



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN

**INFORME TÉCNICO**

**PLAN DE MEJORAMIENTO**

**PARA LA RED DE NIVELES DE COPIAPÓ**

**REALIZADO POR:**  
**División de Estudios y Planificación**  
**SDT N° 342**

**Santiago, Junio de 2013**

### **Equipo de Trabajo**

Michael Finger

Miguel Ángel Caro H.

Adrián Lillo Zenteno

## TABLA DE CONTENIDOS

|     |                                                                   |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | INTRODUCCIÓN .....                                                | 3  |
| 2   | ANÁLISIS DE ANTECEDENTES: ANÁLISIS CRÍTICO DE LA RED ACTUAL ..... | 3  |
| 3   | ANÁLISIS DE "VALOR DE DATOS" .....                                | 5  |
| 3.1 | Introducción .....                                                | 5  |
| 3.2 | Parámetros.....                                                   | 5  |
| 3.3 | Observaciones Potenciales .....                                   | 6  |
| 3.4 | Resultado para Optimizar .....                                    | 6  |
| 3.5 | Resultados .....                                                  | 6  |
| 4.  | OTROS FACTORES RELEVANTES A CONSIDERAR .....                      | 8  |
| 4.1 | Propiedad de los terrenos .....                                   | 8  |
| 4.2 | Condiciones Subterráneas .....                                    | 8  |
| 5.  | CAMPAÑA DE TERRENO.....                                           | 8  |
| 6.  | PLAN DE MEJORAMIENTO .....                                        | 9  |
| 7.  | CONCLUSIONES .....                                                | 24 |
| 8.  | BIBLIOGRAFÍA .....                                                | 26 |
|     | ANEXO A – PLAN DE MEJORAMIENTO DETALLADO .....                    | 27 |
| A.1 | Sector 1 .....                                                    | 28 |
| A.2 | Sector 2 .....                                                    | 31 |
| A.3 | Sector 3 .....                                                    | 34 |
| A.4 | Sector 4 .....                                                    | 37 |
| A.5 | Sector 5 .....                                                    | 44 |
| A.6 | Sector 6 .....                                                    | 47 |

## 1 INTRODUCCIÓN

---

La cuenca de Río Copiapó se encuentra en situación de estrés hídrico dado que las extracciones de agua en la cuenca superan de manera importante la oferta hídrica. Se ha observado fuertes y persistentes descensos en el nivel de la napa freática que ha resultado en pozos colgados y disminución de la productividad de los pozos existentes.

Hay iniciativas en curso para mejorar la gestión de la cuenca y perfilar un camino hacia un manejo sustentable. La medición de niveles de aguas subterráneas resulta de suma importancia para el entendimiento del estado actual del acuífero y el control y evaluación de medidas de intervención que se puede implementar.

A partir de lo anterior, se realizó el estudio “Análisis Crítico de la Red de Niveles de Aguas Subterráneas del Acuífero de Copiapó” (DGA/H2Cuenca-2012), que llevó a cabo un diagnóstico del red actual y propuso mejoras a la red. No obstante, este análisis conceptual no planteó medidas concretas como la ubicación y diseño de nuevos piezómetros propuestos.

Por tanto, a partir del mencionado estudio, el presente informe tiene por objetivo realizar un análisis a nivel funcional de la red de niveles de Copiapó y el desarrollo de un plan de mejoramiento para solucionar las brechas existentes en la red actual.

## 2 ANÁLISIS DE ANTECEDENTES: ANÁLISIS CRÍTICO DE LA RED ACTUAL

---

El estudio DGA/H2Cuenca-2012 realizó un análisis crítico de la red actual de niveles en la cuenca de Copiapó. Éste involucró el análisis de antecedentes y el desarrollo de una campaña de terreno para identificar el estado actual de la red.

En el presente informe técnico fue mejorada la información del estudio DGA/H2Cuenca ya que se incorporó información actualizada o diferente que no estuvo disponible en el trabajo anterior.

En la Tabla 2-1 se muestra un resumen de la red actual de medición de aguas subterráneas de la cuenca de Copiapó (junio/2013)

| Sector       | Observación | Extracción | Seco      | Sin Acceso | Sin Inscripción | Total     |
|--------------|-------------|------------|-----------|------------|-----------------|-----------|
| 1            | 1           | 6          | 1         | 0          |                 | 8         |
| 2            |             | 6          | 1         | 1          |                 | 8         |
| 3            | 1           | 1          | 6         | 0          |                 | 8         |
| 4            |             | 1          | 2         | 3          |                 | 6         |
| 5            |             | 1          | 3         | 0          | 1               | 5         |
| 6            | 8           | 3          | 5         | 1          | 1               | 18        |
| <b>Total</b> | <b>10</b>   | <b>18</b>  | <b>18</b> | <b>5</b>   | <b>2</b>        | <b>53</b> |

**Tabla 2-1 Estado actual de la red de niveles de Copiapó**

Actualmente la situación de la red es muy deficiente y cuenta con solo 10 pozos de observación. Especialmente críticos son los sectores 4 y 5 que actualmente tienen cada uno 1 sólo un punto de control, que corresponden a pozos de extracción en pleno funcionamiento, y ningún pozo utilizado exclusivamente para observación.

Los pozos de extracción no son la mejor alternativa para controlar el acuífero, ya que durante el bombeo y posterior a éste, no se puede medir el nivel estático del acuífero; no obstante aportan información útil y actualmente conforman la mayor parte de la red actual. Los pozos sin inscripción son pozos que no poseen inscripción legal, y posiblemente sujetos a extracciones ilegales, éstos pozos por criterio interno no deben incluirse en la red mientras ésta situación continúe.

La Agencia Europea del Medioambiente (European Environment Agency, EAA) recomienda que se instale 1 pozo cada 20 o 25 km<sup>2</sup>. Ahora bien, debe tenerse en cuenta además, que la densidad necesaria para la red depende de un conjunto de factores, incluyendo densidad de pozos de extracción, pendiente del terreno y de la napa, además de los objetivos del monitoreo. Por ejemplo cerca de un pozo de agua potable o un humedal significativo se debe contar con una densidad mayor que en una gran llanura con bajo desarrollo del recurso.

Si suponemos que todos los pozos de la red actual estén funcionando, la densidad de la red actual sería una densidad adecuada. Sin embargo, al considerar como red sólo los pozos útiles, es decir, los pozos de observación y de extracción que no se encuentran secos, la densidad de la red es muy deficiente. La Tabla 2-2 muestra que los sectores 3 al 6 tienen una densidad inadecuada (densidad mayor a 25 km<sup>2</sup> por pozo). Al considerar solo los pozos utilizados exclusivamente para observación la situación resulta aún peor.

| Sector       | Superficie | Pozos     | Densidad<br>(km <sup>2</sup> /pozo) |
|--------------|------------|-----------|-------------------------------------|
| 1            | 33         | 7         | 4,7                                 |
| 2            | 38         | 6         | 6,3                                 |
| 3            | 54         | 2         | 26,9                                |
| 4            | 105        | 1         | 104,7                               |
| 5            | 123        | 1         | 122,9                               |
| 6            | 422        | 11        | 38,4                                |
| <b>Total</b> | <b>774</b> | <b>28</b> | <b>27,6</b>                         |

**Tabla 2-2 Densidad de pozos de la red actual**

Posteriormente se realizó un análisis de componentes principales, una técnica estadística para identificar redundancias entre conjuntos de datos. Se planteó que al aplicar este método a los registros de niveles se puede identificar pozos redundantes que entregan la misma información para un sector acuífero dado.

Dada la inexistencia de conjuntos de registros comparables en un periodo adecuado de tiempo, el análisis se basó en estadísticas representativas incluyendo promedio, desviación estándar y tendencia del gradiente promedio del hidrograma. Cabe notar que estas estadísticas no son capaces de representar toda la información que entregan

los pozos; además, varios pozos no disponen de registros adecuados para presentar estadísticas representativas.

Finalmente, y en virtud de los antecedentes disponibles, se propone mantener todos los pozos que están en funcionamiento en la red mientras se acumulen más datos y reevaluar la redundancia de datos dentro de 5 años. Los pozos que actualmente no están en funcionamiento y que se encuentran muy cerca de otros, se descartarán de la red.

### **3 ANÁLISIS DE "VALOR DE DATOS"**

---

#### **3.1 Introducción**

Los sistemas acuíferos son complejos y su entendimiento y monitoreo se dificulta debido a su naturaleza subterránea. No se puede observar el acuífero en toda su extensión, lo que impulsa la generación de modelos conceptuales y numéricos para interpolar entre las observaciones y proveer de un mejor entendimiento del sistema acuífero. Estos modelos se usan para hacer predicciones en ubicaciones no controladas y/o condiciones futuras.

PEST es un software de optimización y análisis de incertidumbre que permite analizar la respuesta de un modelo a cambios en sus parámetros. Además, se puede analizar la reducción de la incertidumbre en respuesta a más información de calibración, proceso que necesita las posibles ubicaciones de nuevos datos, pero no requiere los datos reales a priori. Este software pondera el valor de potenciales datos y así determinar zonas donde resultaría una reducción mayor de la incertidumbre en cuanto comportamiento del acuífero.

SERNAGEOMIN en el año 2013 desarrolló una actualización de la modelación en MODFLOW del acuífero de la cuenca del río Copiapó, para esto conceptualizó el acuífero en dos modelos MODFLOW que representan adecuadamente el funcionamiento del acuífero en su conjunto, uno con extensión desde La Puerta hasta La Junta de tributarios al Copiapó (sector 1 y 2) y otro con extensión desde La Puerta hasta Angostura (sectores 3 a 6). Los modelos tienen una grilla de 200 x 200 m y cuenta con 168 periodos de estrés, cada uno representando un mes. La extensión del periodo completo comprende desde Enero 1993 a Diciembre 2006.

Para permitir la integración del modelo MODFLOW con PEST fue necesario modificar el formato de algunos archivos de entrada para facilitar la corrida del modelo en MODFLOW 2000 sin la Interfaz gráfica (GUI) de Visual MODFLOW.

#### **3.2 Parámetros**

Los parámetros considerados fueron la transmisividad de 28 zonas y el coeficiente de almacenamiento de 4 zonas, un factor de recarga, un factor de flujo entrante (flujo subterráneo pasante desde arriba), y un factor de extracción).

### **3.3 Observaciones Potenciales**

Los potenciales sitios para nuevos pozos fueron considerados por una malla regular con puntos cada 400 m.

### **3.4 Resultado para Optimizar**

Fue necesario definir los resultados del modelo para los cuales se desea reducir la incertidumbre. Estos son considerados como observaciones en la estructura de PEST. En este estudio, se definieron 3 resultados:

- afloramiento promedio,
- nivel promedio
- volumen promedio.

Cabe recordar que éstos representan el promedio en el tiempo y en el espacio.

### **3.5 Resultados**

Se implementó un modelo compuesto de PEST, MODFLOW y otras rutinas escritas en el lenguaje de programación R para extraer los resultados representativos de los archivos resultantes de MODFLOW. Esto se hizo 3 veces, una para cada resultado a optimizar (afloramiento promedio, nivel promedio, volumen promedio). Se determinó un valor de reducción en la incertidumbre de cada uno de estos tres resultados elegidos para cada potencial punto de observación. Los puntos fueron incorporados dentro de un raster de celdas de 400x400 m representando la reducción en la incertidumbre. El raster fue normalizado así que la reducción máxima tomó el valor de 1. Los resultados se muestran en la Figura 3-1.





Cabe señalar que estos resultados aportan una valiosa información con respecto a la mejor distribución espacial de la red de observación, pero están basados implícitamente en los supuestos del modelo MODLOW, en especial, la extensión espacial y temporal del modelo, y los resultados considerados en el análisis efectuado con PEST que fueron de carácter general.

#### **4. OTROS FACTORES RELEVANTES A CONSIDERAR**

---

Además del estado actual de la red y de los resultados de “valor de datos” (antes presentados), es importante considerar un set de factores que influyen en la ubicación definitiva de nuevos pozos.

##### **4.1 Propiedad de los terrenos**

Se privilegiarán las propiedades fiscales o terrenos bajo administración pública para facilitar el acceso y la seguridad al sitio en la actualidad y en el futuro. Además, esto reduce la posibilidad de conflictos con los dueños de predios debido a falsas expectativas que éstos pudieran generarse con respecto a la posibilidad de extraer agua desde los piezómetros.

No obstante en algunos sectores adecuados para la instalación de piezómetros, no existen terrenos fiscales adecuados, por lo tanto, será necesario acordar con los dueños de terrenos privados el permiso pertinente para la construcción y para el posterior acceso al piezómetro al momento de la realización de la mantención y del control de niveles y calidad de aguas. Se debe considerar la implementación de algún permiso de servidumbre de investigación (o similar) que garantice el acceso al sitio para recuperar los datos.

##### **4.2 Condiciones Subterráneas**

Se consideró la profundidad del basamento y la profundidad de la napa para estimar la profundidad de perforación para el control del acuífero en el largo plazo.

#### **5. CAMPAÑA DE TERRENO**

---

Entre los días 12/6/2013 y 14/6/2013 se realizó una campaña de terreno donde fueron visitados los pozos de la red para complementar el análisis de su estado actual. Además, se investigaron posibles lugares para el emplazamiento de nuevos piezómetros de la red de niveles. Finalmente, fueron chequeados algunos de los sitios elegidos para la construcción de los pozos de reemplazo que son factibles de construir desde el punto de vista técnico, es decir, que es posible su construcción y asimismo, es posible el acceso futuro al pozo.

## **6. PLAN DE MEJORAMIENTO**

---

En la Tabla 6-1 se detallan las acciones requeridas para cada pozo de la red de niveles.

En el Anexo A se describe el estado actual de cada pozo de la red de niveles justificando y detallando sus mejoras.

| Pozo                            | Sector | Acción                            | Detalle                                                                                                                                                                                                      | Ubicación       | Norte     | Este      | Prioridad |
|---------------------------------|--------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| IGLESIA COLORADA                | 1      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar a Caserones para evaluar uso de servidumbre de tubería de agua potable, alternativamente contactar a dueño y empezar conversaciones para acceso Ubicación definitiva y diseño detallado del pozo.  | terreno privado | a definir | a definir | Baja      |
| QUEBRADA SECA                   | 1      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar a Caserones para evaluar uso de servidumbre de tubería de agua potable, alternativamente contactar a dueño y empezar conversaciones para acceso. Ubicación definitiva y diseño detallado del pozo. | terreno privado | a definir | a definir | Baja      |
| HDA MANFLAS .                   | 1      | Telemetría                        | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso. Diseño de sistema de telemetría.                                                                                                                       | terreno privado | 6886875   | 403325    | Media     |
| HDA MANFLAS (manflas ante hda). | 1      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso. Ubicación definitiva. Diseño detallado del pozo, y sistema de telemetría                                                                               | terreno privado | a definir | a definir | Media     |
| JUNTA MANFLAS                   | 1      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso. Ubicación definitiva Diseño detallado del pozo                                                                                                         | terreno privado | a definir | a definir | Alta      |
| FUNDO RODEO                     | 1      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso. Ubicación definitiva Diseño detallado del pozo                                                                                                         | terreno privado | a definir | a definir | Baja      |
| PASTILLO (PROHENS)              | 1      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar Caserones para evaluar uso de servidumbre de tubería de agua potable, alternativamente contactar dueño y empezar conversaciones para acceso. Ubicación definitiva y diseño detallado del pozo      | terreno privado | a definir | a definir | Baja      |
| ALGARROBO LA VIRGEN             | 1      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar Caserones para evaluar uso de servidumbre de tubería de agua potable, alternativamente contactar dueño y empezar conversaciones para acceso. Ubicación definitiva y diseño detallado del pozo      | terreno privado | a definir | a definir | Baja      |

| Pozo                       | Sector | Acción                            | Detalle                                                                                                                                                                                                       | Ubicación           | Norte     | Este      | Prioridad |
|----------------------------|--------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| EMBALSE LAUTARO            | 2      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo                                                                                                                            | Aguas Abajo Embalse | 6904976   | 401396    | Alta      |
| QUEBRADA CALQUIS UAC       | 2      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar Caserones para evaluar uso de servidumbre de tubería de agua potable<br>Alternativamente contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Ubicación definitiva<br>Diseño detallado del pozo | terreno privado     | a definir | a definir | Baja      |
| QUEBRADA CALQUIS (Antiguo) | 2      | Descartar de la red               | na                                                                                                                                                                                                            | na                  | na        | na        | na        |
| GOYO DIAZ                  | 2      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Ubicación definitiva<br>Diseño detallado del pozo                                                                                                    | terreno privado     | a definir | a definir | Baja      |
| PUEBLO SAN ANTONIO         | 2      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo                                                                                                                            | Plaza               | 6915828   | 396248    | Baja      |
| VEGAS EL GIRO              | 2      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Ubicación definitiva<br>Diseño detallado del pozo, y sistema de telemetría                                                                           | terreno privado     | a definir | a definir | Media     |
| ESCUELA 17 LOS LOROS       | 2      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo                                                                                                                            | Escuela Los Loros   | 6921004   | 391110    | Media     |
| FUNDO LA PUERTA            | 2      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Ubicación definitiva<br>Diseño detallado del pozo                                                                                                    | terreno privado     | a definir | a definir | Baja      |

| Pozo                       | Sector | Acción                            | Detalle                                                                                                                                                                                   | Ubicación                          | Norte              | Este             | Prioridad |
|----------------------------|--------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------|------------------|-----------|
| HORNITO (ROJAS)            | 3      | Profundización                    | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso. Evaluar factibilidad de profundizar piezómetro, o alternativamente definir ubicación de piezómetro nuevo. Diseño detallado del pozo | terreno privado                    | 6929418            | 383845           | Alta      |
| PLANTA ELISA DE BORDO      | 3      | Profundización                    | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso. Evaluar factibilidad de profundizar piezómetro, o alternativamente definir ubicación de piezómetro nuevo. Diseño detallado del pozo | terreno privado                    | 6933492            | 382092           | Alta      |
| AGRÍCOLA VILLA MARÍA       | 3      | Mantener en la red                | Sin Acción                                                                                                                                                                                | terreno privado                    | 6936528            | 379562           | na        |
| VILLA MARIA-HORNITOS       | 3      | Descartar de la red               | na                                                                                                                                                                                        | na                                 | na                 | na               | na        |
| PABELLÓN                   | 3      | Profundización                    | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso. Evaluar factibilidad de profundizar piezómetro, o alternativamente definir ubicación de piezómetro nuevo. Diseño detallado del pozo | terreno privado                    | 6942355            | 378669           | Alta      |
| FUNDO ALIANZA              | 3      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso. Ubicación definitiva y diseño detallado del pozo                                                                                    | terreno privado                    | a definir          | a definir        | Baja      |
| QUEBRADA CERRILLOS         | 3      | Descartar de la red               | na                                                                                                                                                                                        | terreno privado                    | na                 | na               | na        |
| QUEBRADA CERRILLOS AMANCAY | 3      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso. Evaluar conversión de pozo de COEMIN que podría estar sin uso. Ubicación definitiva y diseño detallado del pozo                     | terreno privado                    | a definir          | a definir        | Alta      |
| NUEVO POZO NANTOCO         | 3      | Nuevo Piezómetro                  | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso. Diseño detallado del pozo                                                                                                           | Escuela Nantoco<br>Rotonda Nantoco | 6953097<br>6953269 | 374517<br>374527 | Media     |

| Pozo                                  | Sector | Acción                                  | Detalle                                                                                                                                                                                     | Ubicación                          | Norte   | Este   | Prioridad |
|---------------------------------------|--------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------|--------|-----------|
| QUEBRADA<br>INFERNILLO (MAL<br>PASO)  | 4      | Mantener en la<br>red                   | Posteriormente a la construcción del nuevo pozo<br>Nantoco y reemplazo de Carola, reevaluar redundancia.                                                                                    | na                                 | 6955346 | 375038 | Baja      |
| CAROLA                                | 4      | Reemplazo con<br>Pozo de<br>Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo                                                                                                          | na                                 | 6956736 | 375336 | Alta      |
| PUCOBRE (8)                           | 4      | Mantener en la<br>red                   | Contactar dueño y empezar conversaciones para<br>reestablecer acceso.<br>Posteriormente a la construcción del reemplazo de<br>Buitrón y reemplazo de Carola reevaluar redundancia.          | na                                 | 6958607 | 374672 | Alta      |
| BITRON                                | 4      | Reemplazo con<br>Pozo de<br>Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo                                                                                                          | Rotonda Luis<br>Uribe              | 6961671 | 374762 | Alta      |
| PUEBLO SAN<br>FERNANDO (Las<br>Cañas) | 4      | Reemplazo con<br>Pozo de<br>Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo                                                                                                          | Vialidad<br>Copayapu               | 6967126 | 372985 | Alta      |
| NUEVO POZO<br>COPIAPÓ                 | 4      | Nuevo<br>Piezómetro                     | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Se prefiera Parque El Pretel o Escuela F-36 Bruno Zavala<br>F. Las otras son ubicaciones secundarias.<br>Diseño detallado del pozo | GOPE de<br>Carabineros<br>Copayapu | 6969475 | 370200 | Alta      |
|                                       |        |                                         |                                                                                                                                                                                             | Parque El<br>Pretel                | 6970232 | 369456 |           |
|                                       |        |                                         |                                                                                                                                                                                             | Hogar U de<br>Atacama              | 6971006 | 369220 |           |
|                                       |        |                                         |                                                                                                                                                                                             | Escuela F-36<br>Bruno Zavala<br>F. | 6970705 | 369131 |           |
|                                       |        |                                         |                                                                                                                                                                                             | Cancha de<br>Rugby<br>Palomar      | 6970422 | 368293 |           |

| Pozo                               | Sector | Acción                            | Detalle                                                                            | Ubicación                               | Norte   | Este   | Prioridad |
|------------------------------------|--------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------|--------|-----------|
| HOCHSCHILD                         | 4      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo | Plaza Esquina Copayapu con Ruta 5 Norte | 6971765 | 368000 | Alta      |
|                                    |        |                                   |                                                                                    | Plaza Esquina Copayapu con Balcárcel    | 6972389 | 367267 |           |
|                                    |        |                                   |                                                                                    | Edificio MOP                            | 6972835 | 367484 |           |
|                                    |        |                                   |                                                                                    |                                         |         |        |           |
| ESCUELA ITALIANA                   | 5      | Nuevo Piezómetro                  | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo | Cruce Ruta 5                            | 6974167 | 365912 | Alta      |
|                                    |        |                                   |                                                                                    | ECONSSA                                 | 6974056 | 366007 |           |
| VALLE DORADO                       | 5      | Profundización                    | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.                              | terreno privado                         | 6975316 | 362229 | Alta      |
|                                    |        |                                   | Evaluar factibilidad de profundizar piezómetro.                                    |                                         |         |        |           |
|                                    |        |                                   | Alternativamente definir ubicación de piezómetro nuevo.                            |                                         |         |        |           |
| NUEVO POZO CRUCE MINA GALLEGUILLOS | 5      | Nuevo Piezómetro                  | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.                              | Cruce Ruta 5                            | 6977754 | 361140 | Alta      |
|                                    |        |                                   | Diseño detallado del pozo                                                          |                                         |         |        |           |
| VILLA CANDELARIA (DANIEL ALVAREZ)  | 5      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo | Aeródromo Chamonate                     | 6979615 | 360048 | Media     |
| GINO AROSTICA                      | 5      | Descartar de la red               | na                                                                                 | na                                      | na      | na     | na        |
| HDA TOLEDO                         | 5      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo | Cruce Ruta 5                            | 6979129 | 357796 | Alta      |
| HDA SAN FRANCISCO                  | 6      | Reemplazo con Pozo de Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo | Rotonda Piedra Colgada                  | 6980052 | 355061 | Media     |

| Pozo                    | Sector | Acción                                  | Detalle                                                                                                                                                                                          | Ubicación                                                                  | Norte                         | Este                       | Prioridad |
|-------------------------|--------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------|
| PIEDRA COLGADA<br>(13)  | 6      | Profundización                          | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Evaluar factibilidad de profundizar piezómetro.<br>Alternativamente definir ubicación de piezómetro nuevo.<br>Diseño detallado del pozo | terreno<br>privado                                                         | 6979848                       | 353128                     | Alta      |
| NORIA SANTELICES        | 6      | Reemplazo con<br>Pozo de<br>Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Ubicación definitiva<br>Diseño detallado del pozo                                                                                       | Comunidad<br>Colla                                                         | 6978905                       | 353642                     | Alta      |
| CANTO DEL VIENTO        | 6      | Reemplazo con<br>Pozo de<br>Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo                                                                                                               | Cruce Ruta 5<br>Pasarela<br>Piedra<br>Colgada<br>Iglesia Piedra<br>Colgada | 6978726<br>6978495<br>6978157 | 352271<br>352197<br>352005 | Media     |
| FUNDO SAN JUAN          | 6      | Reemplazo con<br>Pozo de<br>Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo                                                                                                               | Retorno<br>Piedra<br>Colgada                                               | 6978043                       | 351192                     | Alta      |
| SAN PEDRO<br>(FLORIDOR) | 6      | Reemplazo con<br>Pozo de<br>Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Diseño detallado del pozo                                                                                                               | Escuela San<br>Pedro                                                       | 6976535                       | 348958                     | Media     |
| SAN PEDRO (11)          | 6      | Profundización                          | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Evaluar factibilidad de profundizar piezómetro.<br>Alternativamente definir ubicación de piezómetro nuevo.<br>Diseño detallado del pozo | terreno<br>privado                                                         | 6977201                       | 345669                     | Alta      |
| HDA MARGARITA           | 6      | Reemplazo con<br>Pozo de<br>Observación | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Ubicación definitiva<br>Diseño detallado del pozo                                                                                       | terreno<br>privado                                                         | a definir                     | a definir                  | Media     |



| Pozo                         | Sector | Acción                | Detalle                                                                                                                                                                                                                  | Ubicación          | Norte   | Este   | Prioridad |
|------------------------------|--------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------|--------|-----------|
| HDA MARGARITA<br>(Matamoros) | 6      | Profundización        | Contactar dueño y empezar conversaciones para acceso.<br>Evaluar factibilidad de profundizar piezómetro.<br>Alternativamente definir ubicación de piezómetro nuevo.<br>Diseño detallado del pozo                         | terreno<br>privado | 6974008 | 341043 | Alta      |
| KIOSCO SANTA<br>VALENTINA    | 6      | Mantener en la<br>red | Contactar dueño y empezar conversaciones para<br>reestablecer acceso.<br>Posteriormente a la construcción del reemplazo de<br>Hacienda Margarita y reemplazo de Hacienda Margarita<br>(Matamoros) reevaluar redundancia. | terreno<br>privado | 6974148 | 339385 | Alta      |
| VALLE FERTIL                 | 6      | Mantener en la<br>red | Sin Acción                                                                                                                                                                                                               | terreno<br>privado | 6971129 | 336804 | na        |
| SAN CAMILO (8)               | 6      | Mantener en la<br>red | Sin Acción                                                                                                                                                                                                               | terreno<br>privado | 6971846 | 335543 | na        |
| SAN CAMILO (6)               | 6      | Mantener en la<br>red | Sin Acción                                                                                                                                                                                                               | terreno<br>privado | 6970812 | 333555 | na        |
| PUNTA PICAZO(5)              | 6      | Mantener en la<br>red | Sin Acción                                                                                                                                                                                                               | terreno<br>privado | 6972994 | 332401 | na        |
| MONTE AMARGO<br>(2)          | 6      | Mantener en la<br>red | Sin Acción                                                                                                                                                                                                               | terreno<br>privado | 6973059 | 329531 | na        |
| HDA MARÌA ISABEL<br>(4)      | 6      | Mantener en la<br>red | Sin Acción                                                                                                                                                                                                               | terreno<br>privado | 6974193 | 326794 | na        |
| HDA MARÌA ISABEL<br>(3)      | 6      | Mantener en la<br>red | Sin Acción                                                                                                                                                                                                               | terreno<br>privado | 6974630 | 324828 | na        |
| HDA MARÌA ISABEL<br>(1)      | 6      | Mantener en la<br>red | Sin Acción                                                                                                                                                                                                               | terreno<br>privado | 6974810 | 322613 | na        |

**Tabla 6-1 Acciones para implementar el plan de mejoramiento de la red de niveles**

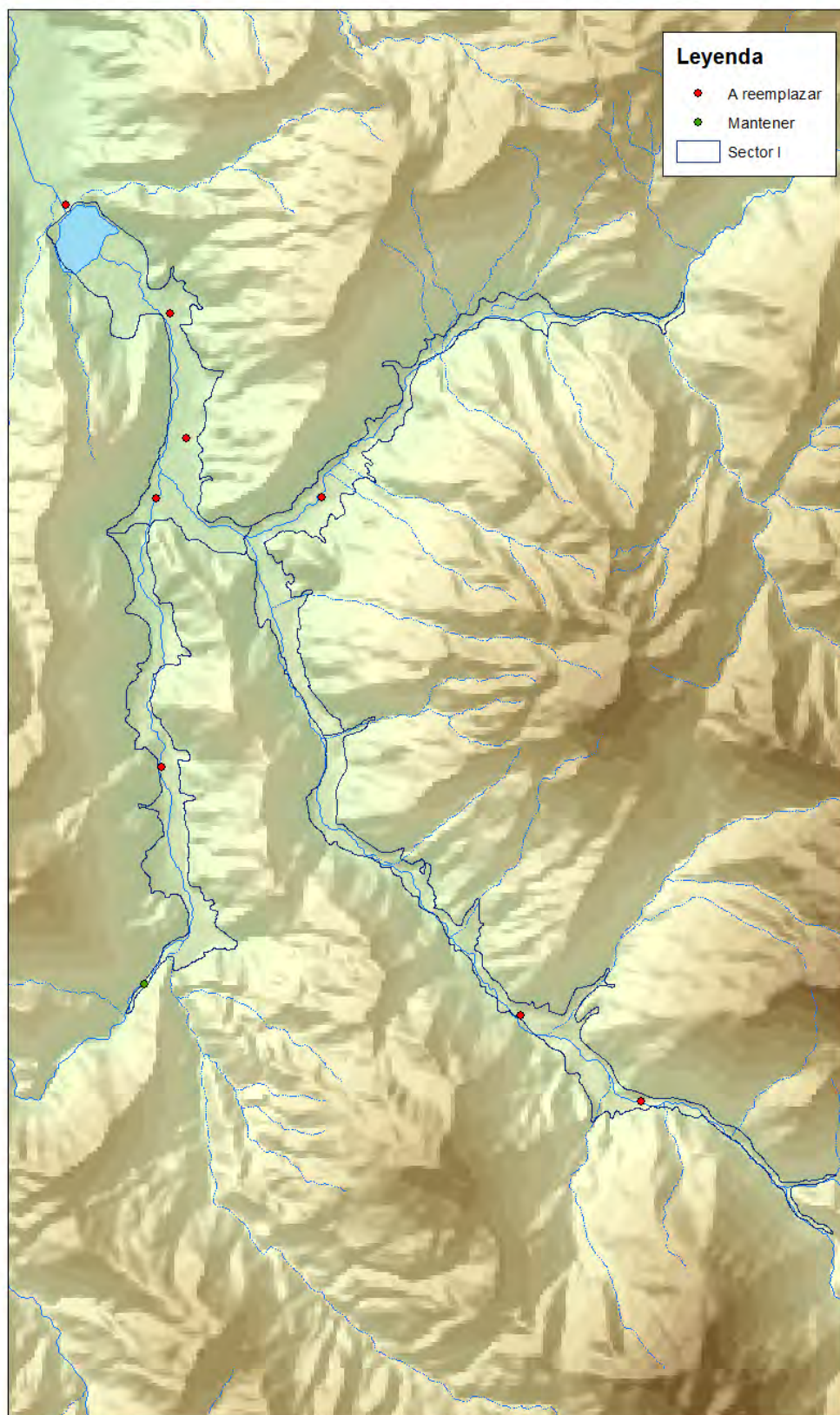
Al llevar a cabo todas las acciones descritas en la Tabla 6-1 da como resultado una nueva red de monitoreo que cumple con estándares internacionales y provee del control adecuado al acuífero del valle de Copiapó. La nueva red propuesta se muestra en las Figuras 6-1 a 6-6.

La Tabla 6-2 muestra las densidades de la nueva red de monitoreo propuesta. Se puede apreciar que las densidades de pozos incluso superan la densidad recomendada. No obstante, debido a la forma estrecha del acuífero y la pendiente de la napa (gradiente hidráulico) se estima necesario controlar en más detalle el acuífero desde la ciudad de Copiapó hacia aguas arriba.

| Sector       | Superficie<br>(km <sup>2</sup> ) | Densidad  |                         |
|--------------|----------------------------------|-----------|-------------------------|
|              |                                  | Pozos     | (km <sup>2</sup> /pozo) |
| 1            | 33                               | 8         | 4,1                     |
| 2            | 38                               | 7         | 5,4                     |
| 3            | 54                               | 7         | 7,7                     |
| 4            | 105                              | 7         | 15,0                    |
| 5            | 123                              | 5         | 24,6                    |
| 6            | 422                              | 18        | 23,4                    |
| <b>Total</b> | <b>774</b>                       | <b>52</b> | <b>14,9</b>             |

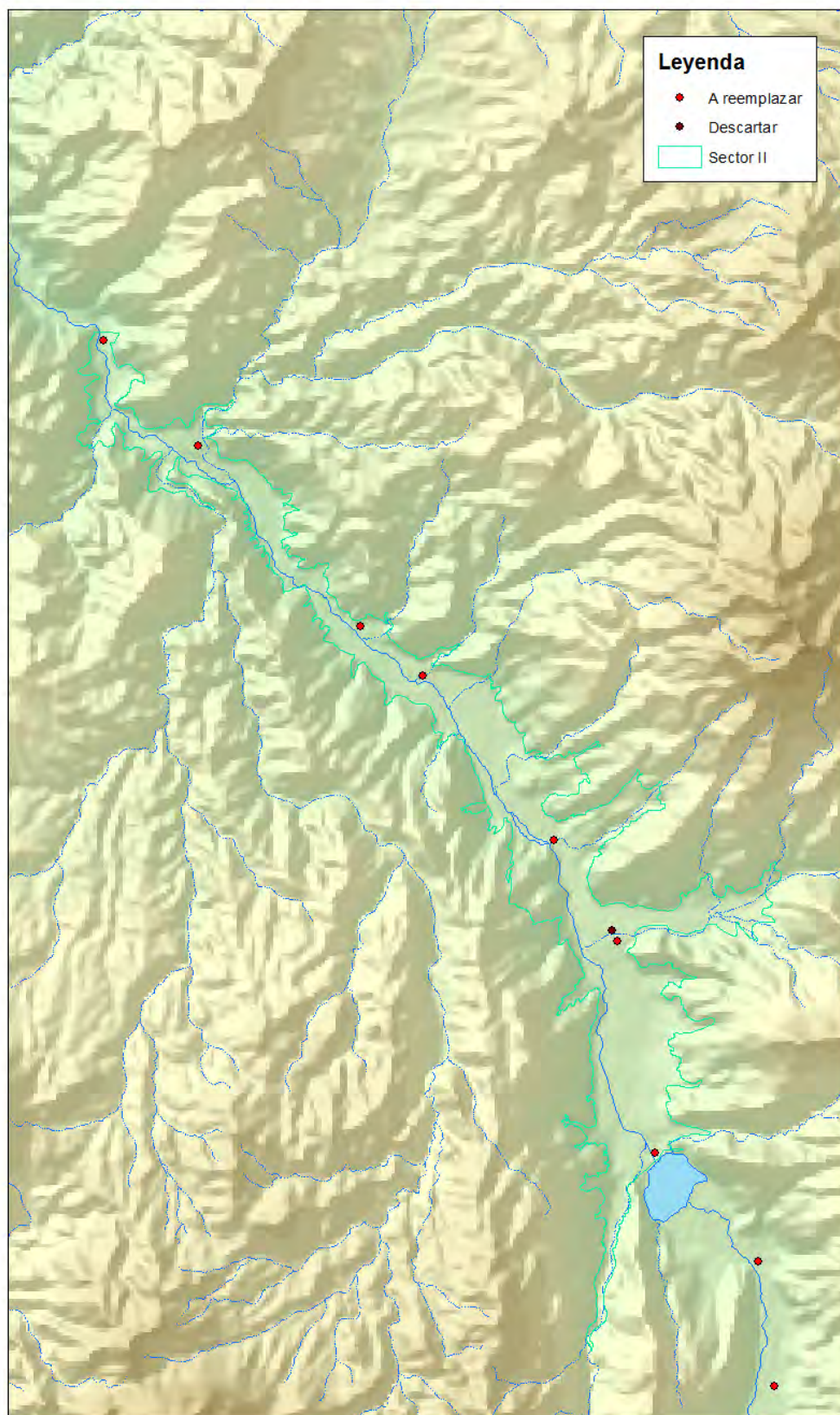
**Tabla 6-2 Densidad de pozos de la red mejorada**

Debido a la importante cantidad de obras necesarias y la inversión requerida, se han priorizado las obras para que la inversión disponible se destine a las mejoras más críticas.

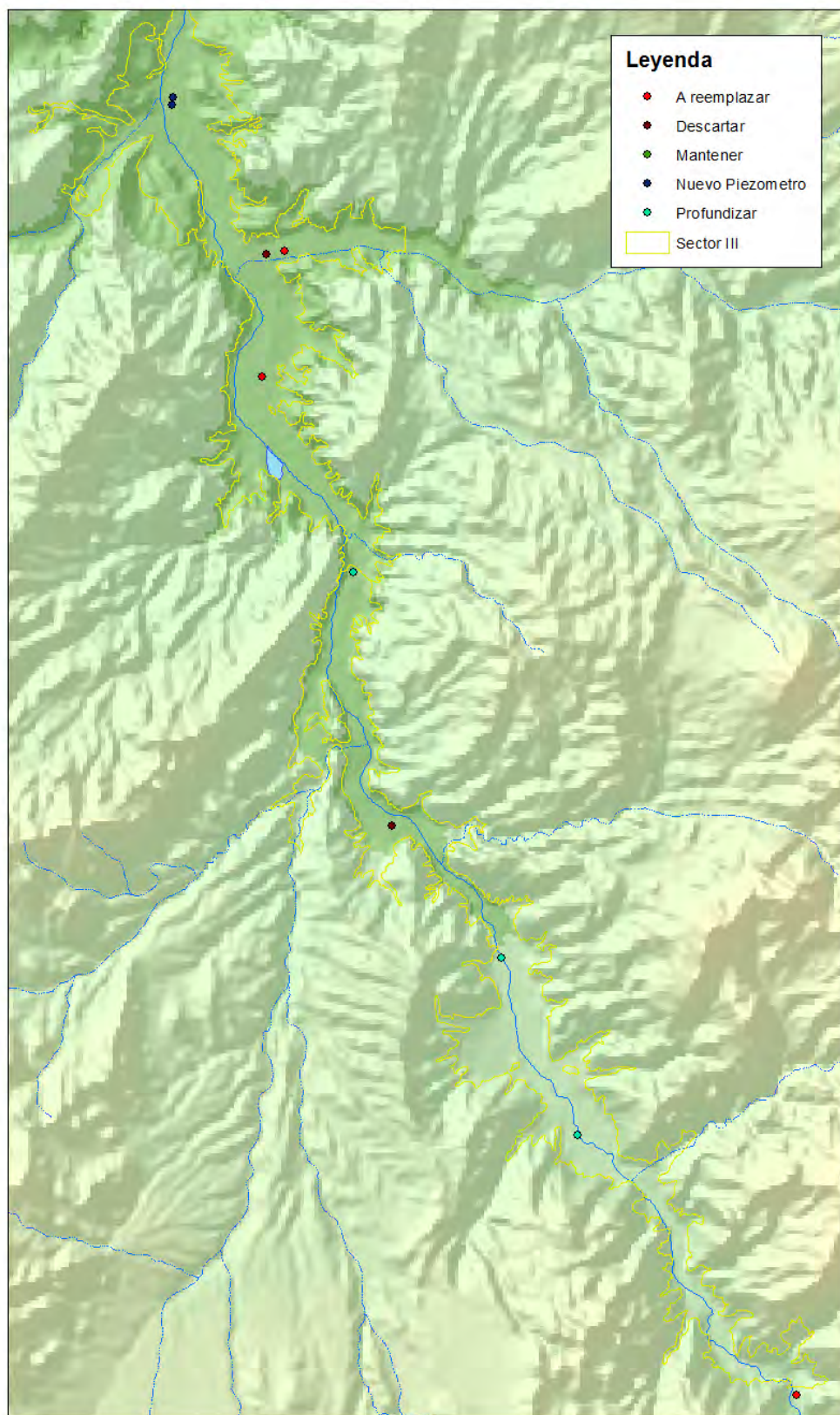


**Figura 6-1 Red de niveles propuesta para Sector 1**



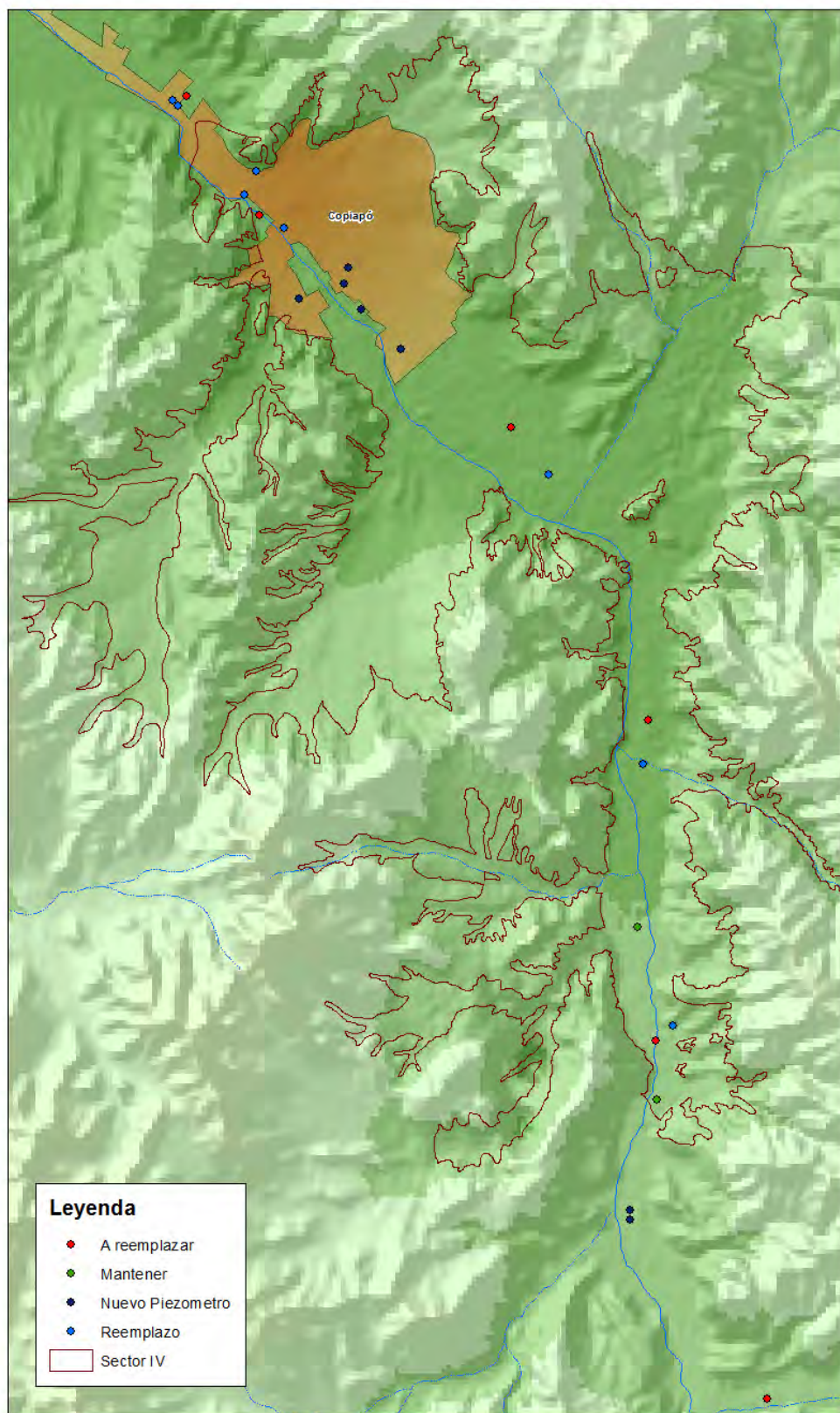


**Figura 6-2 Red de niveles propuesta para Sector 2**

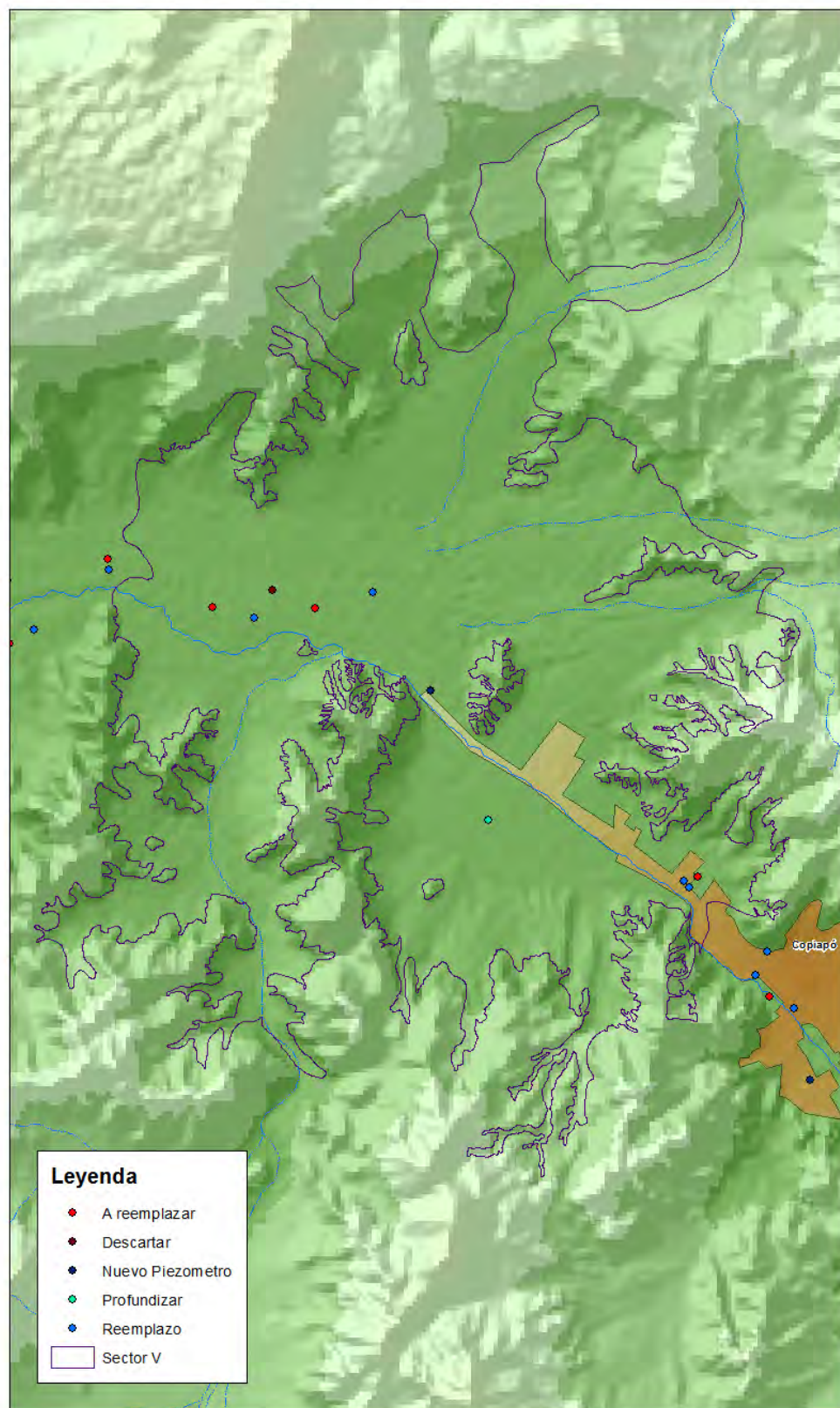


**Figura 6-3 Red de niveles propuesta para Sector 3**



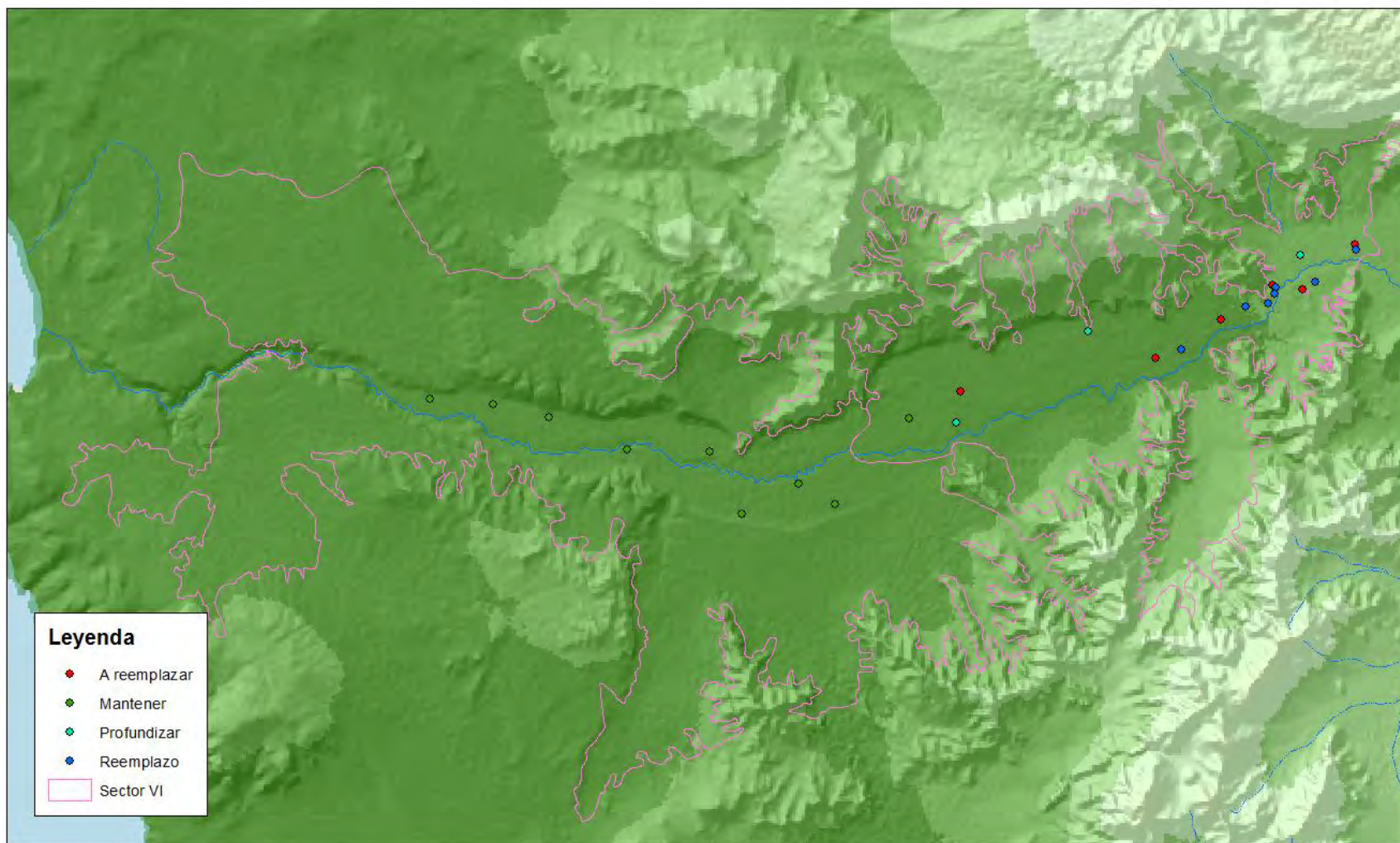


**Figura 6-4 Red de niveles propuesta para Sector 4**



**Figura 6-5 Red de niveles propuesta para Sector 5**





**Figura 6-6 Red de niveles propuesta para Sector 6**



## 7. CONCLUSIONES

---

En el análisis crítico (DGA/H2Cuenca-2012) de la red de niveles de Copiapó se identificaron ciertas deficiencias en la red actual, sobretodo el gran número de pozos de la red que se encuentran secos.

En el presente estudio se realizó un análisis de valor de los datos en base al modelo hidrogeológico del acuífero para identificar zonas que podrían reducir la incertidumbre sobre el funcionamiento del acuífero.

Además se efectuó un análisis práctico para identificar sitios factibles para pozos de reemplazo y nuevos piezómetros considerando la propiedad de los terrenos, acceso, seguridad del sitio para construir y operar el piezómetro, y las condiciones subterráneas.

Las mejoras propuestas para la red se presentan en la Tabla 7-1. Lo anterior requiere la construcción o profundización de 38 pozos.

| Sector       | Piezómetro de |                  | Profundización |
|--------------|---------------|------------------|----------------|
|              | Reemplazo     | Nuevo Piezómetro |                |
| 1            | 7             | 0                | 0              |
| 2            | 7             | 0                | 0              |
| 3            | 2             | 1                | 3              |
| 4            | 4             | 1                | 0              |
| 5            | 3             | 1                | 1              |
| 6            | 6             | 0                | 2              |
| <b>Total</b> | <b>29</b>     | <b>3</b>         | <b>6</b>       |

**Tabla 7-1 Resumen de las obras a realizar**

Las obras más críticas se recalcan en la Tabla 7-2. Estas son las mejoras de alta prioridad para mantener la integridad de la red de niveles.

| Sector       | Piezómetro   | Nuevo      |                |
|--------------|--------------|------------|----------------|
|              | de Reemplazo | Piezómetro | Profundización |
| 1            | 1            | 0          | 0              |
| 2            | 1            | 0          | 0              |
| 3            | 1            | 0          | 3              |
| 4            | 4            | 1          |                |
| 5            | 3            | 0          | 1              |
| 6            | 2            | 0          | 3              |
| <b>Total</b> | <b>12</b>    | <b>1</b>   | <b>7</b>       |

**Tabla 7-2 Resumen de las obras priorizadas**

Un análisis preliminar de las obras indica que se requieren 2.500 m de perforación para completar todas las mejoras señaladas. Considerando sólo las obras de alta prioridad, indican que se requiere perforar 1.100 m metros lineales de nuevos pozos y 260 metros de profundización de pozos. Estas estimaciones deben ser revisadas posteriormente al diseño detallado de los pozos.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

---

"Análisis Crítico de la Red de Niveles de Aguas Subterráneas del Acuífero de Copiapó"  
S.I.T. N° 298 realizado por H2Cuenca para la División de Estudios y Planificación de la  
DGA, 2012

"PEST Model Independent Parameter Estimation User Manual 5<sup>th</sup> Addition" Watermark  
Numerical Computing, 2005

## **ANEXO A – PLAN DE MEJORAMIENTO DETALLADO**

---

## **A.1 Sector 1**

### **Iglesia Colorada**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se generan problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se propone reemplazar el pozo por un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados. Existen dos alternativas, la primera, que el pozo se emplace en la servidumbre del acueducto de la minera Caserones y la segunda, que se emplace en un predio agrícola.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 30 m (probable nivel dinámico), considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 60-80 m.

### **Quebrada Seca**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se generan problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se propone reemplazar el pozo por un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados. Existen dos alternativas, la primera, que el pozo se emplace en la servidumbre del acueducto de la minera Caserones y la segunda, que se emplace en un predio agrícola.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 30 m (probable nivel dinámico), considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 60-80 m.

### **Hacienda Manflas**

El pozo actual es un pozo de observación que experimenta inconvenientes de acceso.

Debido a la ubicación aislada y dificultades de acceso se recomienda la instalación de instrumentación para evitar la pérdida de valiosa información. Al menos debe considerar un data-logger que almacene la información de forma continua y permita



una frecuencia de acceso reducida (trimestral). Idealmente se debe incluir un transmisor satelital para permitir un mejor control y la oportuna toma de decisiones.

### **Hacienda Manflas (Manflas Antes Hda.)**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se generan problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro. También se experimentan inconvenientes de acceso.

Se propone reemplazar el pozo por un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados, en este caso Hacienda Manflas.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

Debido a la ubicación aislada y a las dificultades de acceso se recomienda la instalación de instrumentación para evitar la pérdida de valiosa información. Al menos se debe considerar un data-logger que almacene la información de forma continua y permite una frecuencia de acceso reducida (trimestral). Idealmente se debe incluir un transmisor satelital para permitir mejor control y la oportuna toma de decisiones.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 40 m (probable nivel dinámico), considerando esto y la tendencia de descenso, el nuevo pozo debe tener una profundidad de 60-80 m.

### **Junta Manflas**

El pozo actual está seco, con una profundidad total de aproximadamente 60 m y un nivel estático local de aproximadamente 70 m, por lo tanto, no funciona efectivamente como elemento de la red de niveles.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados, en este caso Fundo Lautaro-Manflas.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 80-100 m.

### **Fundo Rodeo**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados, en este caso Fundo Rodeo.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 80 m (probable nivel dinámico), considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 100-120 m.

### **Pastillo**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados. Existen dos alternativas, la primera, que el pozo se emplace en la servidumbre del acueducto de la minera Caserones y la segunda, que se emplace en un predio agrícola.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 75 m (probable nivel dinámico), considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 100-120 m.

### **Algarrobo de la Virgen**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados. Existen dos alternativas, la primera, que el pozo se emplace en la servidumbre del acueducto de la minera Caserones y la segunda, que se emplace en un predio agrícola.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 65 m (probable nivel dinámico), considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 100-120 m.

## **A.2 Sector 2**

### **Embalse Lautaro**

El pozo actual está seco. Existen otros 5 pozos secos en el mismo paño aguas debajo del embalse Lautaro, de estos hay una profundidad máxima de 30 m, indicando un nivel de la napa mayor que eso.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación dentro del mismo terreno con coordenadas (E401396, N6904976). Se nota que el terreno es sujeto a un proceso de transferencia desde la DOH a la Junta de Vigilancia.

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 80-100 m.

Este pozo de reemplazo es de alta prioridad dado a su importancia en definir el flujo subterráneo entrante al sector 2 y la larga distancia al próximo pozo Quebrada Calquis.

### **Quebrada Calquis UAC**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados. Existen dos alternativas, la primera, que el pozo se emplace en la servidumbre del acueducto de la minera Caserones y la segunda, que se emplace en un predio agrícola, de Agrícola UAC.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 40 m (probable nivel dinámico), considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 60-80 m.

### **Quebrada Calquis (Antiguo)**

Este pozo ya ha sido reemplazado por el pozo Quebrada Calquis UAC.

### **Goyo Diaz**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados, en este caso Goyo Diaz.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 30 m (probable nivel dinámico), considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 40-60 m.

### **Pueblo San Antonio**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación dentro de la plaza al lado de la iglesia (E396248, N6915828). Se entiende que este terreno se maneja la municipalidad.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 30 m (probable nivel dinámico), considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 40-60 m.

### **Vegas El Giro**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro. También se experimentan inconvenientes de acceso.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

Debido a las dificultades de acceso se recomienda la instalación de instrumentación para evitar la pérdida de información valorable. Al menos debe considerar un datalogger que almacena la información de forma continua y permite una frecuencia

de acceso reducida (trimestral). Idealmente se debe incluir un transmisor satelital para permitir mejor control y la oportuna toma de decisiones.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 20 m (probable nivel dinámico), considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 30-40 m.

### **Escuela 17 Los Loros**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro. Además el pozo tiene una discontinuidad a las 15 m de profundidad dado que el primer 15 m se excavó a mano en forma de un hoyo rectangular, posteriormente el pozo se perforó a máquina. Esta discontinuidad dificulta la medición del nivel.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación dentro del terreno de la escuela con coordenadas tipo (E391110, N6921004).

La ubicación final es sujeto de análisis de servicios subterráneos.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 25 m (probable nivel dinámico), considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 40 m

### **Fundo La Puerta**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados, en este caso Fundo La Puerta.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 5 m (probable nivel dinámico), considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 10-20 m

### **A.3 Sector 3**

#### **Hornito (Rojas)**

El pozo actual está seco, el último registro fue de 80 m, indicando que el nivel freático está más profundo.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 120-140 m.

Se debe evaluar la factibilidad de profundizar el pozo actual.

#### **Planta Elisa de Bordos**

El pozo actual está seco, la profundidad máxima registrada fue de 60 m, indicando que el nivel freático actual está más profundo.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 120-140 m.

Se debe evaluar la factibilidad de profundizar el pozo actual.

#### **Agrícola Villa María**

El pozo actual es un pozo de observación y se encuentra en operación. Por lo tanto no se requiere ninguna acción.

#### **Villa María – Hornitos**

El pozo actual está seco, el último registro fue de 70 m, indicando que el nivel freático está más profundo. Este pozo se ubica a 10 metros del pozo Agrícola Villa María, por lo tanto no se requiere ninguna acción.



## **Pabellón**

El pozo actual está seco, el último registro fue de 60 m, indicando que el nivel freático está más profundo.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 100-120 m.

Se debe evaluar la factibilidad de profundizar el pozo actual.

## **Fundo Alianza**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados, en este caso Goyo Diaz.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 30 m (probable nivel dinámico), considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 40-60 m.

## **Quebrada Cerrillos**

El pozo actual está seco, el último registro fue de 65 m, indicando que el nivel freático está más profundo.

Este pozo ya se reemplazó por el pozo Quebrada Cerrillos Amancay.

## **Quebrada Cerrillos Amancay**

El pozo actual está seco, el último registro fue de 80 m, indicando que el nivel freático está más profundo.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 120-150 m.

Se debe evaluar la posibilidad de profundizar el pozo Quebrada Cerrillos. Otra alternativa es investigar la posibilidad de usar algún pozo de COEMIN.

### **Pozo Nuevo 1 – Nantoco**

Este sector actualmente no cuenta con puntos de control. Se requiere un piezómetro nuevo para entregar información sobre la conexión entre los sectores 3 y 4, y sobre el levantamiento de la napa en este sector.

Existen dos posibles ubicaciones para este pozo. La primera es dentro de la Escuela Básica de Nantoco, coordenadas (N6953097, E374517).



La segunda alternativa se ubica dentro de la franja fiscal de la rotunda Nantoco, coordenadas (N6953269, E374527).

El catastro de pozo de DICTUC (DICTUC, 2010) indica que el pozo ubicado en la parcela N°5 tuvo un nivel estática de 22 m en 2008 y una profundidad total de 80 m. Por lo tanto el nuevo pozo debe tener una profundidad de 40-80 m.

#### **A.4 Sector 4**

##### **Quebrada Infernillo (Mal Paso)**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se debe reevaluar la redundancia de este pozo después de la construcción de los nuevos pozos en Nantoco y Cancha Carola. Para una evaluación adecuada se debe esperar para la acumulación de al menos 5 años de mediciones concurrentes.

##### **Carola**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro. También se experimentan inconvenientes de acceso.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Se recomienda ubicar el pozo en el terreno de la cancha de Carola, coordenadas tipo (N6956736, E375336).



El pozo existente tiene un registro máximo de 95 m, por lo tanto el nuevo pozo debe tener una profundidad de 120-150 m. No obstante según la topología del modelo hidrogeológico el basamento se encuentre a una profundidad de 100 m. Se debe revisar la estratigrafía de sector.

Mientras tanto se debe intentar reestablecer acceso y control del pozo actual.

### **Pucobre**

El pozo actual es un pozo de extracción habilitado con una bomba, por lo tanto, no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro. También se experimentan inconvenientes de acceso.

Se propone reestablecer el acceso y control de este pozo y reevaluar su redundancia después de la construcción de los nuevos pozos en Cancha Carola y Buitrón. Para una evaluación adecuada se debe esperar para la acumulación de al menos 5 años de mediciones recurrentes.

### **Buitrón**

El pozo actual está seco, el último registro fue de 96,2 m, indicando que el nivel freático está más profundo.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Se recomienda ubicar el pozo en la franja fiscal dentro de la rotonda Luis Uribe, coordenadas tipo (N6961671, E374762).



El pozo existente tiene un registro máximo de 95 m, por lo tanto el nuevo pozo debe tener una profundidad de 120-150 m. Como la topología del modelo hidrogeológico el basamento se encuentre a una profundidad de 150 m, se debe revisar la estratigrafía de sector.

### **Pueblo San Fernando (Las Cañas)**

El pozo actual está seco, el último registro fue de 60 m en 2008, indicando que el nivel freático está más profundo.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Se recomienda ubicar el pozo en el terreno fiscal de Vialidad en Copayapu, coordenadas tipo (N6967126, E372985).





El nuevo pozo debe tener una profundidad de 120-150 m. Como la topología del modelo hidrogeológico el basamento se encuentre a una profundidad de 135 m, se debe revisar la estratigrafía de sector.

### **Nuevo Pozo Copiapó.**

Esta zona actualmente no cuenta con puntos de control, y es dentro del sector 4 que está muy deficiente con 6 pozos de observación de los cuales solo uno está en funcionamiento.

Existen varias posibilidades para ubicar el pozo,

GOPE de los Carabineros en Copayapu (N6969475, E370200)

Parque El Pretil (N6970232, E369456)



Hogar Universidad de Atacama (N6971006, E369220)





Escuela F-36 Bruno Zavala F. (N6970705, E369131) (a un costado del estacionamiento).

### Cancha de Rugby Palomar (N6970422, E368293)



De estos sitios, Parque El Pretil y Escuela Bruno Zavala son más factibles desde el punto de vista técnico, dado el mayor espesor del relleno y por ende tendrían una mejor probabilidad de encontrar el acuífero y controlarlo en el largo plazo.

### **Hochschild**

El pozo actual es un pozo de uso industrial habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro. También se experimentan inconvenientes de acceso.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Existen varias alternativas ubicaciones.

Plazoleta Esquina Copayapu y Ruta 5 Norte (N6971765, E368000)

Plazoleta Esquina Copayapu y Balcárcel (N6972389, E367267)

Edificio MOP (N6972835, E367484)

De estas tres ubicaciones se prefiere Plazoleta Esquina Copayapu y Ruta 5 Norte porque se encuentre en una zona de basamento profundo y por ende tendría una mejor probabilidad de encontrar el acuífero y controlarlo en el largo plazo.

El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 60 m, considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 100-150 m.

## **A.5 Sector 5**

### **Escuela Italiana**

El pozo actual está seco, el último registro fue de 60 m en 2008, indicando que el nivel freático está más profundo.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Se recomienda ubicar el pozo en la franja fiscal de la carretera, coordenadas tipo (N6974167, E365912).

Otra posible alternativa sería en el terreno de ECONSSA enfrente la Escuela Italiana, coordenadas (N6974056, E366007).

El nuevo pozo debe tener una profundidad de 80-100 m. Como la topología del modelo hidrogeológico el basamento se encuentre a una profundidad de 100 m, se debe revisar la estratigrafía de sector.

### **Valle Dorado**

El pozo actual está seco, el último registro fue menor de 60 m en 2009. Mediciones de pozos cercanos indicaron un nivel de aproximadamente 70m en 2012.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 80-100 m.

Se debe evaluar la factibilidad de profundizar el pozo actual.

### **Nuevo Pozo Cruce Mina Galleguillos**

Esta zona actualmente no cuenta con puntos de control, y es dentro del sector 5 que está muy deficiente con 6 pozos de observación de los cuales solo uno está en funcionamiento.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Se recomienda ubicar el pozo en la franja fiscal de la carretera, coordenadas tipo (N6977754, E361140).

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 60-100 m.

### **Villa Candelaria (Daniel Álvarez)**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. El nuevo pozo se ubicará en el terreno del aeródromo Chamonate, coordenadas (N6979615, E360048).





El pozo existente tiene una profundidad de la napa de hasta 35 m considerando esto y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 60-100 m.

### **Gino Acróstica**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro. Además el pozo no está inscrito y posiblemente sujeto a extracciones ilegales, y siguen asesoría legal no deben incluirse en la red mientras esta situación sigue.

Se propone descartar el pozo de la red de niveles, el sector será controlado por el pozo de reemplazo del pozo Hacienda Toledo.

### **Hacienda Toledo**

El pozo actual está seco, el último registro fue menor de 20 m. El pozo de la red más cercano es Gino Acróstica que registró un nivel de 38 m en 2012.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Se recomienda ubicar el pozo en la franja fiscal de la carretera, coordenadas tipo (N6979129, E357796).

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 60-100 m.

Se debe evaluar la factibilidad de profundizar el pozo actual, no obstante dado a su ubicación dentro de un galpón este es poco probable.

## **A.6 Sector 6**

### **Hacienda San Francisco**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Se recomienda ubicar el pozo en la franja fiscal de la carretera, coordenadas tipo (N6980052, E355061).

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 80-100 m.

### **Piedra Colgada (13)**

El pozo actual tiene una profundidad de entre 6 y 8 metros y está seco.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados.

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 40-100 m.

Se debe evaluar la factibilidad de profundizar el pozo actual, no obstante la corta profundidad del pozo actual podría resultar que las complicaciones a profundizar superan la reducción en perforación.

### **Noria Santelices**

La noria tiene una profundidad de aproximadamente 10 metros y está seca.

Se propone reemplazar la noria con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados. En este caso una posible alternativa es la Comunidad Colla.

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 40-100 m.

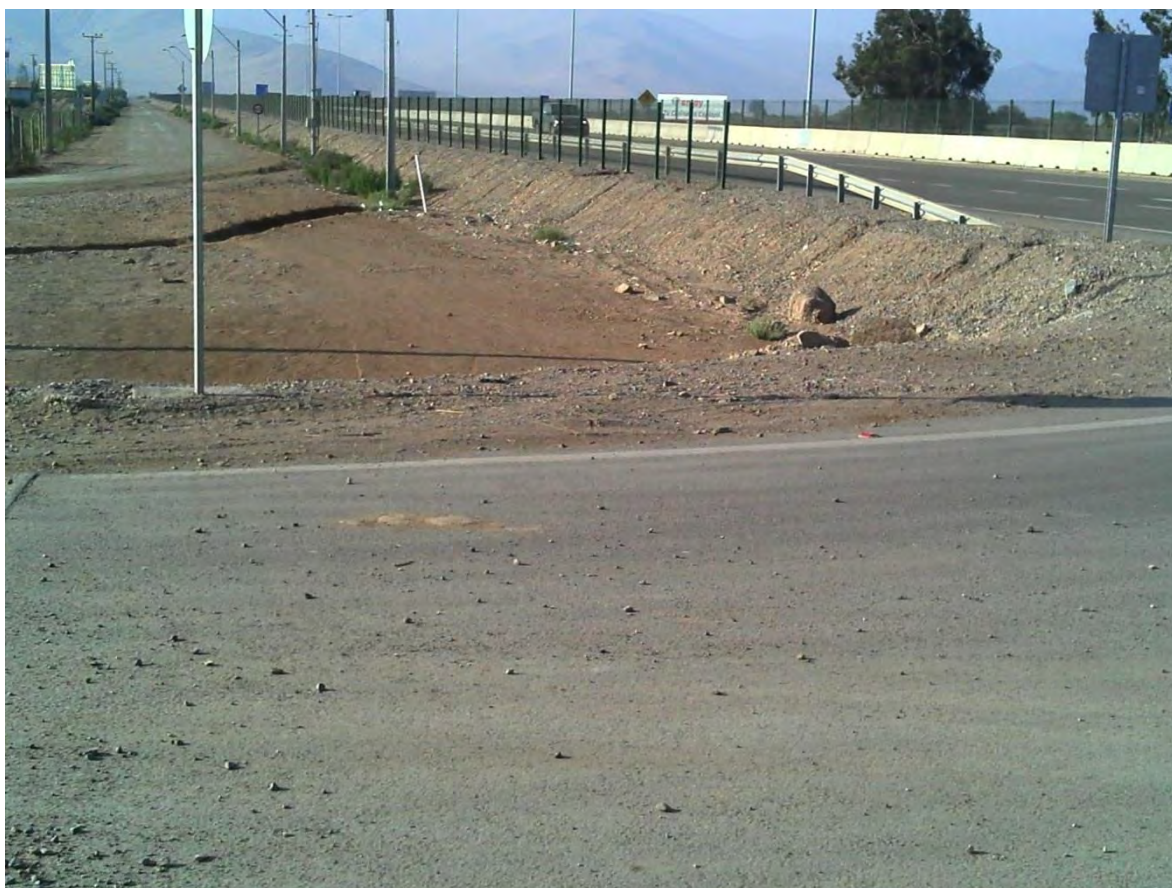


## **Canto del Viento**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro. Además el pozo no está inscrito y posiblemente sujeto a extracciones ilegales, y siguen asesoría legal no deben incluirse en la red mientras esta situación sigue.

Se propone reemplazar el con un pozo exclusivo de observación. Existen varios alternativos para ubicar el pozo.

Franja Fiscal coordenadas (N6978726, E352271)



Franja Fiscal coordenadas (N6978495, E352197)



Iglesia Piedra Colgada coordenadas (N6978157, E352005)





Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 40-100 m.

### **Fundo San Juan**

El pozo actual se ha tapado a través de obras viales.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Se recomienda ubicar el pozo en la franja fiscal del retorno Piedra Colgada, coordenadas tipo (N6978043, E351192).

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 40-60 m.

### **San Pedro (Floridor)**

El pozo actual es un pozo de riego habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Se recomienda ubicar el pozo en la escuela básica de San Pedro, coordenadas (N6976535, E347958)



Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 40-60 m.

### **San Pedro (11)**

El pozo actual está seco. Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados.

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 40-100 m.

Se debe evaluar la factibilidad de profundizar el pozo actual, no obstante la corta profundidad del pozo actual podría resultar que las complicaciones a profundizar superan la reducción en perforación.

### **Hacienda Margarita**

La noria actual se ha embancado y se ha convertido en micro basurero.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 30-40 m.

### **Hacienda Margarita (Matamoros)**

El pozo tiene una profundidad de 8 m y actualmente está seco.

Se propone reemplazar el pozo con un pozo exclusivo de observación. Debido a la inexistencia de terrenos fiscales adecuados en el sector será necesario convenir un acuerdo con los dueños de terrenos privados.

La ubicación final debe tener acceso adecuado, y el convenio debe asegurar este acceso en el futuro. El pozo nuevo se debe ubicar cerca a la posición actual, pero también fuera del radio de influencia de los pozos de extracción.

Considerando el nivel de la napa y la tendencia de descenso el nuevo pozo debe tener una profundidad de 30-40 m.

Se debe evaluar la factibilidad de profundizar el pozo actual, no obstante la corta profundidad del pozo actual podría resultar que las complicaciones a profundizar superan la reducción en perforación.

### **Kiosco Santa Valentina**

El pozo actual es un pozo de extracción habilitado con una bomba, por lo tanto no se mide el nivel estático del acuífero y se genera problemas al momento de introducir y retirar el pozómetro. También se experimentan inconvenientes de acceso.

Se propone descartar el pozo de la red de niveles, el sector será controlado por los pozos de reemplazo Hacienda Margarita y Hacienda Margarita (Matamoros).

### **Valle Fértil**

El pozo de observación está en pleno funcionamiento y no requiere ninguna acción correctiva.

### **San Camilo (8)**

El pozo de observación está en pleno funcionamiento y no requiere ninguna acción correctiva.

### **San Camilo (6)**

El pozo de observación está en pleno funcionamiento y no requiere ninguna acción correctiva.

**Punta Picazo (5)**

El pozo de observación está en pleno funcionamiento y no requiere ninguna acción correctiva.

**Monte Amargo (2)**

El pozo de observación está en pleno funcionamiento y no requiere ninguna acción correctiva.

**Hacienda María Isabel (4)**

El pozo de observación está en pleno funcionamiento y no requiere ninguna acción correctiva.

**Hacienda María Isabel (3)**

El pozo de observación está en pleno funcionamiento y no requiere ninguna acción correctiva.

**Hacienda María Isabel (1)**

El pozo de observación está en pleno funcionamiento y no requiere ninguna acción correctiva.