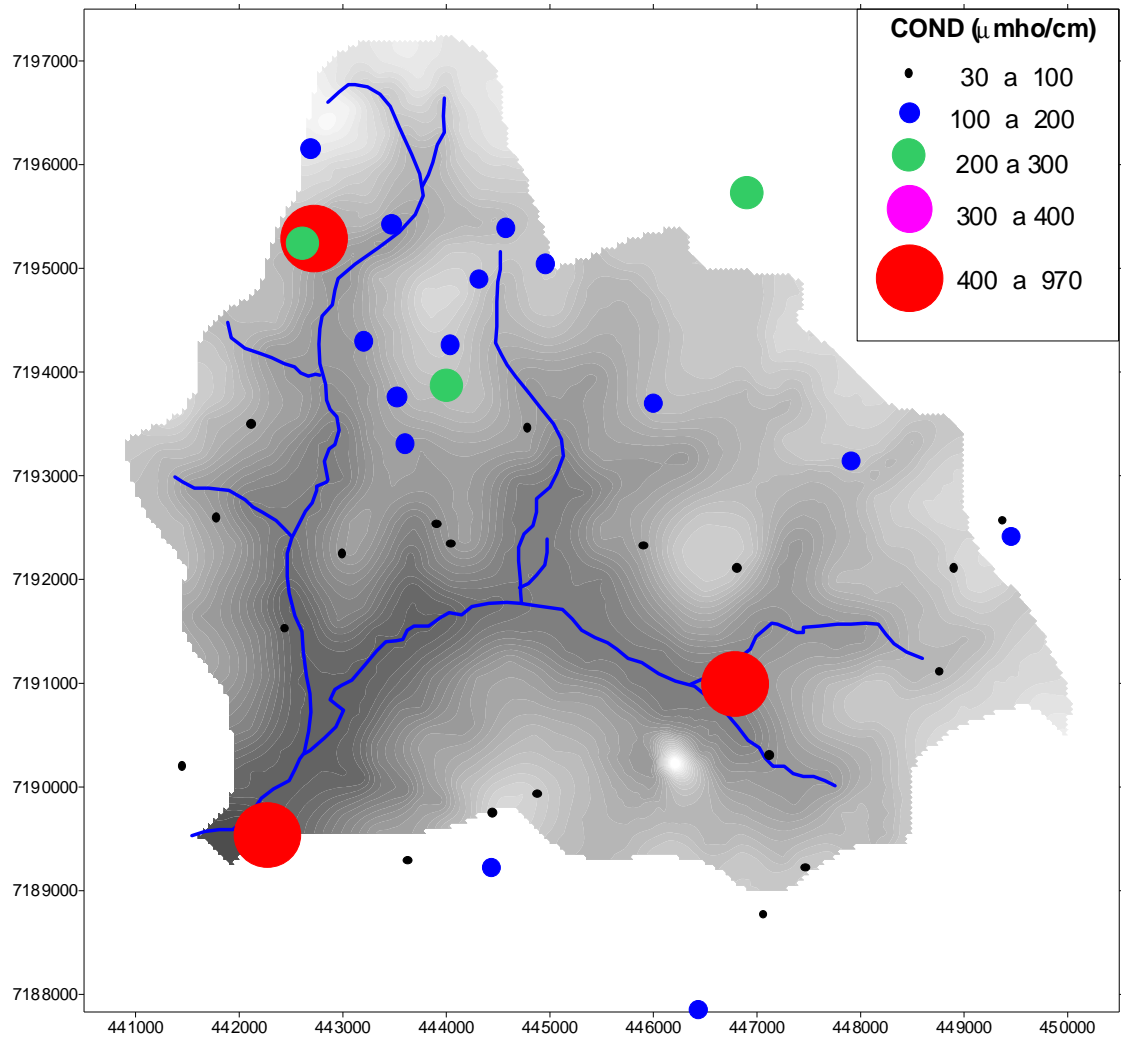


Figura 5-7: Distribución de conductividad eléctrica en  $\mu\text{mho/cm}$  en todos los pozos

También en la Tabla 5-3 se presenta un resumen de la distribución de conductividad eléctrica de la totalidad de los pozos (con información) en la zona piloto.

Tabla 5-3: Distribución de conductividad eléctrica en la Zona Piloto

Conductividad ( $\mu\text{mho-cm}$ )	No. de pozos	%
30 - 100	38	49.4
100 - 200	28	36.4
200 - 300	6	7.8
300 - 400	2	2.6
400 - 970	3	3.9

### 5.9 Información complementaria

Las últimas cuatro columnas de la tabla resumen (Apéndice B) dan información complementaria sobre la dirección y teléfono del dueño ó administrador, la cual fue muy útil para complementar los inventarios, otra información complementaria de importancia, otras fuentes de información, y finalmente si el sitio es apto para utilizarlo como pozo de observación y/ó para ensayos de acuífero.

### 5.10 Sitios aptos para ejecución de ensayos de acuífero.

Mediante el inventario se logró determinar que zonas son factibles para la ejecución de ensayos de acuífero ó pruebas de bombeo. Básicamente estos sitios se escogieron por las condiciones en donde se localizara por lo menos un pozo cercano al de bombeo que esté fuera de uso ó abandonado, de tal forma que se pueda utilizar como pozo de observación. También en puntos de bombeo en donde se pueda construir cerca un pozo de observación de poca profundidad.

La localización de los sitios aptos para pruebas de bombeo se presentan en la Figura 5-8, y en la Tabla 5-4 .

Tabla 5-4: Sitios aptos para ensayos de acuífero

Código SENASA	No. Inven	X (E)	Y(N)	Municipio	Barrio	Nombre	Propietario Encargado/Administ.
CL-P0148	1	443211	7194287	Nemby	Solares de Nemby	Comisión de Fomento	Dominga Araujo
CL-P0170	39	444044	7194253	Ñemby	Pai Ñu		Arq. Roberto Ozuna
CL-P0078	50	444781	7191779	Ñemby		Junta Saneamiento Nemby	Junta Saneamiento Nemby
CL-P0109	61	447125	7190298	Ñemby	Caaguazú	Pozo 3	Junta Saneamiento Caaguazu
CL-P0189	71	446443	7187840	Ñemby	Cañadita	Asoc. Vec. Manos Unidas	Milciades Vargas

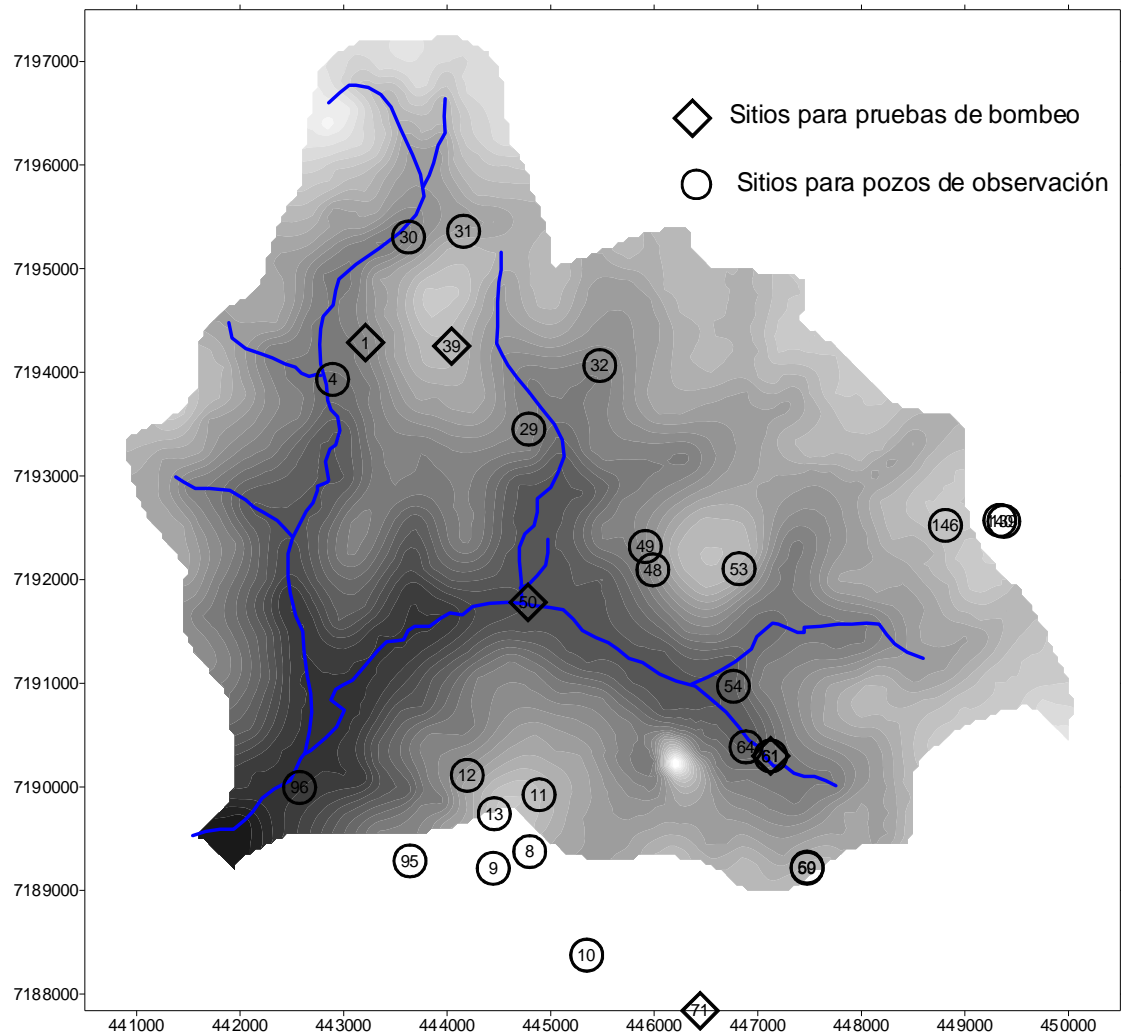


Figura 5–8: Localización de sitios para pruebas de bombeo y construcción de pozos de observación

### 5.11 Sitios para construcción de pozos de observación.

Mediante el inventario también se logró determinar qué sitios son factibles para la construcción de pozos de observación, los cuales se incluyen también en la Figura 5–8. Su ubicación básicamente se tuvo en cuenta en los sitios en donde en principio darían permiso para la construcción de los pozos, siendo por lo general los predios en donde se localizan los pozos de las Juntas de Saneamiento.

## 6 Conclusiones

- A pesar de la poca información disponible, se tiene ya un inventario bastante completo y consistente.
- Con el inventario y los demás estudios que se están llevando a cabo se tiene un mejor conocimiento del sistema hidrogeológico del Acuífero Patiño en la Zona Piloto.
- Se tiene una apreciación más aproximada de la ocurrencia y distribución del agua subterránea, con sus condiciones de recarga y descarga.
- Dentro de este estudio cabe mencionar que se inventariaron un total de 195 puntos, correspondiente a 164 pozos profundos, 23 zonas de pozos excavados y 8 zonas de manantiales.
- Un punto que tiene importancia destacar es la extracción total del acuífero en la Zona Piloto, el cual se ha estimado 13.5 millones de m<sup>3</sup>/año, lo que da un caudal de extracción efectiva media de 1541 m<sup>3</sup>/hr (428 l/s). Este caudal de extracción corresponde para el área de la Zona Piloto a 278 mm/año.
- Teniendo en cuenta el caudal de extracción (278 mm/año), y dado que en general la disminución de niveles de agua subterránea no es muy pronunciada (solo en sitios locales), y además por cálculos preliminares de modelos numéricos, se estima que la recarga hacia el acuífero en la Zona Piloto debe estar entre 200 a 300 mm/año.
- Se tiene deficiencias en la información con referencia principalmente a los parámetros geohidráulicos, a la poca cobertura de mediciones de niveles estáticos y dinámicos, y a la medición directa del caudal de bombeo
- Se determinaron cuatro (4) sitios aptos para la ejecución de pruebas de bombeo.
- Se determinaron cuatro (4) sitios en pozos existentes en donde se pueden medir niveles.
- Se determinaron veintinueve (29) sitios en donde se pueden construir pozos de observación.

## **7 Recomendaciones**

### **7.1 Deficiencia de la información**

La deficiencia de la información en cuanto a los datos básicos de los pozos referente a niveles estáticos, caudales de bombeo, son aspectos que se deben mejorar y exigir en todos los pozos.

Con la divulgación directa a través del mismo personal de SENASA (por ejemplo, los supervisores), y la participación de las municipalidades y de las juntas de saneamiento, se pueden hacer campañas de divulgación a los usuarios y fundamentalmente a los dueños y administradores de los pozos sobre la importancia de obtener esta información. Las campañas de divulgación se pueden efectuar en forma directa, por panfletos, pancartas, mensajes radiales, etc.

### **7.2 Actualización del inventario**

Se debe mantener y actualizar el Inventario; esta labor se puede efectuar con el apoyo del personal de SENASA y de las juntas de saneamiento. Los supervisores del área pueden efectuar esta labor. Hay varias formas de actualizarlo, una de ellas simplemente a medida que se tenga conocimiento de la construcción de un nuevo pozo, ó la suspensión de otro, o su reemplazo, llenar el formato de inventario, y actualizar el Inventario en los archivos y banco de datos. Otra forma es efectuar un inventario cada año, haciendo la labor descrita anteriormente.

### **7.3 Pruebas de bombeo**

En los archivos de SENASA están los datos de pruebas de bombeo de la mayoría de los pozos construidos por este instituto en la Zona Piloto, pero sin un análisis geohidráulico formal. Por lo tanto es muy recomendable interpretarlas para calcular aunque sea en forma preliminar los parámetros hidráulicos del acuífero.

### **7.4 Red de pozos de observación**

A partir del inventario, se debe construir la red de pozos de observación, y de esta forma complementar los resultados del mismo inventario, tal como está previsto en la propuesta de TNO para el proyecto FEHS.



## **7.5 Manejo del acuífero y modelos de flujo**

Los resultados del inventario ya es un sistema que permite utilizarlo como una herramienta de manejo; por ejemplo en cuanto a ubicación de nuevos pozos, los niveles esperados, caudales aproximados. Sin embargo, existe incertidumbre en la respuesta del acuífero ante nuevos pozos, su comportamiento local y regional, las interferencias entre pozos, la localización óptima de futuros pozos.

Por lo tanto es recomendable que en un futuro cercano SENASA adquiera un modelo de flujo para simular su acuífero. Existen varios modelos en el mercado, sin embargo el modelo MODFLOW con sus diversos módulos y sus versiones VMODFLOW ó GMS son alternativas bastante completas con capacidades gráficas e interacción con sistemas de información geográfica.

## **8 Referencias**

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

Geoconsult S.A., 1995. Estudio Hidrogeológico para la planta de coca cola. Refrescos Paraguay S.A., Asunción Paraguay.

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

Van Overmeeren, R.A., 2000. Estudio del Acuífero Patiño, Informe técnico 2.4: Investigación geoelectrica en una zona piloto.

Apéndice A

## **Apéndice A. Formulario de Inventarios**

Apéndice B

## **Apéndice B Tabla Resumen de Inventarios**