




RESUMEN EJECUTIVO – ETAPA IV

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL ELQUI
BAJO, REGIÓN DE COQUIMBO**

29 de diciembre de 2022

CÓDIGO SAFI N° 358.243

| Fecha | Emitido para | Firma |
|---|--|---|
| 29 de diciembre de 2022 |  DOH |  <i>Leonardo Almagro</i> |
|  | | N° de páginas: 30 |
| | | RESUMEN EJECUTIVO – ETAPA IV |
| | | DOH-2202-05-0 |

1 INTRODUCCIÓN

Debido a la sequía prolongada que ha sufrido la región de Coquimbo estos últimos diez años y a la disminución de los caudales del río Elqui, los agricultores de la cuenca se han enfrentado a una situación crítica por una disminución del recurso superficial, con caudales de reparto inferiores al 20%.

En dicho contexto la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) ha solicitado un estudio hidrogeofísicos de prospección y una caracterización hidrogeológica de la cuenca de Elqui bajo desde el embalse Puclaro hasta el mar, y del sector de Pan de Azúcar.

Para el estudio de prospección, se ha realizado un análisis en detalle de cuatro zonas de interés predefinidas por la DOH (Figura 1.1) que complementado a los trabajos de terreno permitieron definir nuevos puntos de perforación para la extracción de aguas subterráneas, en consideración de la viabilidad hidrogeológica y administrativa de los puntos.

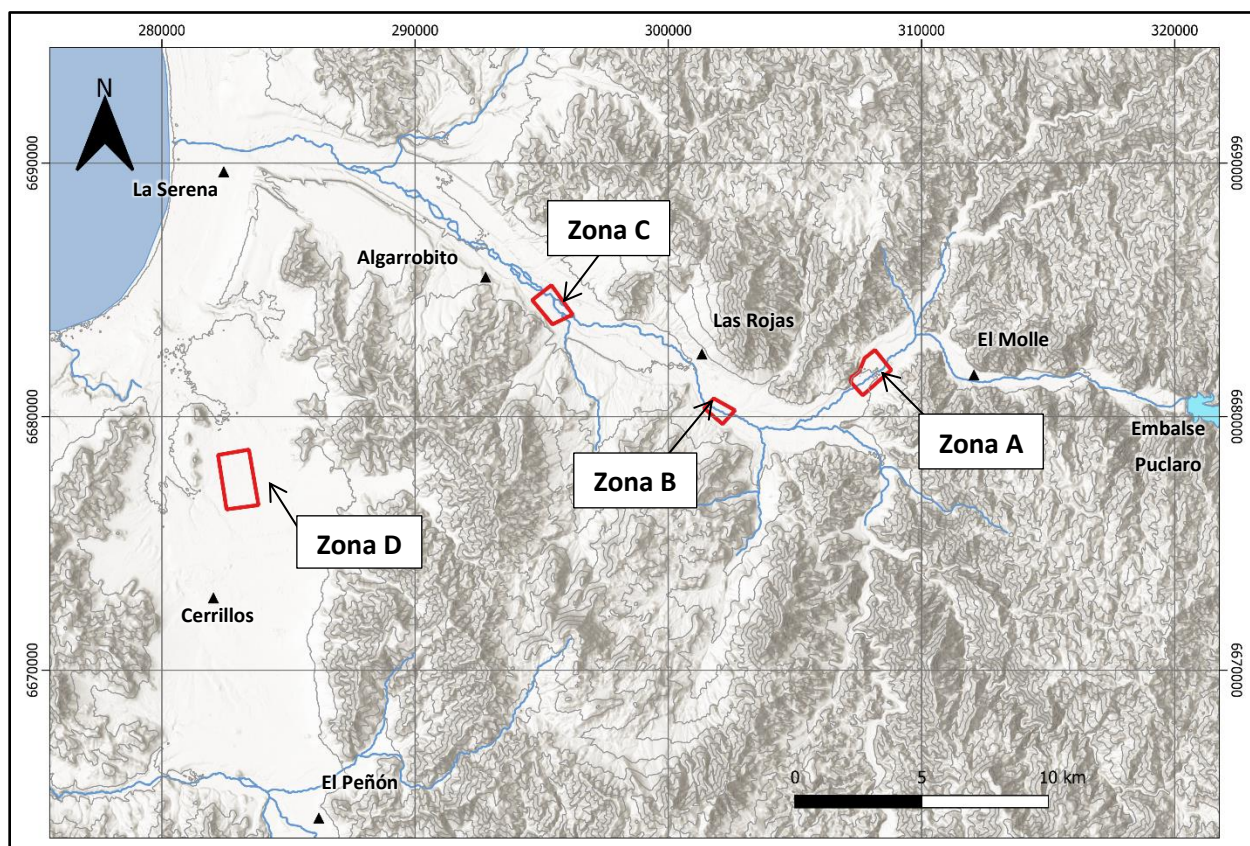


Figura 1.1. Zonas de interés predefinidas por la DOH.

Para la conceptualización de los sistemas subterráneos de Elqui y Pan de Azúcar se ha considerado los antecedentes hidráulicos, hidrológicos, geológicos, geofísicos y estratigráficos existentes y se han realizado las siguientes labores de terreno:

- Catastro actualizado de 61 captaciones, para conocer la situación actual del acuífero.
- 16 ensayos de bombeo, para determinar parámetros hidráulicos del sistema acuífero.
- 8 ensayos de infiltración, para determinar la tasa de infiltración de los suelos.
- 2 diagráfias de pozo del tipo Gamma Natural, para la caracterización hidrogeológica del acuífero
- 20 tomografías eléctricas, para determinar la geometría del acuífero y como apoyo para definir la ubicación optimizada de los futuros pozos de extracción.

Como antecedentes, la DOH entregó los editables del último modelo numérico de flujo de la cuenca que había sido realizado a través de la J.V del Río Elqui. Este fue revisado y en conjunto con la DOH se optó por realizar un nuevo modelo que considerase los antecedentes existentes y la nueva información hidrogeológica obtenida en el contexto del presente proyecto.

Este nuevo modelo numérico de flujo del acuífero Elqui valida el modelo conceptual del río Elqui y constituye una herramienta que permite a la DOH la planificación de extracciones de agua subterránea y evaluar el impacto de integrar nuevos pozos profundos en la cuenca, y su sostenibilidad.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal del Estudio es recabar antecedentes y realizar un levantamiento de la información hidrogeológica en tres sectores de la cuenca del río Elqui Bajo y un sector en Pan de Azúcar, de tal forma de efectuar una evaluación del comportamiento del acuífero a nivel local, así como de los recursos hídricos subterráneos, y, a partir de ello definir la ubicación óptima para baterías de pozos, de tal forma que permitan abastecer a los canales afectados en épocas de sequía.

En dicho contexto fundamentar la ubicación optimizada de nuevas captaciones de agua subterránea de modo sustentable y sin intervenir pozos existentes, Sistemas Sanitarios Rurales (SSRs) ni derechos de extracción de agua subterránea existentes.

Los objetivos específicos son los enumerados a continuación:

- Recopilar la información hidrogeológica de la parte baja de la cuenca del río Elqui, existente en la DOH o bien en la DGA, analizando los antecedentes estratigráficos, hidráulicos y geofísicos.
- Catastro de niveles estáticos y dinámicos en pozos (públicos y/o privados) existentes y de derechos de agua concedidos y en trámite.
- Definir y Caracterizar geomorfológicamente la zona de estudio.
- Conocer a nivel de detalle el funcionamiento del acuífero y su interrelación con el sistema superficial; desde el punto de vista de los registros históricos, así como su proyección en el futuro.
- Determinar a nivel detalle el valor de las constantes elásticas del acuífero, su estratigrafía, hidrodinámica, hidroquímica y su balance hídrico.
- Ejecución de perfiles geofísicos, en zonas a definir, en donde sea más probable la extracción de agua, de acuerdo a los antecedentes revisados previamente.
- Determinar la ubicación óptima de baterías de pozos en base a los resultados desarrollados.
- Determinar si la ubicación de la batería de pozos se encuentra en BNUP o Fiscal.
- Realización de un análisis de afectación a pozos existentes con la operación de pozos proyectados, indicando posibles depresiones de niveles freáticos y su escala.
- Incorporación de la información levantada a un SIG.
- Mejora del conocimiento hidrodinámico y estratigráfico del acuífero, en función de los trabajos de terreno realizados.
- Resolución del modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico a escala de detalle, con enfoque de prospección en zonas de viabilidad y sustentabilidad hidrogeológica.
- Cuantificar la recarga al acuífero y la relación río acuífero.
- Realizar un balance hídrico que indique la compatibilidad de implementar nuevas extracciones.
- Analizar la conveniencia de realizar una actualización del modelo numérico realizado por la JJVV (2022), o bien construir un nuevo modelo numérico en función de los avances realizados en las actividades de terreno desarrolladas en el contexto del presente proyecto.
- Analizar la operación y afectación a pozos existentes con la operación de pozos proyectados, indicando posibles depresiones de niveles freáticos y su escala.

2 ELQUI BAJO - MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO

La cuenca del Elqui Bajo, se emplaza entre dos unidades geomorfológicas predominantes, los Cordones Transversales y Llanos de sedimentación fluvial y/o aluvional. El río Elqui se sitúa en la unidad geomorfológica Llanos de sedimentación fluvial o aluvional, correspondiente al acuífero sedimentario.

La base del acuífero Elqui, está constituida por el este por depósitos consolidados de la Fm. Quebrada Marquesa, secuencia volcánica sedimentaria, al centro por intrusivos dioríticos, al oeste por depósitos semi – consolidados de las formaciones Confluencia y Coquimbo.

La cuenca del río Elqui bajo, con aproximadamente 2870 km², corresponde a la cuenca aportante al río Elqui desde inmediatamente aguas abajo del embalse Puclaro hasta su desembocadura en La Serena, con una precipitación media en torno a los 85 mm al año.

El río Elqui presenta un régimen controlado por los embalses, registrándose un caudal medio en Almendral en torno a los 9 m³/s, con una predominancia en torno a los 4 m³/s.

Los derechos de agua superficial, aproximadamente 11 m³/s, son distribuidos durante todo el año por canales en general sin revestir, con pérdidas estimadas en torno al 30 % por infiltración. Se estima que actualmente los canales funcionan en torno al 20 % de sus derechos de agua (com per JJVV). Del orden de 1500 l/s pasarían por el canal Bellavista hacia la cuenca Pan de Azúcar, mientras que 1000 l/s de derecho pertenecen a Aguas del Valle.

El sistema acuífero del río Elqui está compuesto por una estratigrafía de carácter lenticular, de gravas y arenas con intercalaciones discontinuas de limos y/o arcillas gravo arenosas, de hasta 10 m de espesor. Es así que en el modelo conceptual se le considera como una capa heterogénea con confinamientos locales, del orden de 100 a 200 m de espesor (Figura 2.1, Figura 2.2, Figura 2.3).

Las resistividades eléctricas de los estratos acuífero son del orden de 30 a 110 Ohm-m lo cual se correlacionaría, según las estratigrafías de pozo consultadas, con horizontes de gravas y arenas con un bajo contenido de arcillas.

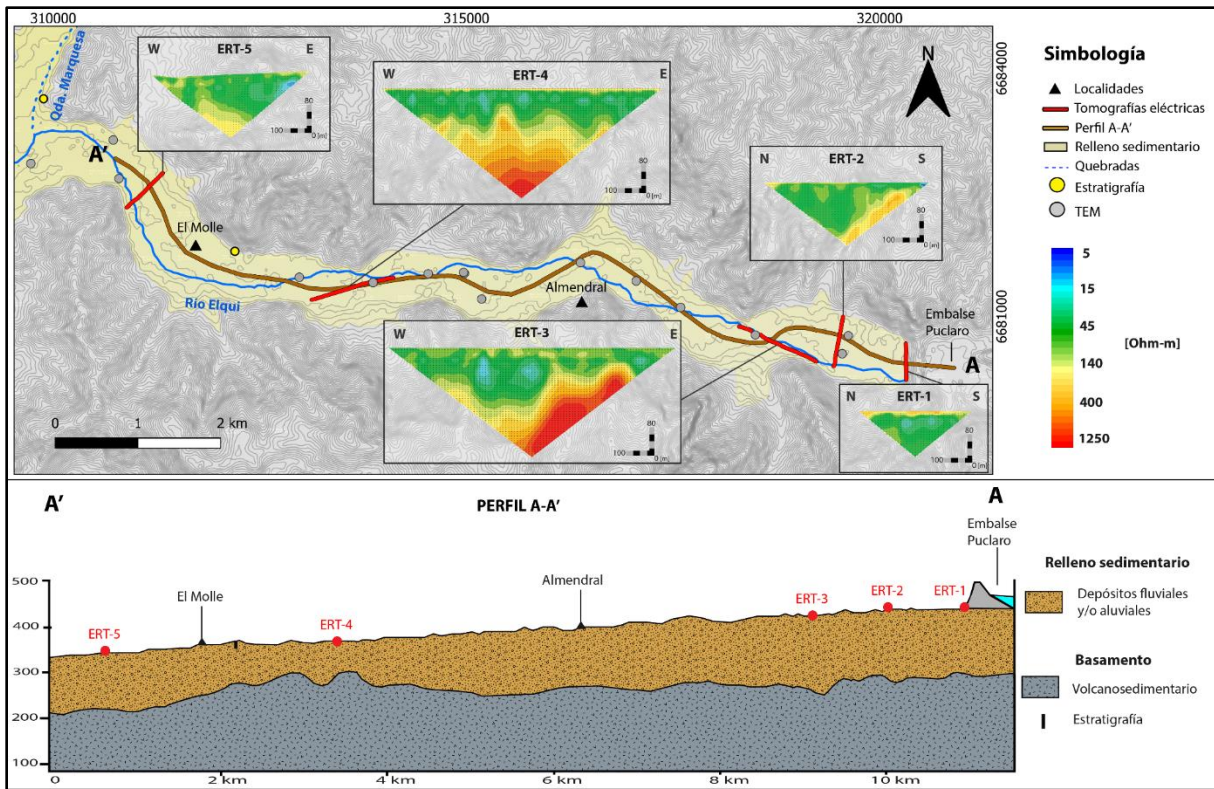


Figura 2.1. Perfil AA'. Elaboración Propia.

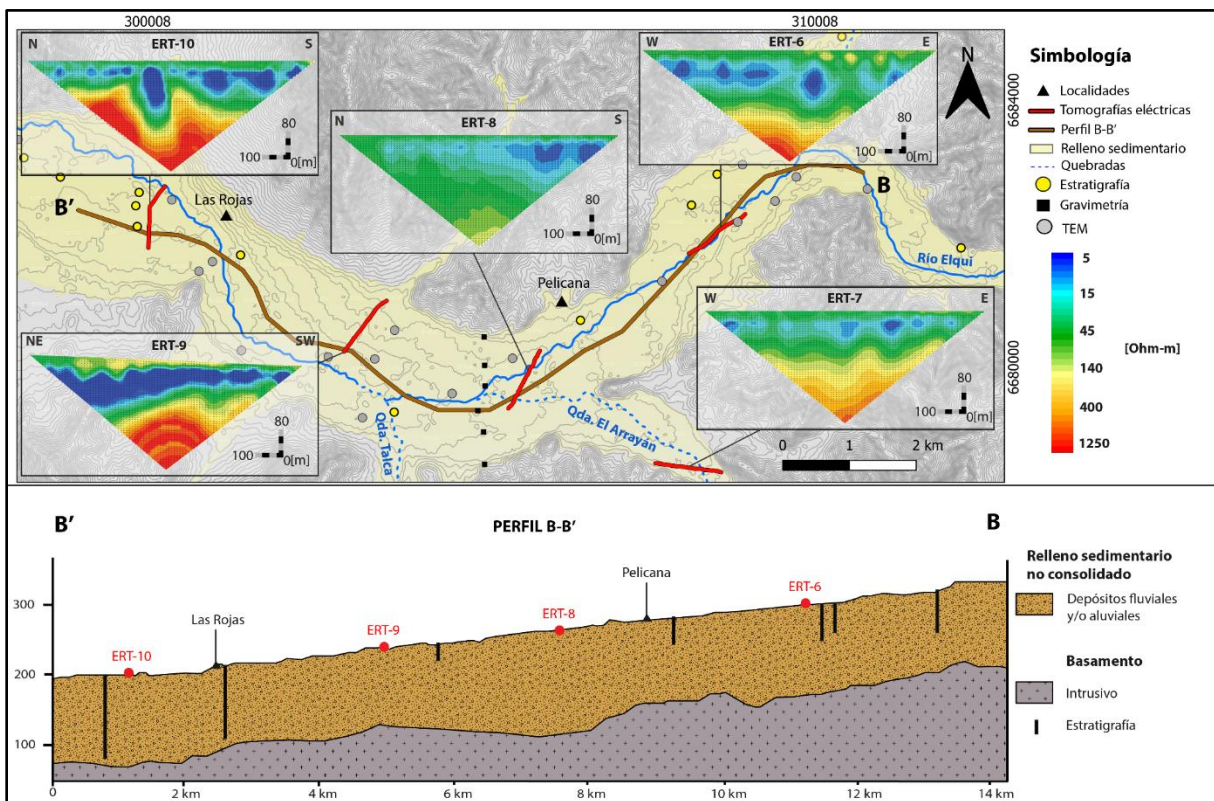


Figura 2.2 Perfil BB'. Elaboración Propia.

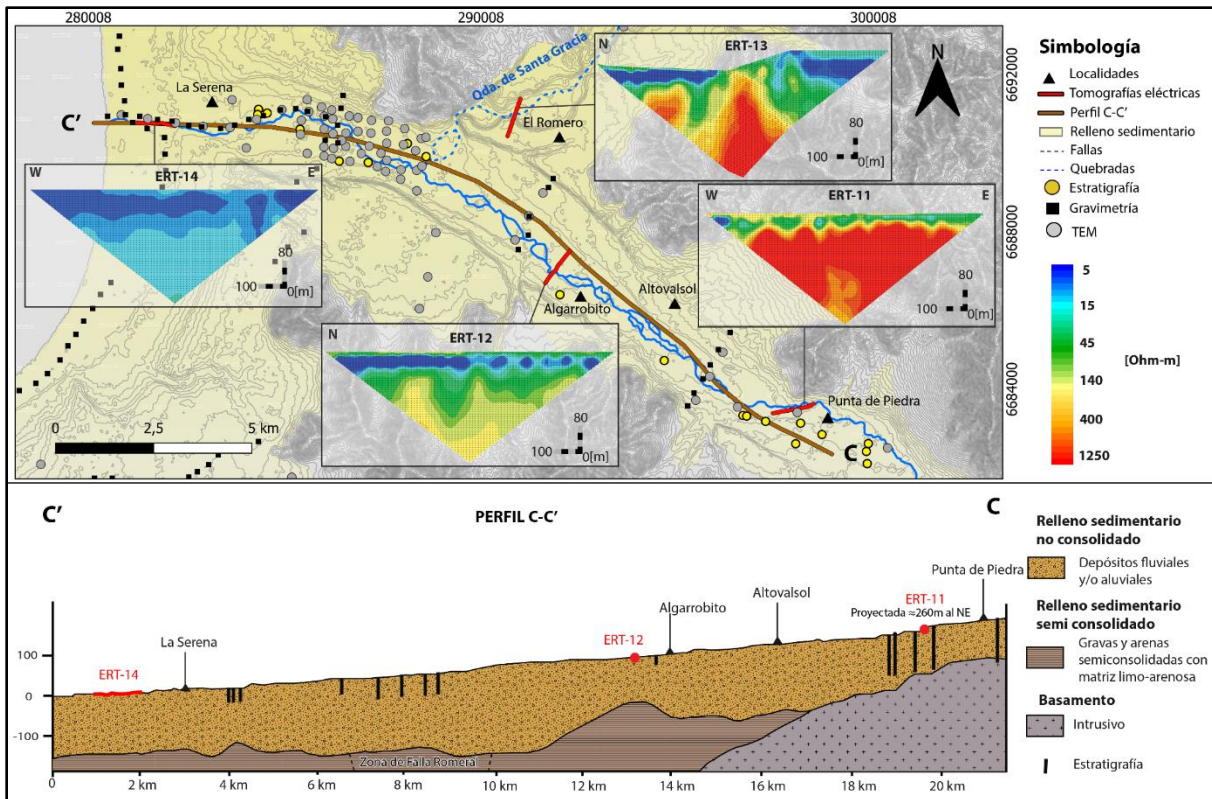


Figura 2.3. Perfil CC'. Elaboración Propia.

Las permeabilidades equivalentes del acuífero varían en el orden de 1 a 30 m/d, excepcionalmente 100 m/d, los coeficientes de almacenamiento estimado en pozos profundos, del orden de $1E^{-4}$ y $1E^{-3}$ y porosidades eficaces del orden de E^{-1} determinadas en norias.

De acuerdo a los datos obtenidos del catastro de pozos, en la sección este del acuífero Elqui Bajo, la profundidad de los niveles estáticos es inferior a 10 metros de la superficie, sin variaciones importantes en los últimos 20 años. Hacia el oeste, se observan disminuciones más importantes de niveles en los últimos años, comenzando en torno al año 2012, alcanzando descensos de hasta 20 -40 m en la actualidad. Esta baja de niveles estaría asociada a las mayores extracciones constituidas en la parte oeste del acuífero, junto a los años secos consecutivos del periodo 2010 – 2014.

Se presenta un aumento continuo a partir del año 1997 de los derechos de agua subterránea concedidos en el acuífero Elqui Bajo, pasando a ser del orden de 500 l/s antes de año 1995, a aproximadamente 4500 l/s el año 2020.

Una de las principales fuentes de recarga y descarga del acuífero Elqui Bajo la constituye el río, el cual se deriva a los canales de riego infiltrando por estos un caudal estimado en torno a los 440 l/s. Por otro lado, las recargas subterráneas laterales desde las quebradas más importantes hacia el acuífero se estiman en torno a los 350 l/s. A partir del año 2012, por medio del modelo numérico se estima que el río pasa a comportarse predominantemente como perdedor, esto debido principalmente al aumento de las extracciones. El flujo de salida subterráneo por la costa se estima en torno a los 160 l/s.

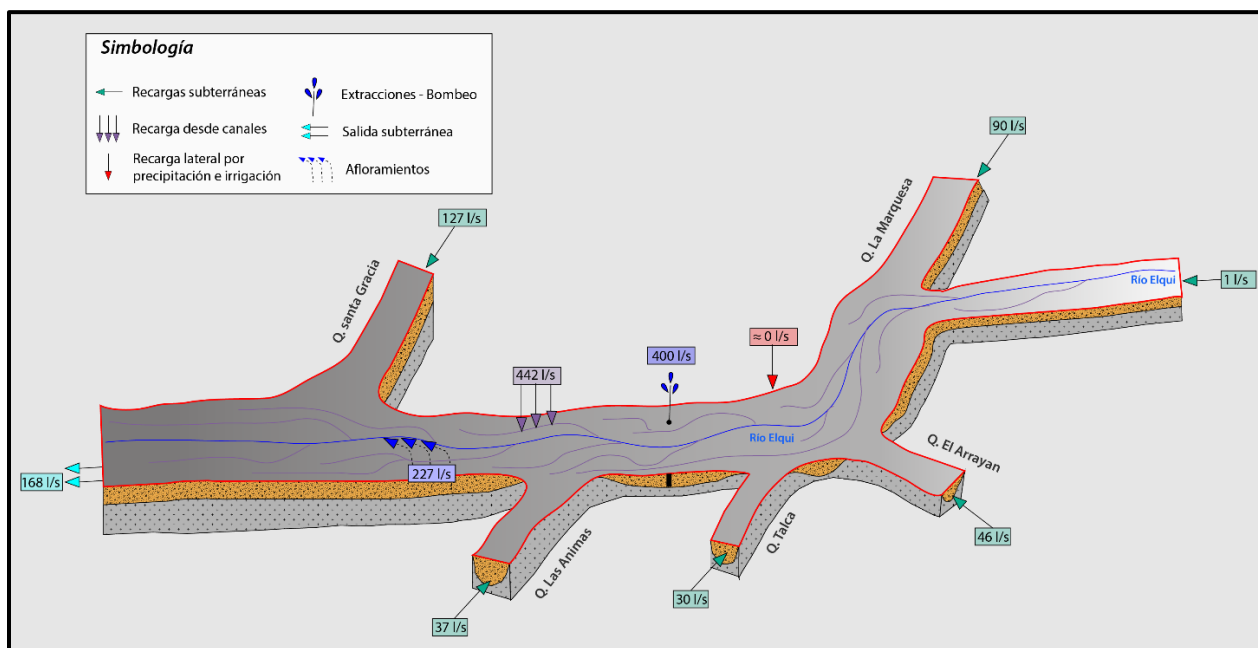


Figura 2.4 Balance hidrológico del acuífero. Fuente: Elaboración Propia.

La calidad del agua del acuífero corresponde al tipo sulfatada cálcica, y aumenta su concentración hacia la costa.

3 PAN DE AZÚCAR - MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO

La cuenca de Pan de azúcar presenta elevaciones máximas del orden de 300 msnm en el margen sureste de la cuenca, y bajos topográficos en los llanos de sedimentación fluvial del orden de 150 metros de altitud, donde se emplaza el acuífero Pan de Azúcar.

El acuífero de Pan de Azúcar estaría emplazado en la unidad geológica Formación La Confluencia (Figura 5.5), siendo su base rocas intrusivas y rocas sedimentarias de la Fm. Arqueros. El acuífero, se extiende desde la localidad de Las Cardas hasta el sur de la localidad de San Ramón y en la cual los niveles estáticos se han medido entre 30-70 m de profundidad. Sobre esta unidad geológica es en la cual se encuentran la mayoría de las captaciones, las cuales en general son de profundidades de entre 70 y 170 m.

La Confluencia está compuesta por conglomerados medios a gruesos en una matriz intersticial de arena muy fina a gruesa, poco consolidados, con intercalaciones de arcillas y limos arenosos, que se interdigitan con los sedimentos marinos de la Fm. Coquimbo, de muy baja permeabilidad.

Para este sistema acuífero, se estiman espesores del orden de 200 m en el tramo San Ramon – El Peñón y del orden de 100 m entre San Ramon y Las Cardas.

Sobre el acuífero de Pan de Azúcar, se desarrolla un acuífero superior, asociado a depósitos aluviales y coluviales no consolidados actuales, dispuesto preferencialmente en los bajos topográficos de los cursos esporádicos de agua superficial que ocurren en periodos de precipitación, con un nivel estático emplazado a 2 a 10 m de profundidad.

Este acuífero superior se subdivide a su vez en dos sistemas, uno de ellos del sector noroeste se desarrolla al oeste de Cerrillos y se drena por el norte por la Quebrada el Culebrón, mientras que el segundo de mayor extensión se desarrolla al sur de El Peñón y drenaría sus aguas al oeste por la Quebrada Lagunillas (Figura 3.1)

Los estratos que constituyen la base del acuífero presentan resistividades superiores a los 70 Ohm-m y el acuífero se asociaría a resistividades entre 5-60 Ohm-m.

Dado que no se ha identificado en las tomografías ni en las columnas estratigráficas un estrato arcilloso que pueda ser interpretada como una unidad continua en extensión, se interpreta al sistema acuífero de pan de azúcar como una unidad sedimentaria gravo arenosa heterogénea con intercalaciones arcillosas que aumentan hacia el norte.

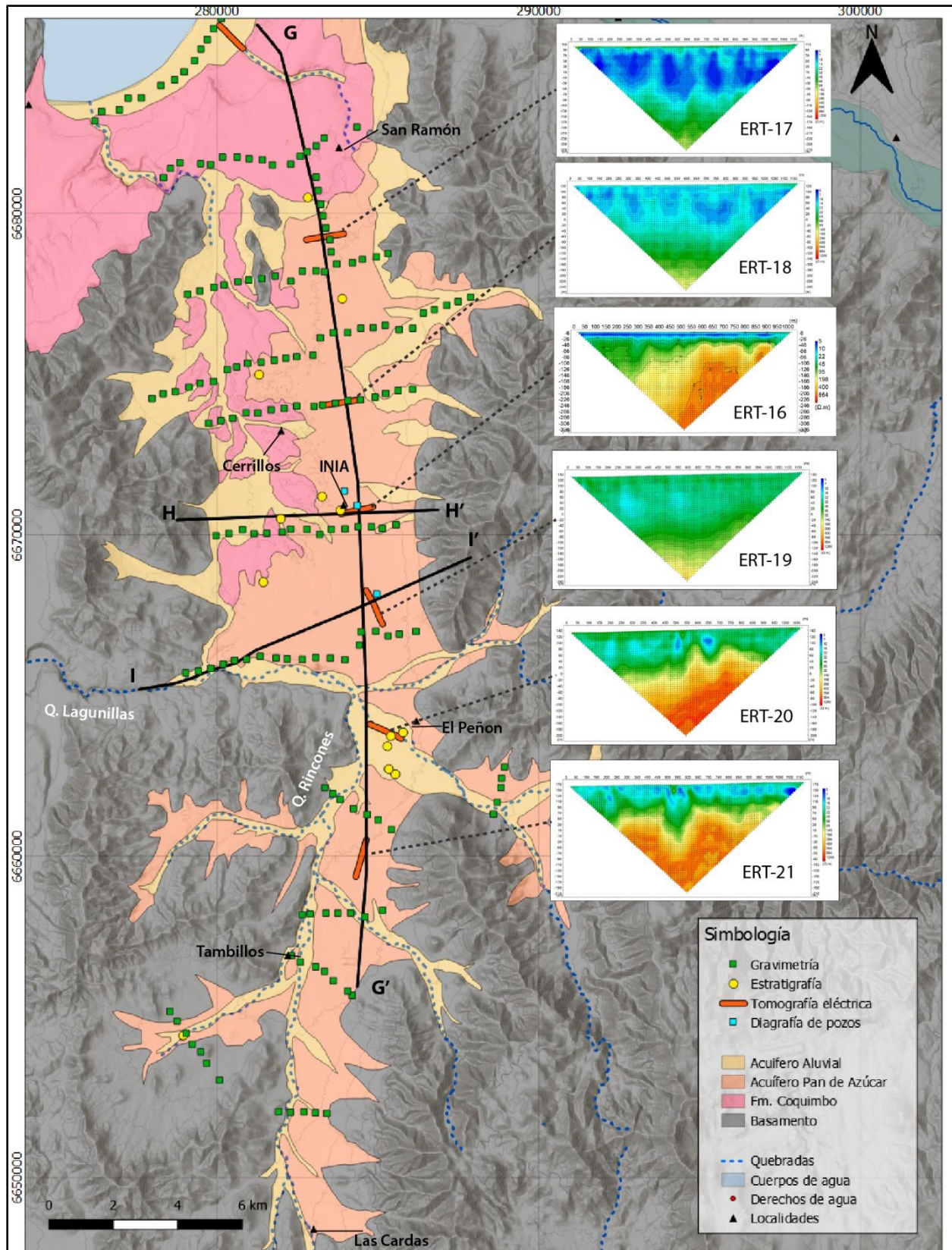


Figura 3.1. Unidades hidrogeológicas y antecedentes estratigráficos y geofísicos utilizados.
Fuente: Elaboración Propia.

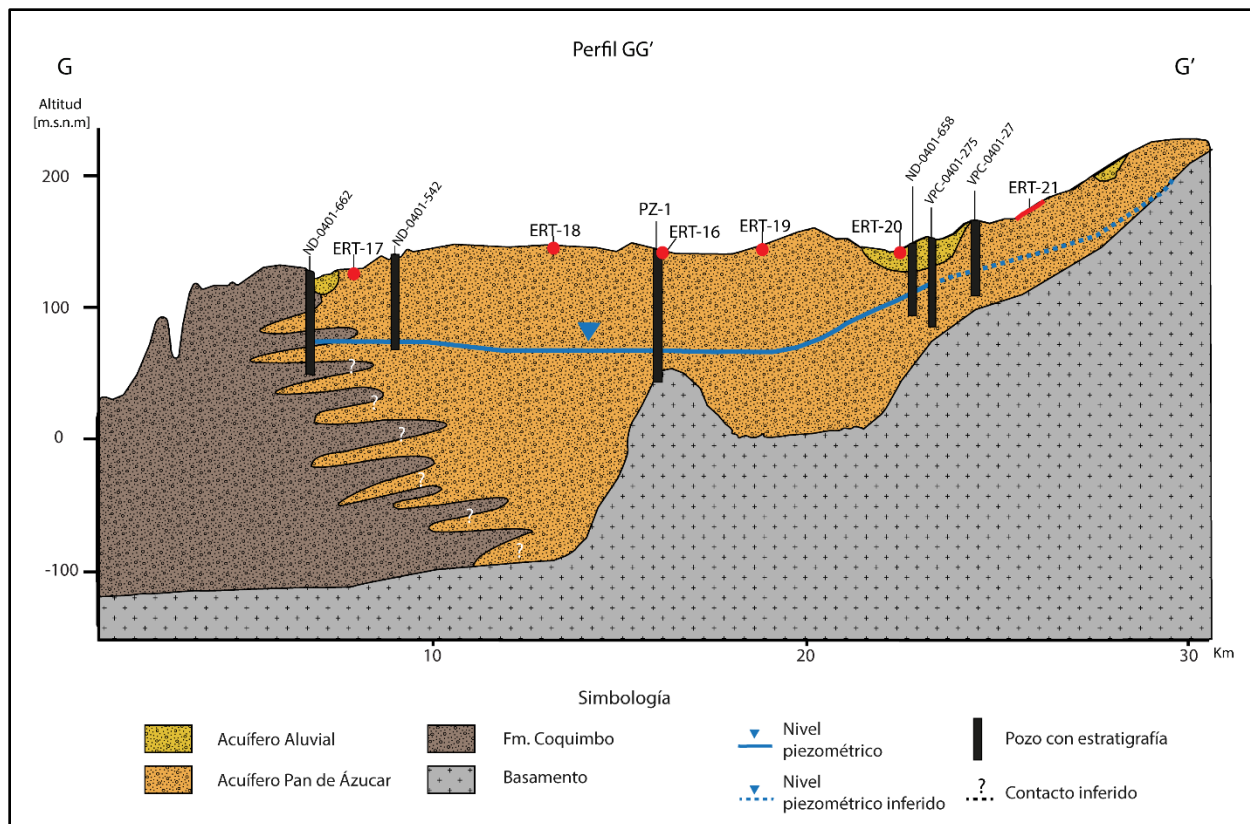


Figura 3.2. Perfil Norte Sur GG'. Elaboración Propia.

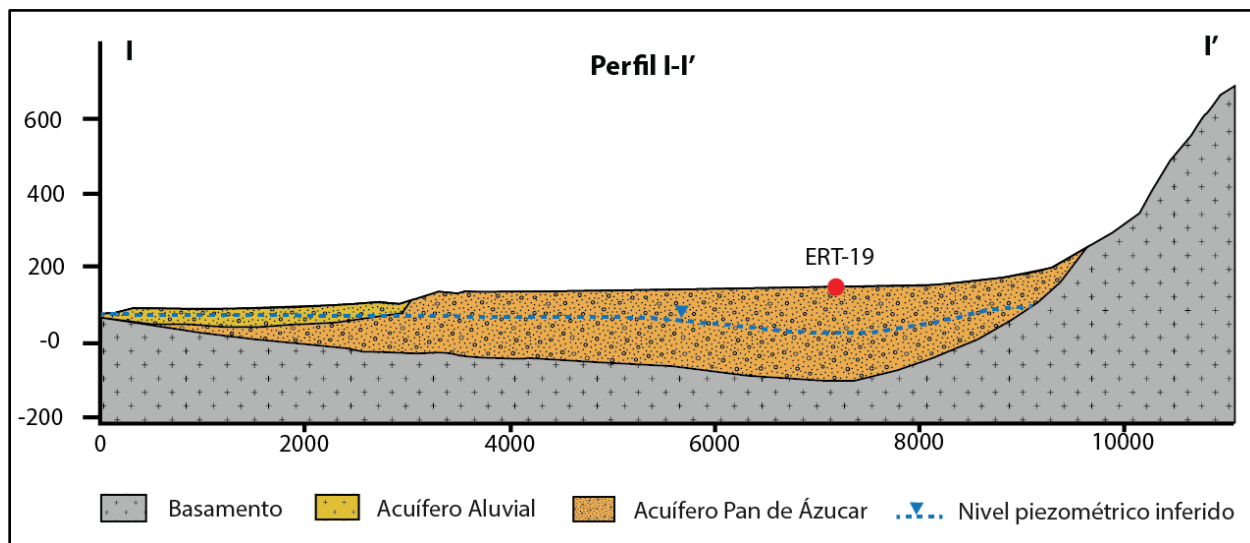


Figura 3.3. perfil I-I'. Elaboración Propia.

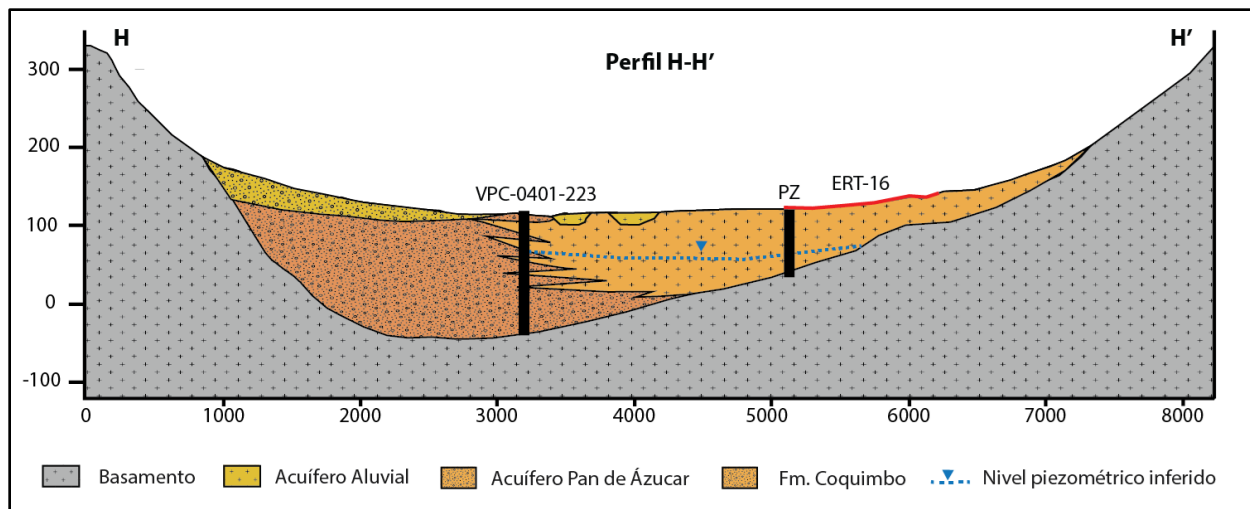


Figura 3.4. perfil H-H'. Elaboración Propia.

Las permeabilidades del acuífero varían en el orden de 1 a 40 m/d, la capacidad de infiltración de lechos de río del orden de 2 a 8 m/d, y la permeabilidad vertical de suelos agrícolas se estimó del orden de 1 m/d.

Actualmente las aguas subterráneas de Pan de Azúcar fluyen hacia los sectores en donde se encuentra una mayor concentración de pozos de bombeo. Desde el norte del acuífero Pan de azúcar, las aguas subterráneas fluyen desde San Ramon hasta el sur de la parcela del INIA, con un bajo gradiente hidráulico de 0.072%, mientras que por el sur, las aguas del acuífero fluyen desde la localidad de Las Cardas hacia el Peñón, con un gradiente hidráulico mayor de entre un 0.3 a 0.8 %.

De acuerdo con los registros históricos de las profundidades de nivel estático de la red de control de la DGA ubicados en el acuífero de Pan de Azúcar, desde el 2000 al 2022, habría ocurrido un descenso del nivel del acuífero de entre 20 a 30 m, con registro máximo en la estación Lo Martínez. Estos antecedentes se presentan al sur del INIA y estarían relacionados principalmente a la extracción del sistema acuífero.

Actualmente (2022) los niveles se encuentran a una cota del orden de 60 a 70 msnm y la superficie piezométrica ya no corta la cota topografía, por lo cual no se identifican afloramientos al suroeste y no es posible validar salidas subsuperficiales. Actualmente los bombeos habrían deprimido los niveles generado conos de descenso cambiando la dirección de los flujo natural de agua subterránea.

En el sector Pan de Azúcar, se identifican tres tipos de aguas subterráneas:

Al sur de El Peñón, corresponden al tipo bicarbonatado cálcico, asociada a la infiltración del agua de lluvia, y de baja salinidad.

Al norte de El Peñón y centro de la cuenca, corresponde al tipo clorurado cálcico y presentan una mayor salinidad. El origen de estas aguas podría asociarse a un proceso intenso de alteración local de recarga en la zona de actividad agrícola en la que el agua de precipitación se evapoconcentra por retención en el suelo y alteración de los minerales del suelo por efecto del CO₂ edáfico. Esto hace que la marca posiblemente de aerosol marino en la precipitación se concentre y en la alteración se adsorba o se absorba Na, y posiblemente también K, en los minerales de alteración a cambio de la mayor movilización de Ca y Mg.

Al extremo norte del sector Pan de Azúcar, las aguas son del tipo sulfatado sódico con una baja concentración de magnesio y cloruros.

El agua superficial en la subcuenca del estero Culebrón, proviene del transvase desde el río Elqui a través del canal Bellavista, para el cual se indican caudales de entre 1000 y 2000 l/s.

Se registra un aumento considerable de los derechos de agua subterránea otorgados a partir del año 2005, pasando del orden de 1000 l/s, a 2500 para el 2013 y 4000 el 2020.

De acuerdo al registro de derechos, el sector de Tambillos en la subcuenca Lagunillas, y entre INIA y El Peñón, se presenta la mayor cantidad de nuevos derechos concedidos a partir del 2011. Muy probablemente este aumento de las extracciones ha generado los descensos característicos registrados en los pozos de control.

Con un monto anual de precipitación media de 90 mm, de acuerdo al área de la cuenca, suponiendo una extracción por bombeo del orden del 25% de los derechos concedidos, y pérdidas por el 30 % en canales, se puede estimar una recarga en torno a los 1400 l/s para el acuífero del estero Culebrón, la cual se vería excedida considerablemente por la descarga al considerar bombeos en torno a la magnitud de los derechos registrados, otros no regularizados y las posibles mejoras de la eficiencia de riego, ya sea del método de riego o el revestimiento de canales.

4 ANÁLISIS DE ZONAS DE INTERÉS DE LA DOH

Las cuatro zonas de interés de la DOH se presentan en la Figura 4.1 y fueron analizadas considerando Ubicación en bienes nacionales de uso público; Radios de protección de los derechos de agua (200 m); Radios de protección de SSR (1000 m); Registro actualizado de niveles y caudales del catastro realizado el año 2022 y caudales de extracción registrados en la DGA

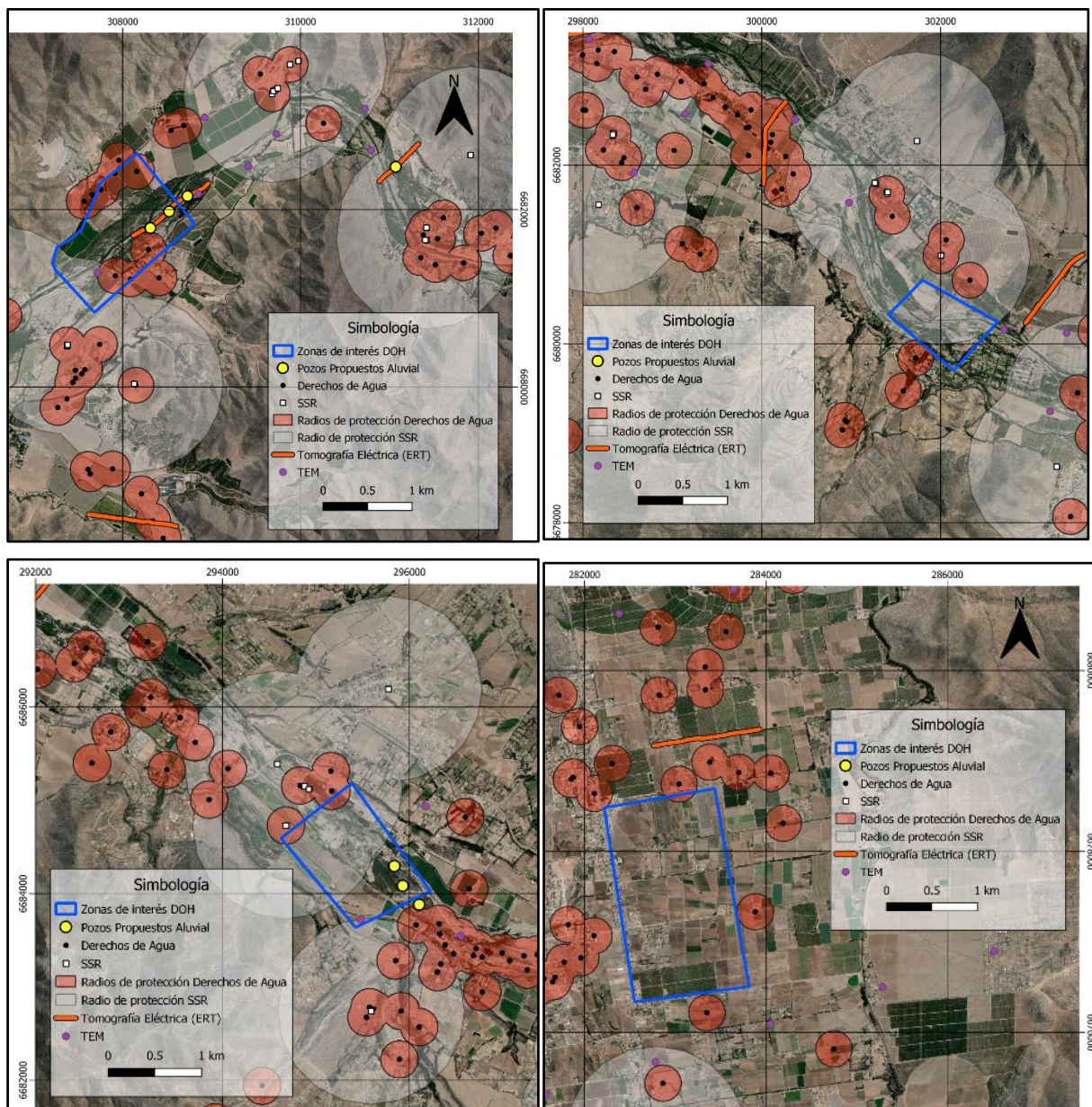


Figura 4.1. Zonas de interés de la DOH. Fuente: Elaboración propia.

4.1 ZONA A

La Zona A se ubica al noreste de la localidad de Pelicana y parte de ella interfiere con los radios de protección de nueve derechos de agua y con los radios de protección de tres SSR's.

Sobre el área disponible para emplazar nuevos derechos y dentro de un BNUP, se realizó la tomografía eléctrica ERT-6, en la cual se identifican dos zonas de interés hidrogeológico y se propusieron nuevas captaciones.

Según el modelo conceptual desarrollado y en consideración de los caudales de extracción catastrados y registrados en la DGA, en la zona A de interés de la DOH, se estiman caudales de extracción de entre 10-20 l/s.

4.2 ZONA B

La Zona B se ubica al sureste de la localidad de Las Roja y se encuentra interfiriendo con un radio de protección de 1000m de un SSR, el área restante de esta zona se encuentra emplazada sobre predio privados, por lo cual no es factible administrativamente realizar una perforación.

4.3 ZONA C

La Zona C se ubica al sureste de la localidad de Altovalsol y parte de ella se encuentra interfiriendo por el poniente, con los radios de protección de tres SSR y dos derechos de agua.

En el entorno de la zona C se cuenta con la información de cuatro TEM y la ERT-11, en los cuales se identifican resistividades del relleno sedimentario, por sobre los 30 ohm- m.

Esto es consistente con las permeabilidades obtenidas en ensayos de bombeo y con los caudales de extracción registrados en la DGA y catastrados en el presente estudio, que rondan entre 10 y 40 l/s, sugiriéndose nuevas captaciones entorno a esta zona.

4.4 ZONA D

La Zona B está emplazada sobre predios privados y administrativamente no es posible la realización de perforaciones.

5 UBICACIÓN OPTIMIZADA DE PERFORACIÓN

En consideración del registro de caudales y niveles del catastro de pozos, de los caudales otorgados por la DGA, que entregan información referencial de los caudales de extracción de las zonas y de los resultados resistivos de las tomografías eléctricas, se han propuesto quince puntos de interés para la extracción de aguas subterráneas, de los cuales once han sido emplazados en el acuífero de Elqui y cuatro en el acuífero de Pan de Azúcar (Tabla 5.1 y Figura 5.1).

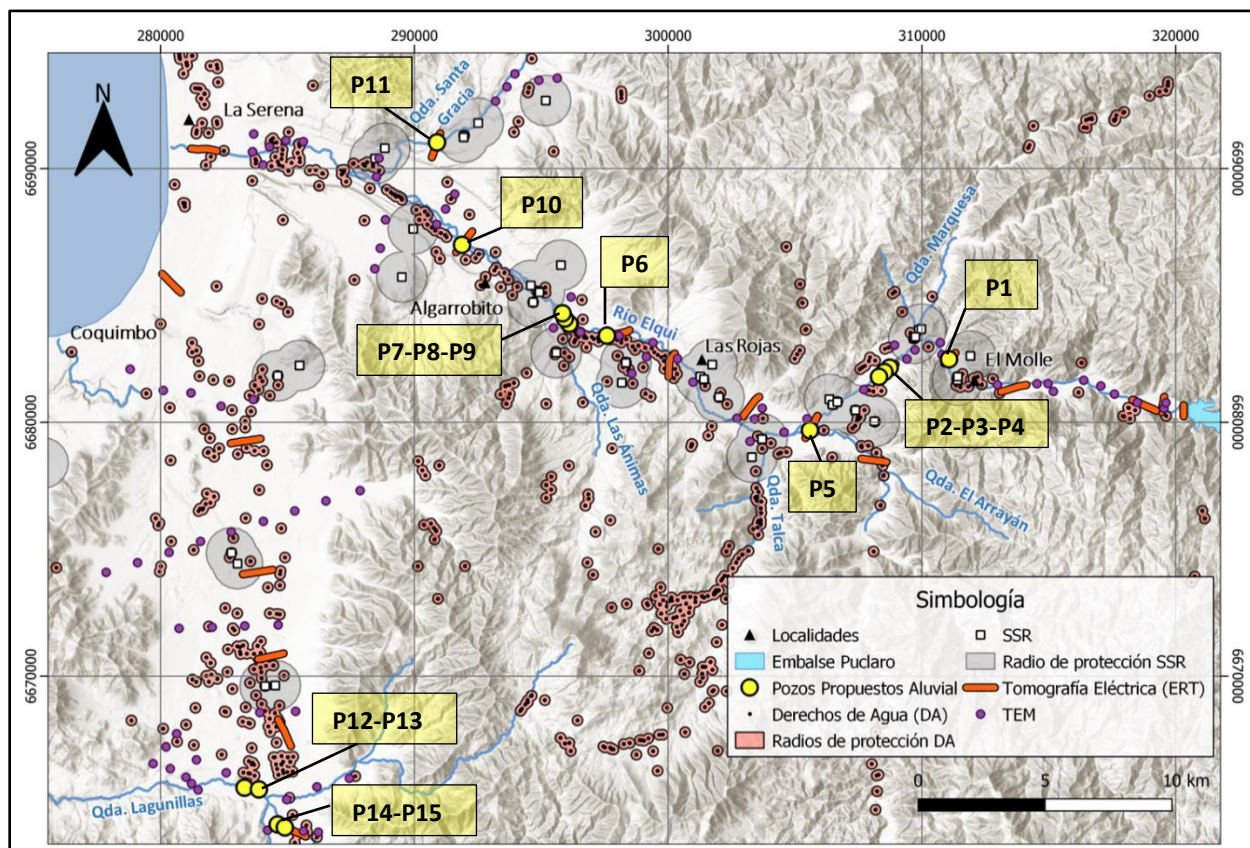


Figura 5.1 Mapa de la ubicación de prospecciones propuestas. Fuente: Elaboración Propia.

Los puntos de perforación propuestos (Figura 5.1) se han emplazado cercanos a canales existentes, en un bien nacional de uso público (BNUP) y fuera de los radios de protección de los derechos de agua subterránea (200 m) y de los APR (1000 m).

Previo a la perforación, se recomienda validar las distancias del punto a derechos subterráneos y pozos cercanos, dado que la proyección de datos con distinto Huso y Datum podría generar errores de entre 17 a 40 m de posicionamiento.

El caudal estimado para los puntos propuestos considera la ubicación optimizada de la perforación y los registros de caudales actualizados en el catastro de pozos.

Tabla 5.1 ubicaciones propuestas. Fuente: Elaboración Propia.

| Nombre | Coordenadas UTM | | Prof. Pozo [m] | Caudal estimado [l/s] |
|---------|-----------------|---------|----------------|-----------------------|
| | Este | Norte | | |
| POZO 1 | 311071 | 6682479 | 100 | ~ 10 l/s |
| POZO 2 | 308729 | 6682150 | 130 | 10 - 20 l/s |
| POZO 3 | 308524 | 6681977 | 120 | 10 - 20 l/s |
| POZO 4 | 308312 | 6681790 | 120 | 10 - 20 l/s |
| POZO 5 | 305607 | 6679675 | 130 | 3-6 l/s |
| POZO 6 | 297589 | 6683413 | 85 | 7-15 l/s |
| POZO 7 | 296102 | 6683987 | 120 | 10 - 40 l/s |
| POZO 8 | 295929 | 6684084 | 120 | 10 - 40 l/s |
| POZO 9 | 295840 | 6684295 | 120 | 10 - 40 l/s |
| POZO 10 | 291921 | 6687023 | 75 | 2-10 l/s |
| POZO 11 | 290893 | 6691029 | 100 | Indeterminado |
| POZO 12 | 283304 | 6665596 | 100 | 2-10 l/s |
| POZO 13 | 283871 | 6665528 | 120 | 2-10 l/s |
| POZO 14 | 284613 | 6664149 | 100 | 2-10 l/s |
| POZO 15 | 284893 | 6664031 | 120 | 2-10 l/s |

Dado los caudales estimados y la similitud en las características estratigráficas, se sugiere perforar en un diámetro externo de 12" y habilitación en diámetro de 8", mediante método de circulación con polímeros biodegradable, no bentoníticos.

Para evitar arrastres de sedimentos hacia el interior del pozo y una posible colmatación de las cribas, es relevante considerar la selección del macizo de gravas, la ubicación de las rejillas y su apertura de ranura en función de la granulometría del estrato acuífero.

Dado lo anterior, se recomienda efectuar un muestreo del cutting, que sea representativo, realizándose ensayos granulométricos en los tramos de interés.

A continuación, se presenta una ficha resumen de las características hidrogeológicas y constructivas de cada punto propuesto.

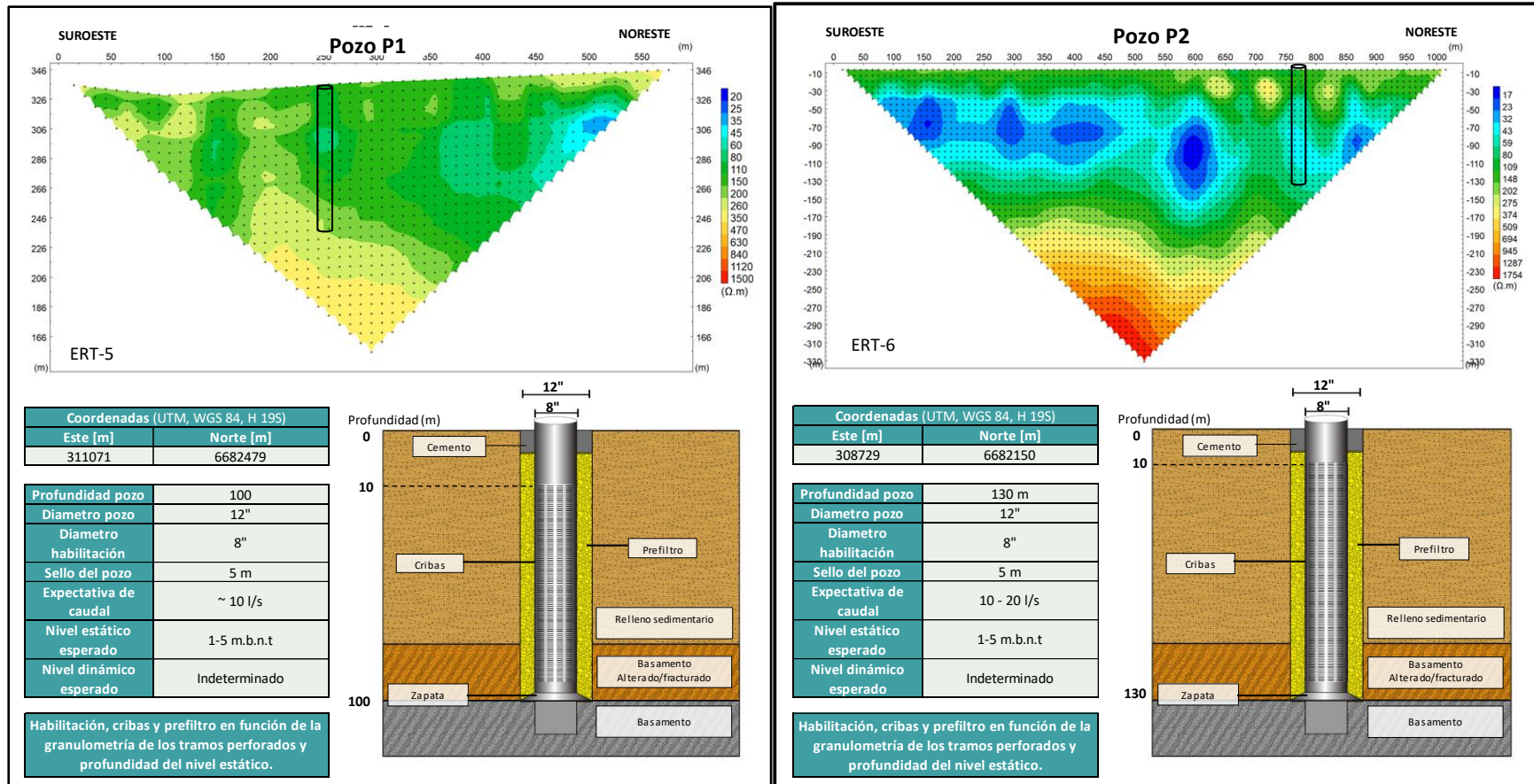


Figura 5.2 Ficha resumen de los pozos propuestos P1 y P2. Fuente: Elaboración propia.

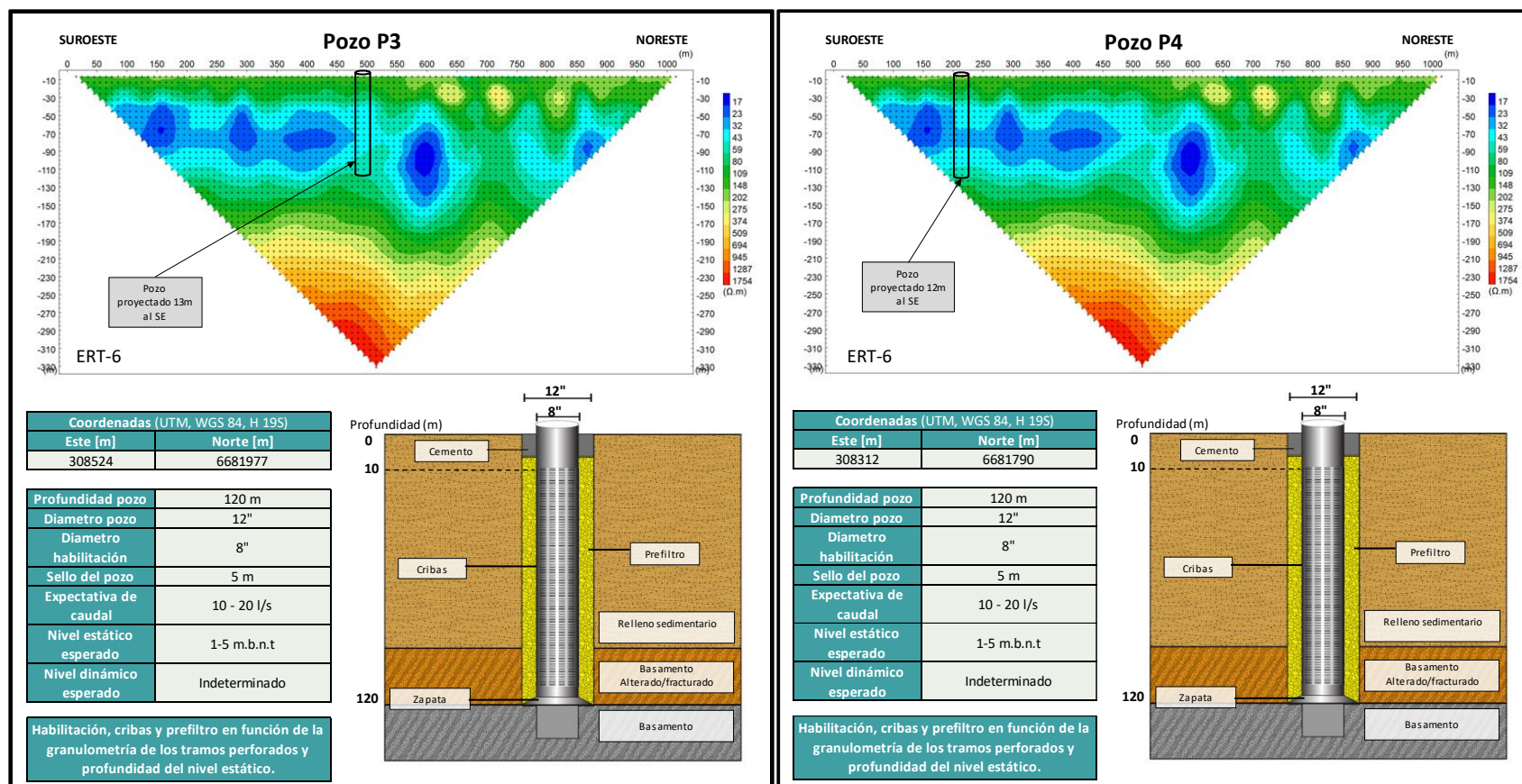


Figura 5.3 Ficha resumen de los pozos propuestos P3 y P4. Fuente: Elaboración propia.

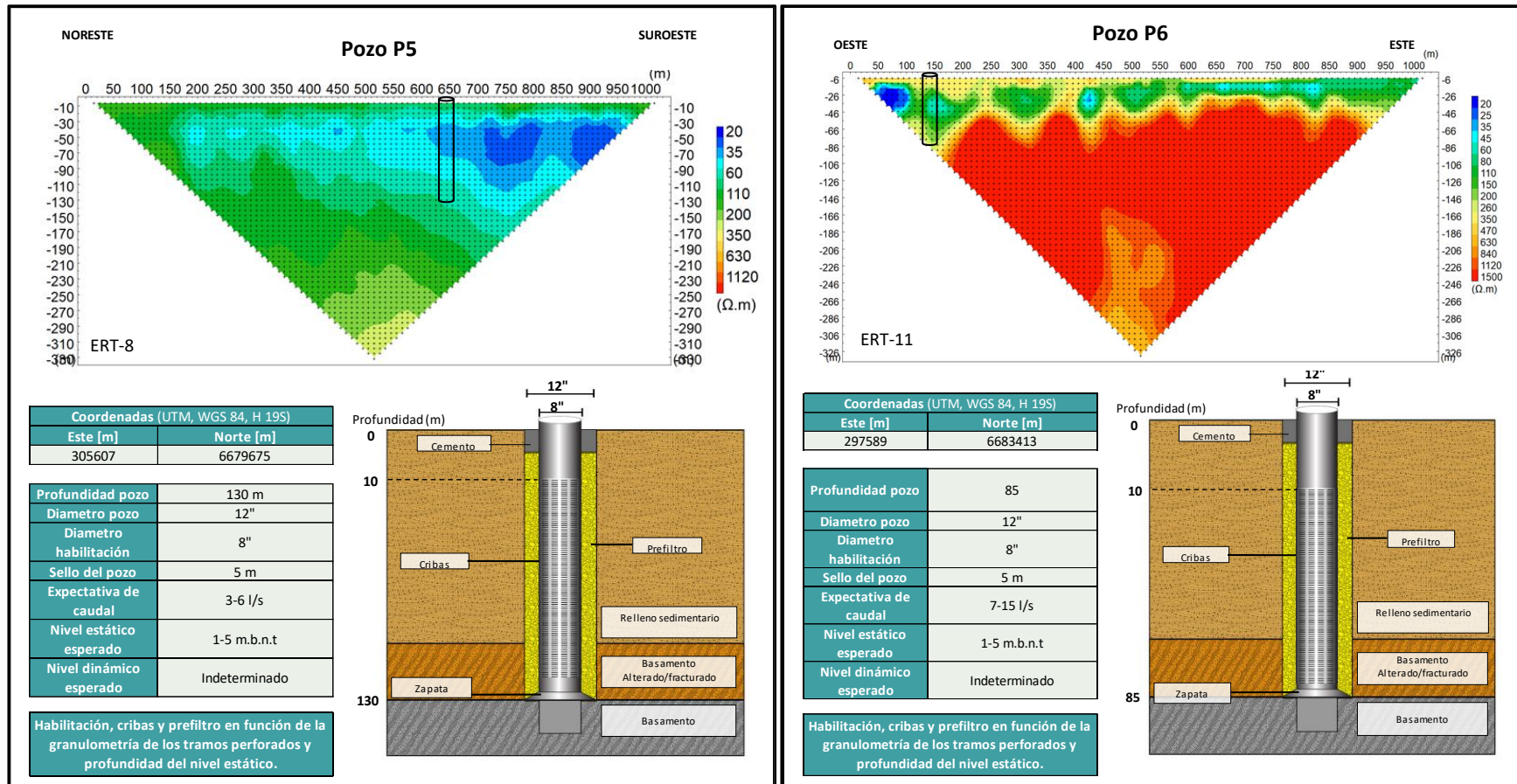


Figura 5.4 Ficha resumen de los pozos propuestos P5 y P6. Fuente: Elaboración propia.

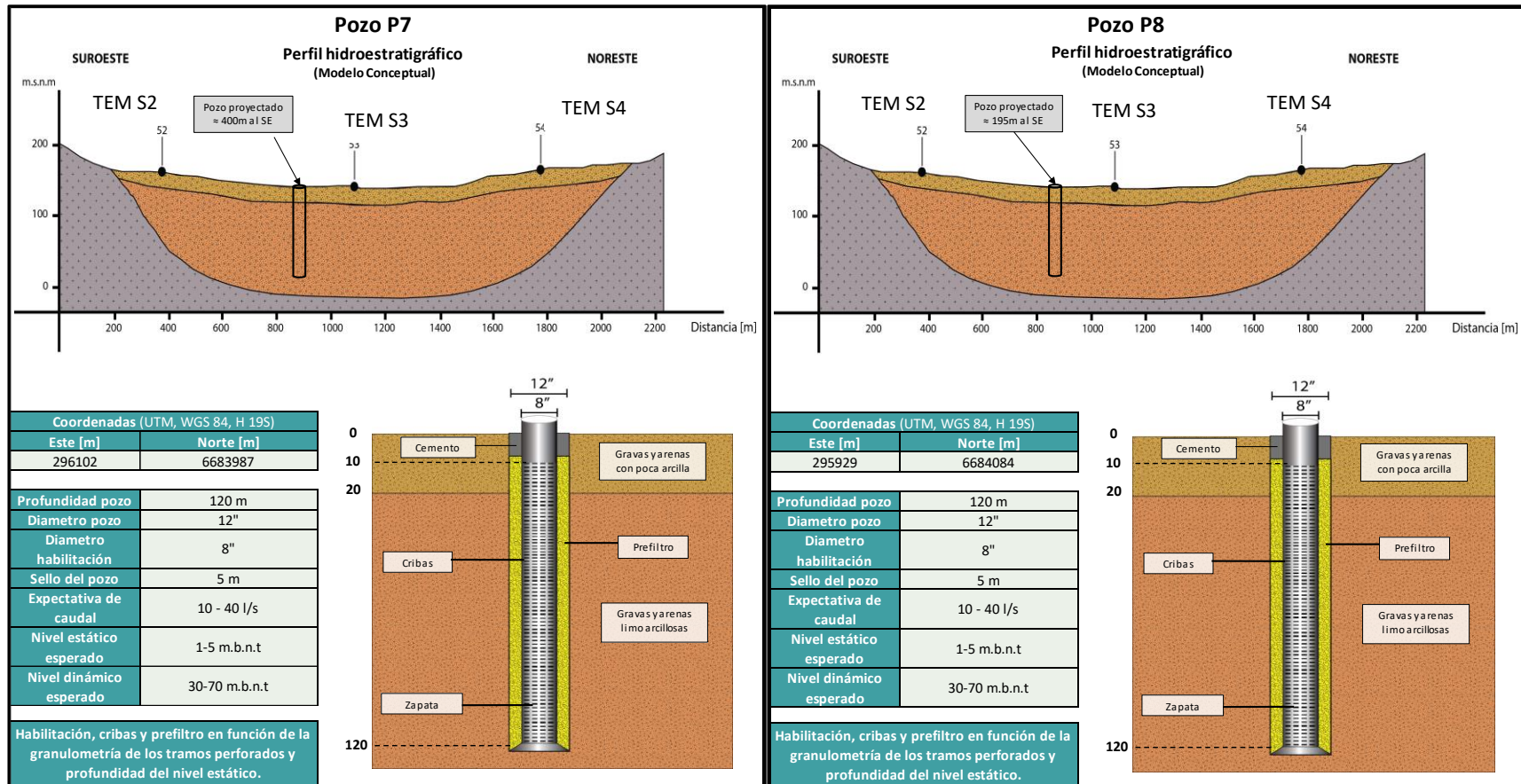


Figura 5.5 Ficha resumen de los pozos propuestos P7 y P8. Fuente: Elaboración propia.

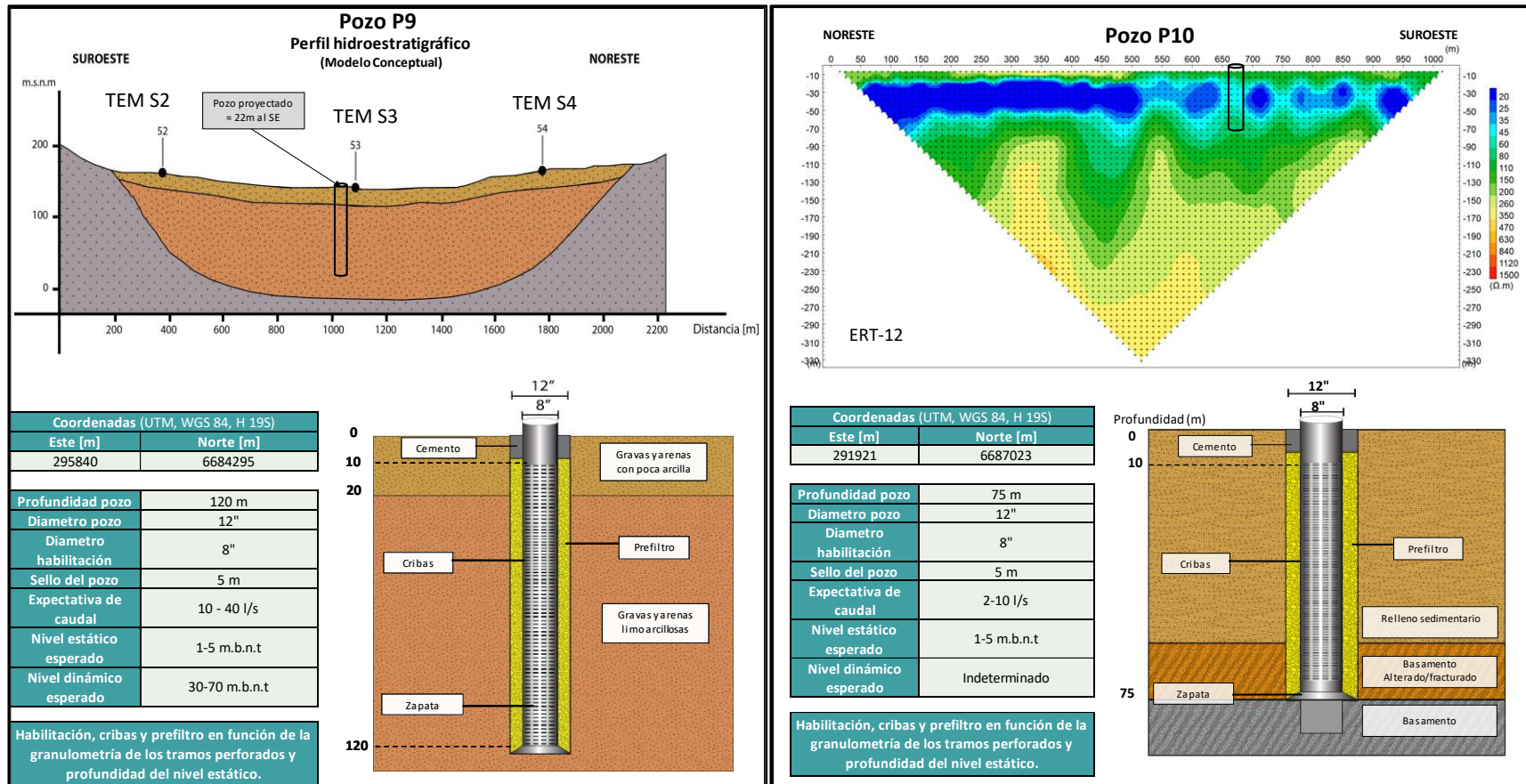


Figura 5.6 Ficha resumen de los pozos propuestos P9 y P10. Fuente: Elaboración propia.

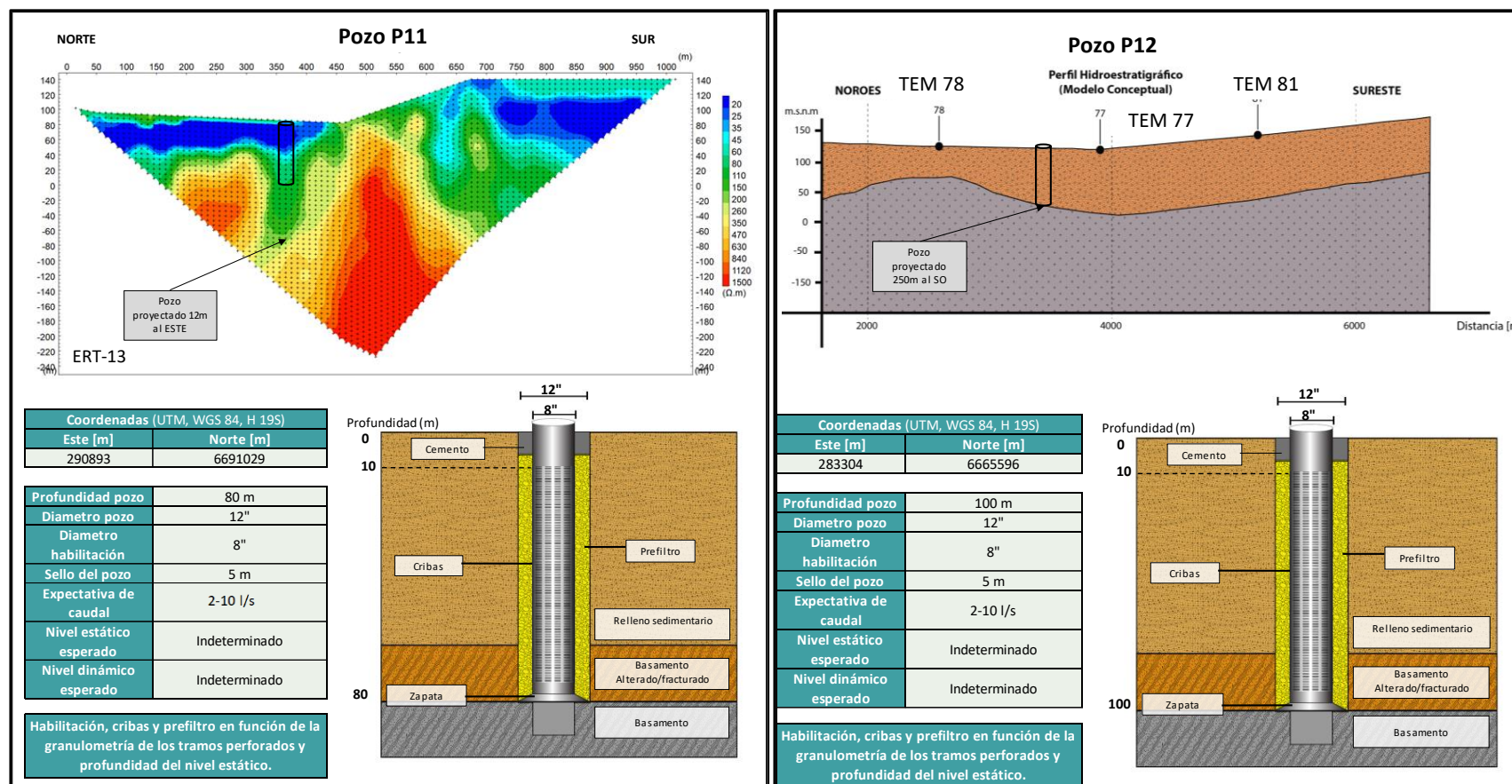


Figura 5.7 Ficha resumen de los pozos propuestos P11 y P12. Fuente: Elaboración propia.

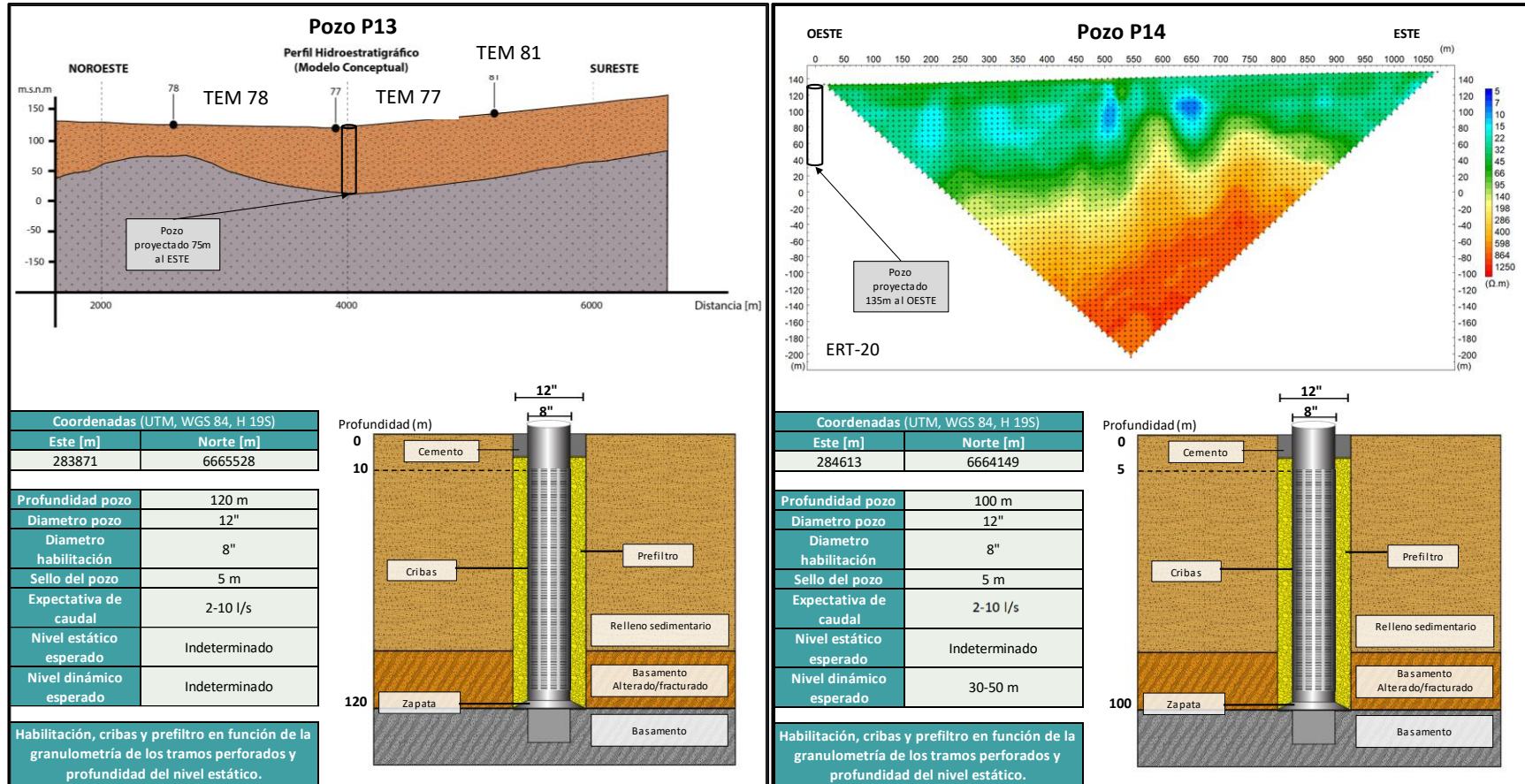


Figura 5.8 Ficha resumen de los pozos propuestos P13 y P14. Fuente: Elaboración propia.

6 ACTUALIZACIÓN MODELO NUMÉRICO

Con el objetivo de evaluar los caudales de extracción de las nuevas captaciones propuestas, los efectos en el sistema acuífero del río Elqui y su sustentabilidad en el tiempo, se ha desarrollado un modelo numérico de flujo a escala regional con el código de diferencias finitas MODFLOW, en su interfaz VISUAL MODFLOW.

El modelo numérico se ha calibrado en coherencia con la geometría del acuífero determinada en el modelo conceptual, los parámetros hidráulicos determinados en los ensayos de bombeo y asumiendo propiedades equivalentes en la vertical. Así mismo se destaca la coherencia del balance hídrico del modelo numérico con el conceptual.

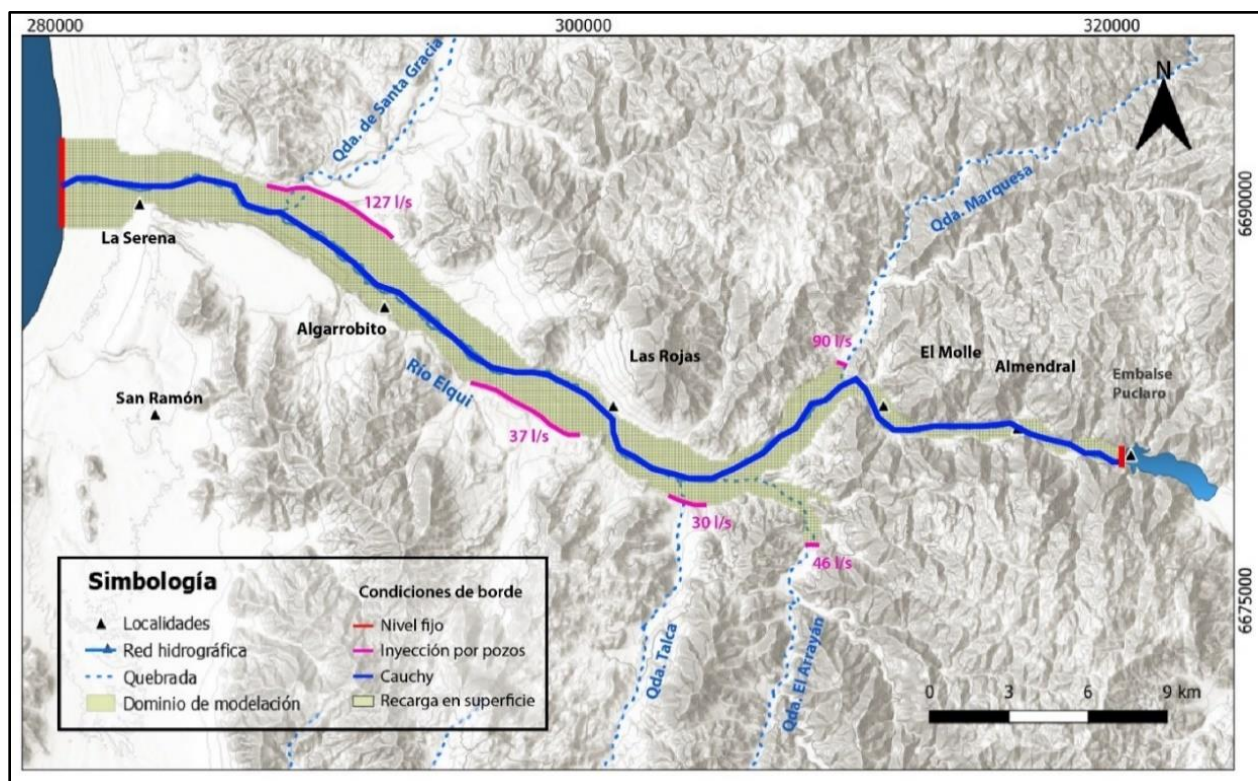


Figura 6.1 Dominio de modelación, malla diferencias finitas y condiciones de borde del modelo numérico. Fuente: Elaboración Propia.

El dominio de interés corresponde al relleno sedimentario del río Elqui que se desarrolla desde aguas abajo del embalse Puclaro hasta la desembocadura en el mar, y bajo el cual se ubica una unidad de baja permeabilidad, considerada como basamento. El acuífero se ha discretizado en

una capa, con su respectiva zonificación de propiedades hidráulicas equivalentes que lo caracterizan.

De acuerdo con el modelo conceptual y el balance hídrico desarrollado se reproducen los niveles observados en el acuífero y se realiza una calibración en condiciones permanentes para estimar las conductividades hidráulicas características del sistema y una condición inicial representativa para el año 2000. Las conductividades hidráulicas calibradas se encuentran en el orden de magnitud de lo estimado en los ensayos de bombeo y antecedentes, representando una permeabilidad equivalente para todo el espesor del relleno.

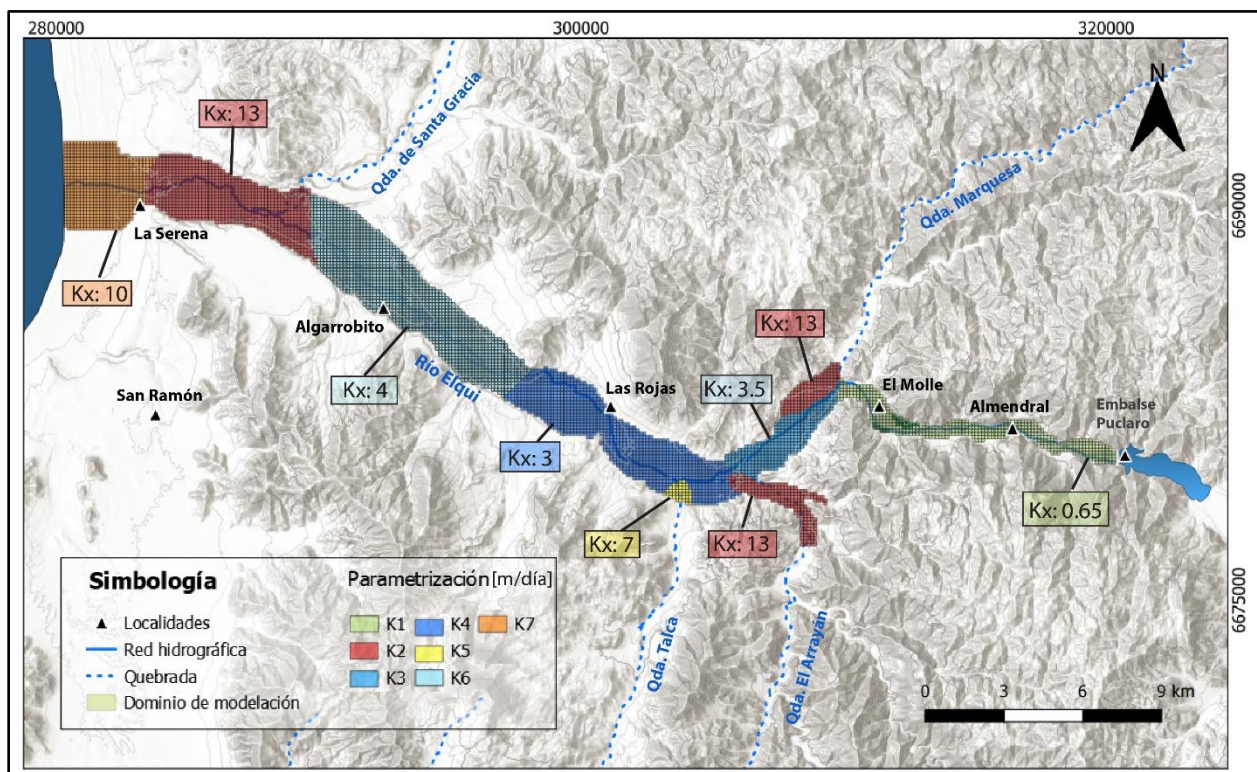


Figura 6.2 Conductividades hidráulicas calibradas en estado permanente. Fuente: Elaboración propia.

Luego a partir del estado permanente alcanzado, se considera una recarga distribuida en el tiempo y espacio de acuerdo a la presentada en el balance hidrogeológico conceptual para evaluar la variación de niveles en el tiempo y el coeficiente de almacenamiento (S). Se calibró S, con un valor $1e-5$ 1/m para el total del dominio, siendo del mismo orden de magnitud que el obtenido a partir de las pruebas de bombeo de pozos profundos.

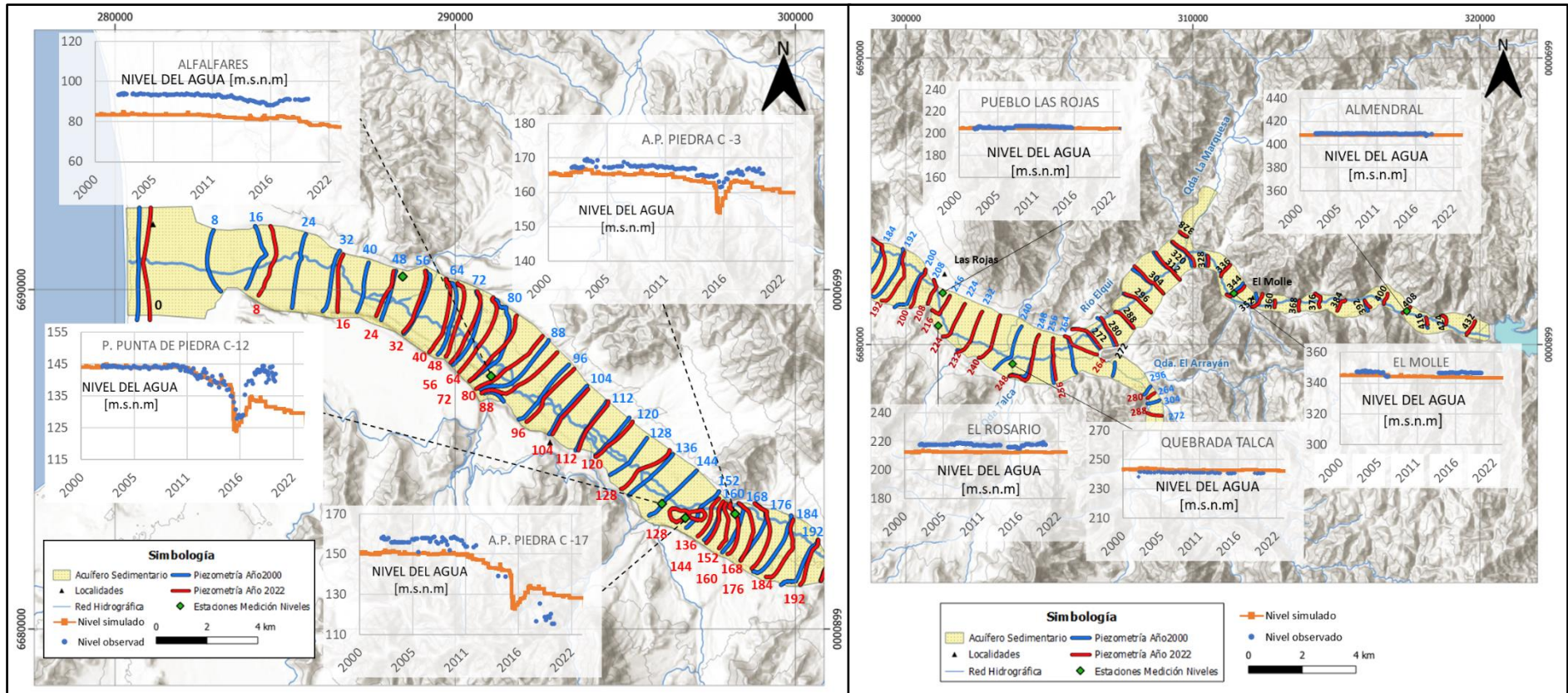


Figura 6.3. Niveles observados y simulados en el tiempo, y piezometría estimada para los años 2000 y 2022, sección oeste. Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente se simula la extracción de las captaciones profundas propuestas y que fueron ubicadas en el dominio de modelación, evaluando la capacidad de extracción y los efectos en la piezometría y balance del sistema.

En esta simulación, se consideran las 10 extracciones propuestas que se encuentran dentro del dominio del modelo, considerando un año de bombeo continuo por 15 l/s desde cada una, alcanzándose un estado permanente.

Los descensos adicionales producidos por las captaciones en el sistema se han estimado en un radio del orden de 500 - 1000 m, con una magnitud de 25 cm. En un radio de 300 m, los descensos no superan 1 m.

Los resultados indican que a los 1 y 2 días continuos de bombeo el 82 y 90 % del agua proviene desde el río respectivamente, alcanzándose un 100 % de interferencia luego de los 20 días de bombeo. El agua extraída desde las captaciones propuestas se traduce en que el mismo caudal deja de aflorar por el río al mediano largo plazo, así los bombeos afectarán la escorrentía superficial.

Una extracción sustentable para el sistema río acuífero y los usuarios de la cuenca no debiera superar el caudal portante real del río, estando coordinada con el manejo superficial del recurso.

Para la captación 11 propuesta en quebrada De Santa Gracia, con un caudal de extracción de 15 l/s, se puede considerar que reduciría en esta misma cantidad el caudal pasante al acuífero del río Elqui, el cual se ha estimado en el orden de 120 l/s.

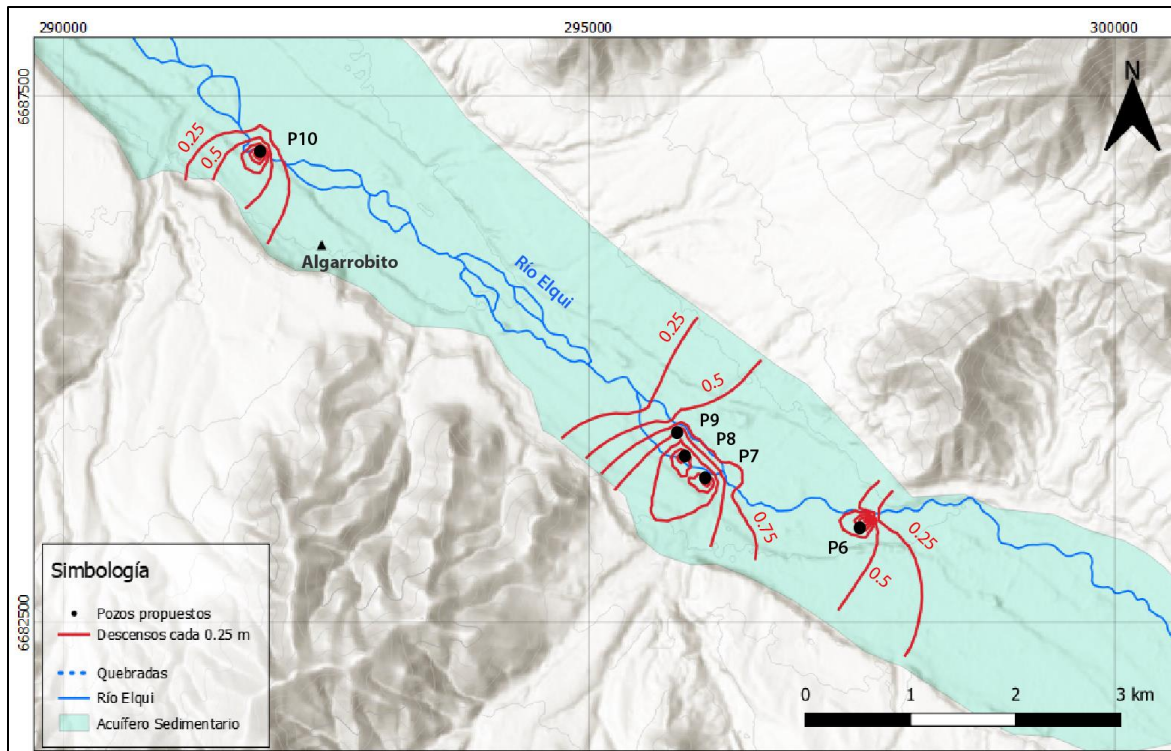


Figura 6.4. Descensos calculados para los pozos de extracción P-1, P2, P3, P4 y P5 propuestos.
Fuente: Elaboración propia.

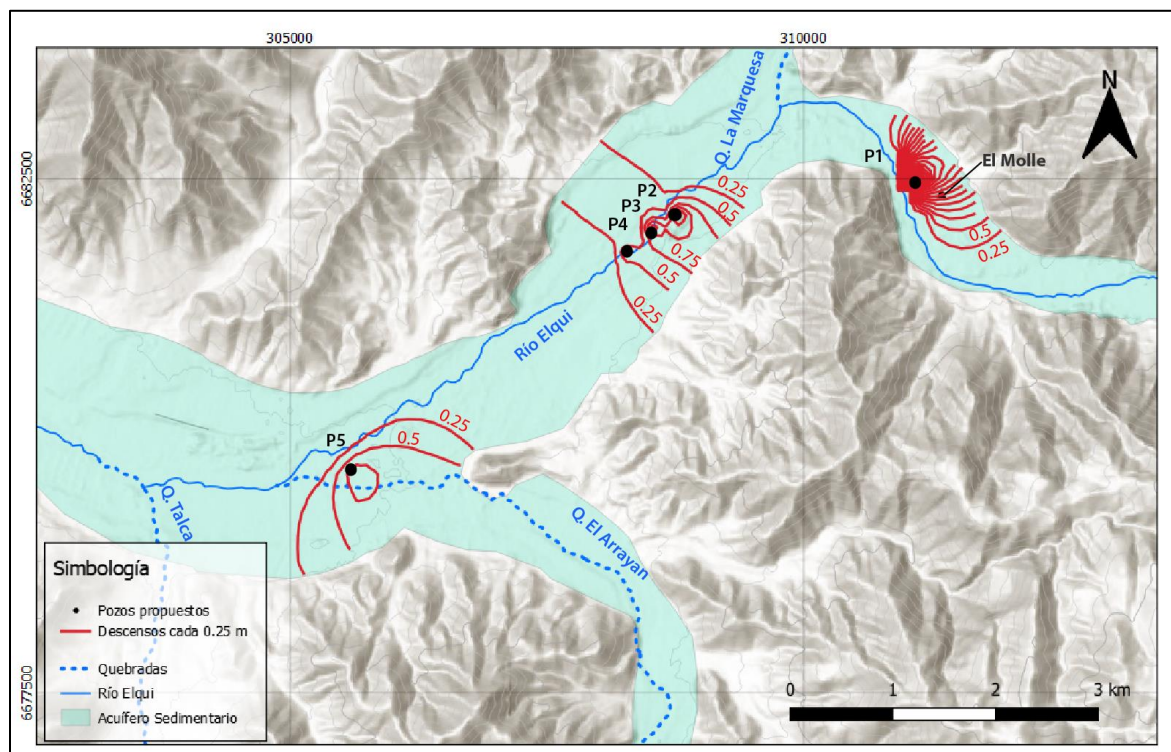


Figura 6.5. Descensos calculados para los pozos de extracción P-1, P2, P3, P4 y P5 propuestos.
Fuente: Elaboración propia.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema hidrogeológico de Elqui Bajo y Pan de Azúcar han sido caracterizados conceptualmente a partir de antecedentes y de nueva información levantada en terreno: perfiles geofísicos ERT, diagráfias Gamma Natural, pruebas de bombeo, catastro de captaciones, y ensayos de infiltración.

Luego en el caso de Elqui, se ha desarrollado un nuevo modelo numérico de flujo, validándolo en sus componentes, hidroestratigrafía, hidrodinámica, parámetros hidráulicos, y balance hídrico, para evaluar el efecto y sustentabilidad de implementar 10 nuevas extracciones de agua subterránea.

Del análisis hidrogeológico de la Cuenca de Elqui Bajo y del sector de Pan de Azúcar, se han propuesto 15 perforaciones para la extracción de agua subterránea, de las cuales 11 se encuentran en Elqui y 4 en el sector de Pan de Azúcar.

Cabe destacar que, en el acuífero de Pan de Azúcar, no es sustentable continuar con la programación de extracciones, dado que la actual sobreexplotación del acuífero genera pérdidas en el almacenamiento que han generado descensos de 2 m/año en el sistema subterráneo.

Las extracciones propuestas en Elqui fueron simuladas numéricamente e indican que con un caudal de bombeo continuo de 15 l/s cada una, se generan descensos en torno a los 0.25 m en un radio de entre 500 y 1000 m de la zona de extracción.

Al mediano-largo plazo (luego de 20 días) el total de la extracción genera una disminución de los caudales superficiales que es igual al bombeo simulado. Existiendo una dependencia del potencial de los pozos con el curso superficial del Río Elqui. En caso de no existir caudal en el río los pozos comenzaran a extraer desde el almacenamiento del acuífero lo cual no se considera sustentable.