



02800

CNR-0383_v2

ESTUDIO BÁSICO ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE, VI REGIÓN

RESUMEN EJECUTIVO

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2014



ESTUDIO BÁSICO ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE, VI REGIÓN

RESUMEN EJECUTIVO

SANTIAGO, DICIEMBRE 2014





COMISION NACIONAL DE RIEGO

Secretario Ejecutivo

Sr. Patricio Grez Marchant

Jefe División de Estudios, Desarrollo y Políticas

Sra. María Loreto Mery Castro

Coordinador Técnico

Sr. Guillermo Piñones Aguilera

CON POTENCIAL CONSULTORES

Jefe de Proyecto

Alejandro Arenas H.

Profesionales

Juan Torres C.

Alejandro de la Barra R.

Carlos Faundes A.

Marco Matamala C.

Macarena Bustamante A.

Fernando Valdés H.

Juan Carlos Richard C.

Diego Soza Z.

Rodrigo Arenas H.

Alberto Arenas H.



ÍNDICE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	Generalidades.....	4
1.2	Objetivo del Estudio.....	4
1.2.1	Objetivo General.....	4
1.3	Localización Geográfica	5
2	ZONAS POTENCIALES DE RECARGA ARTIFICIAL	7
2.1	Generalidades.....	7
2.2	Definición de Zonas Potenciales de Recarga Artificial	7
3	TRABAJOS REALIZADOS EN TERRENO.....	11
3.1	Registro de Niveles de Agua Subterránea	11
3.1.1	Introducción.....	11
3.1.2	Selección de Pozos	11
3.1.3	Desarrollo.....	12
3.2	Caracterización Litológica de Eventuales Puntos de Recarga	17
3.2.1	Actividades Realizadas.....	17
3.2.2	Litología de las Calicatas Excavadas	18
3.3	Ensayos de Infiltración	20

3.4	Calidad de las Aguas.....	21
4	CAMBIOS EN LA CONCEPCIÓN ORIGINAL DEL PROYECTO.....	24
4.1	Diseño y Metodología del Nuevo Piloto Propuesto.....	25
5	EJECUCIÓN DEL PROYECTO Balsa Estero Las Cadenas.....	27
5.1	Construcción de Obras Civiles.....	27
5.2	Construcción y Habilitación de Pozos de Monitoreo.....	28
5.3	Mediciones de Nivel Freático en Red de Monitoreo.....	31
6	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	34
6.1	Variación Niveles de Caudal/Precipitaciones	34
6.2	Variación Niveles Freáticos.....	35
6.3	Volumen de Recarga	39
6.4	Transmisividad y Conductividad Hidráulica.....	40
6.4.1	Transmisividad	40
6.4.2	Conductividad Hidráulica	41
6.5	Caudal Infiltrado	42
7	INFORME DESMANTELAMIENTO MURO CADENAS	43
7.1	Desmantelamiento Muro Cadenas	43
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
8.1	Conclusiones	44

8.2	Recomendaciones.....	46
9	REFERENCIAS	47

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

El presente reporte corresponde al Informe del estudio Análisis Alternativas Piloto Recarga Artificial Marchigüe.

La Comisión Nacional de Riego (CNR), a partir de un diagnóstico nacional, reconoció la necesidad de innovar para aprovechar más eficientemente nuestros recursos hídricos, a través de la creación de un Plan de Infiltración de Napas Subterráneas, complementario al Plan Nacional de Embalses.

El objetivo de proyectos piloto de infiltración de napas subterráneas es investigar la recarga artificial de acuíferos mediante sistema de lagunas o pozos de infiltración, a fin de mejorar la disponibilidad del agua. Fruto de esta política, la CNR está realizando iniciativas pioneras en Chile, y recientemente ha inaugurado la primera experiencia piloto de recarga artificial en el acuífero de La Ligua-Petorca, con una capacidad de infiltración de 9.000 (m³/día).

Atendiendo al objetivo del Plan de Infiltración de Napas Subterráneas, la CNR ha asignado a **Con Potencial Consultores**, mediante un proceso de licitación, el desarrollo del estudio denominado "ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE", correspondiendo el presente reporte al Informe Final del estudio en desarrollo.

1.2 Objetivo del Estudio

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un estudio para la recarga artificial del acuífero Las Cadenas-Marchigüe, desarrollando una metodología para identificar las posibles zonas de

recarga y realizar dos proyectos piloto de recarga artificial de sus acuíferos (PPRAA).

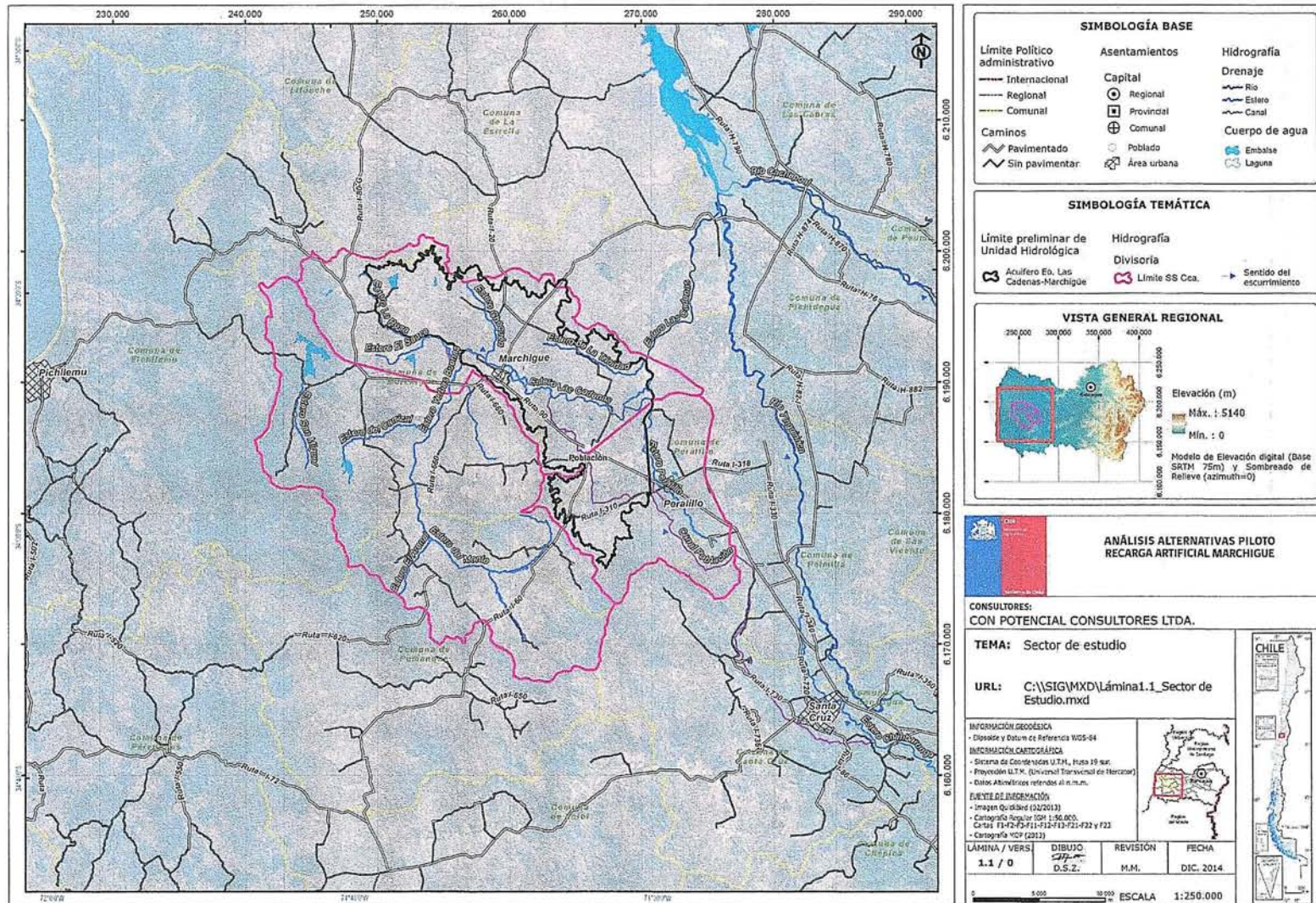
1.3 Localización Geográfica

El área de estudio se ubica en las comunas de Marchigüe (provincia de Cardenal Caro) y Peralillo (provincia de Colchagua), en la Región de O'Higgins. Corresponde al acuífero Marchigüe – Las Cadenas, definido por la DGA.

La zona en estudio se emplaza en el Valle del Río Tinguiririca, y el acuífero corresponde al relleno asociado al estero Las Cadenas entre los esteros La Rosa y Peralillo, más el relleno asociado al estero Trinidad.

En Lámina 1.1 se presenta la zona en estudio y las cuencas hidrográficas que la incluyen.

Lámina 1.1: Sector del Estudio.



2 ZONAS POTENCIALES DE RECARGA ARTIFICIAL

2.1 Generalidades

La recarga artificial de acuíferos se puede realizar, en principio, en cualquier tipo de formación permeable que tenga condiciones para almacenar y transmitir agua. Ahora bien, no todos los acuíferos son adecuados para realizar una recarga artificial. La efectividad de la misma está estrechamente ligada a las características hidrogeológicas, hidrodinámicas y de almacenamiento del acuífero receptor, así como al régimen de explotación al que se encuentra sometido.

Con toda la información recopilada en el presente estudio (hidrológica, hidrogeológica, topográfica, disponibilidad de terreno, etc.), se propusieron puntos aptos para la recarga del acuífero dentro del sector del estudio. En un principio se propondría alternativas para los dos sistemas de recarga a ejecutar, pero debido a justificaciones técnicas, la filosofía del proyecto cambia para quedar finalmente en un solo piloto, utilizando la caja del estero Las Cadenas (en el sector de Demasías) como una megabalsa de infiltración:

2.2 Definición de Zonas Potenciales de Recarga Artificial

Se solicitó a la DGA la información estratigráfica y de pruebas de bombeo de todos los pozos con derechos de agua constituidos en el área del estudio. Esa información permitió establecer un modelo hidrogeológico conceptual, que entrega antecedentes relevantes para definir áreas en que sean viables las balsas o pozos de infiltración.

La información disponible señala que en gran parte del área del estudio no se dan las condiciones necesarias para la construcción de una balsa de infiltración, pues el estrato superficial está formado por material de baja a muy baja permeabilidad

con un espesor superior a 4,0 (m), incompatible con la profundidad a excavar en caso de construir una balsa, del orden de 1,0 (m).

Sin embargo, se detectaron varios pozos en que esta condición no se cumple, es decir, que sería posible construir una balsa de infiltración. Estos sectores son:

- a) Las Cadenas
- b) Chequén
- c) Los Maitenes

De los sectores mencionados, Las Cadenas representa el de mayor interés, debido al respaldo hidrológico del estero del mismo nombre. Por el contrario, los esteros Chequén y Trinidad poseen una cuenca mucho más pequeña que la de Las Cadenas. En la Tabla 2.1 se muestran los valores de caudales estimados para esos puntos, mediante transposición de áreas.

Tabla 2.1: Caudales Estimados para los Sectores de Estudio.

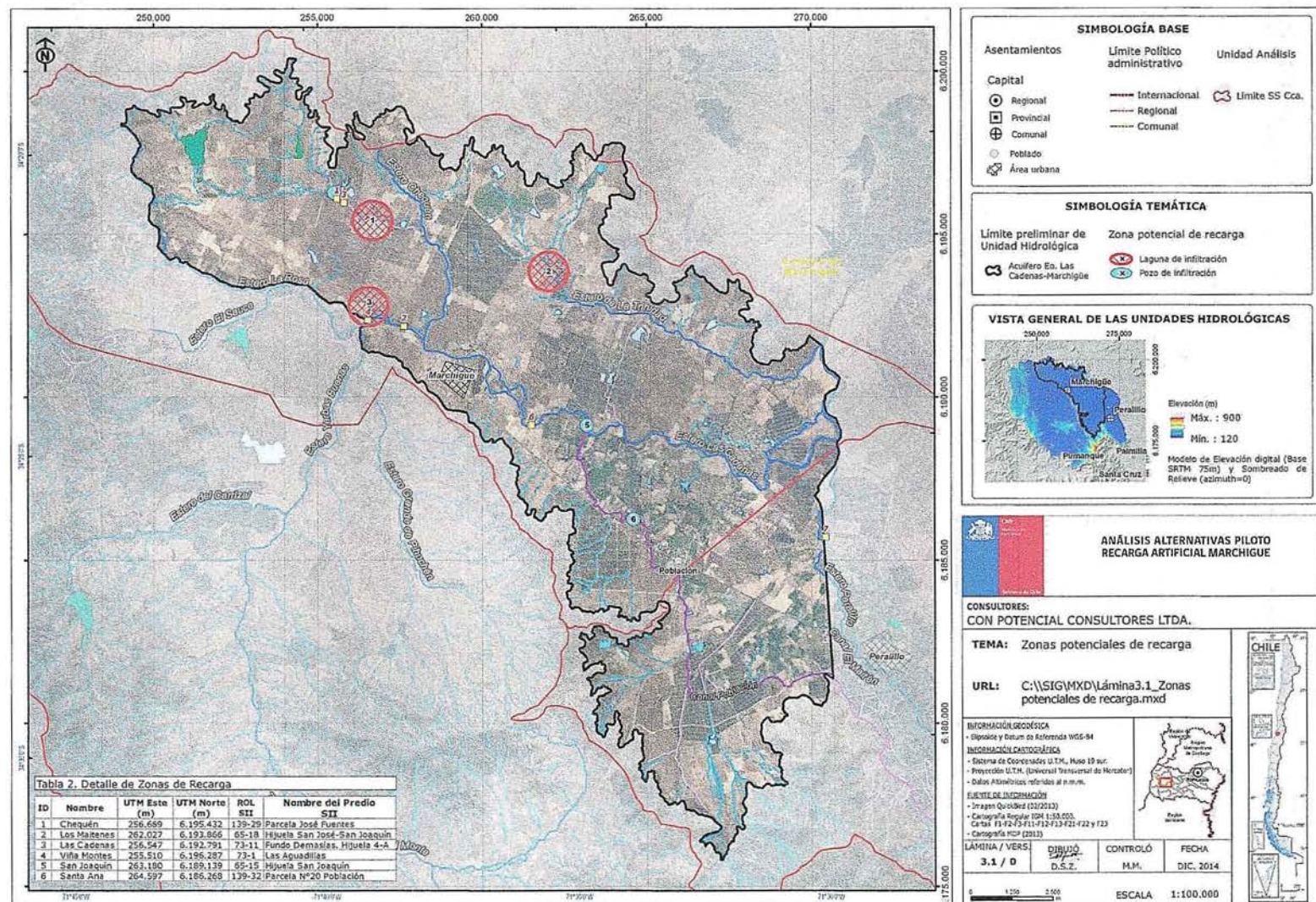
SECTOR	Las Cadenas	Chequén	Los Maitenes
ÁREA CUENCA (km ²)	524,3	33,3	24,2
CAUDAL MEDIO ANUAL (m ³ /s)	2,58	0,16	0,12
CAUDAL MEDIO INVIERNO (m ³ /s) (P _{exc} = 50%)	3,35	0,21	0,15
CAUDAL MEDIO INVIERNO (m ³ /s) (P _{exc} = 20%)	9,23	0,59	0,43

En consecuencia, el sitio Las Cadenas cuenta, por lejos, con el mayor respaldo de disponibilidad hidrológica de caudales, con una media de 3,35 (m³/s) para el

período de invierno y un caudal de 1,05 (m³/s) para un año seco, asociado a una probabilidad de excedencia del 85%.

Para el estero Chequén los respectivos caudales son de 210 (l/s) y 70 (l/s), mientras que para el estero Trinidad son de 150 (l/s) y 50 (l/s).

Lámina 3.1: Zonas Potenciales de Recarga.



3 TRABAJOS REALIZADOS EN TERRENO

3.1 Registro de Niveles de Agua Subterránea

3.1.1 Introducción

En esta sección se detallan las principales actividades desarrolladas en la primera campaña de terreno realizada en el sector del estudio, incluyendo la inspección de los esteros y canales del sector, con el fin de construir una línea base y determinar la disponibilidad actual del recurso hídrico en el acuífero de Marchigüe-Las Cadenas.

Para medir el nivel de los pozos se utilizó un pozómetro marca Sondagua modelo GV-2417, y para determinar la ubicación geográfica de los puntos se utilizó un GPS modelo Garmin Etrex 30 (ver Figura 3.1).

Figura 3.1: Pozómetro de 100m y GPS de Posición y Altitud.



3.1.2 Selección de Pozos

Como criterio de selección de pozos para inspeccionar se priorizaron los pozos cercanos a cauces naturales o artificiales, manteniendo una distancia mínima entre mediciones de 500 (m). Este criterio no fue del todo estricto pues en algunos casos, al no existir mayor cantidad de pozos en una zona, se testeaban

incluso con distancias de 250 (m). Otro criterio utilizado fue seleccionar pozos cercanos a embalses o tranques, con el fin observar la posible influencia de estos reservorios en los niveles de aguas subterráneas.

3.1.3 Desarrollo

En la Lámina 3.1 se presenta la ubicación geográfica de los pozos catastrados en la campaña de terreno.

La Tabla 3.1 presenta los 79 pozos catastrados en la campaña de terreno con su respectivo registro en DGA, cabe señalar que las coordenadas expuestas en la tabla corresponden a las medidas en terreno, por lo que pueden presentar diferencias con los registros de la DGA.

En la Lámina 3.2 se presenta las equipotenciales del acuífero, indicando el sentido de escurrimiento del de las aguas subterráneas.

Lámina 3.1: Ubicación de Pozos Catastrados en Terreno.

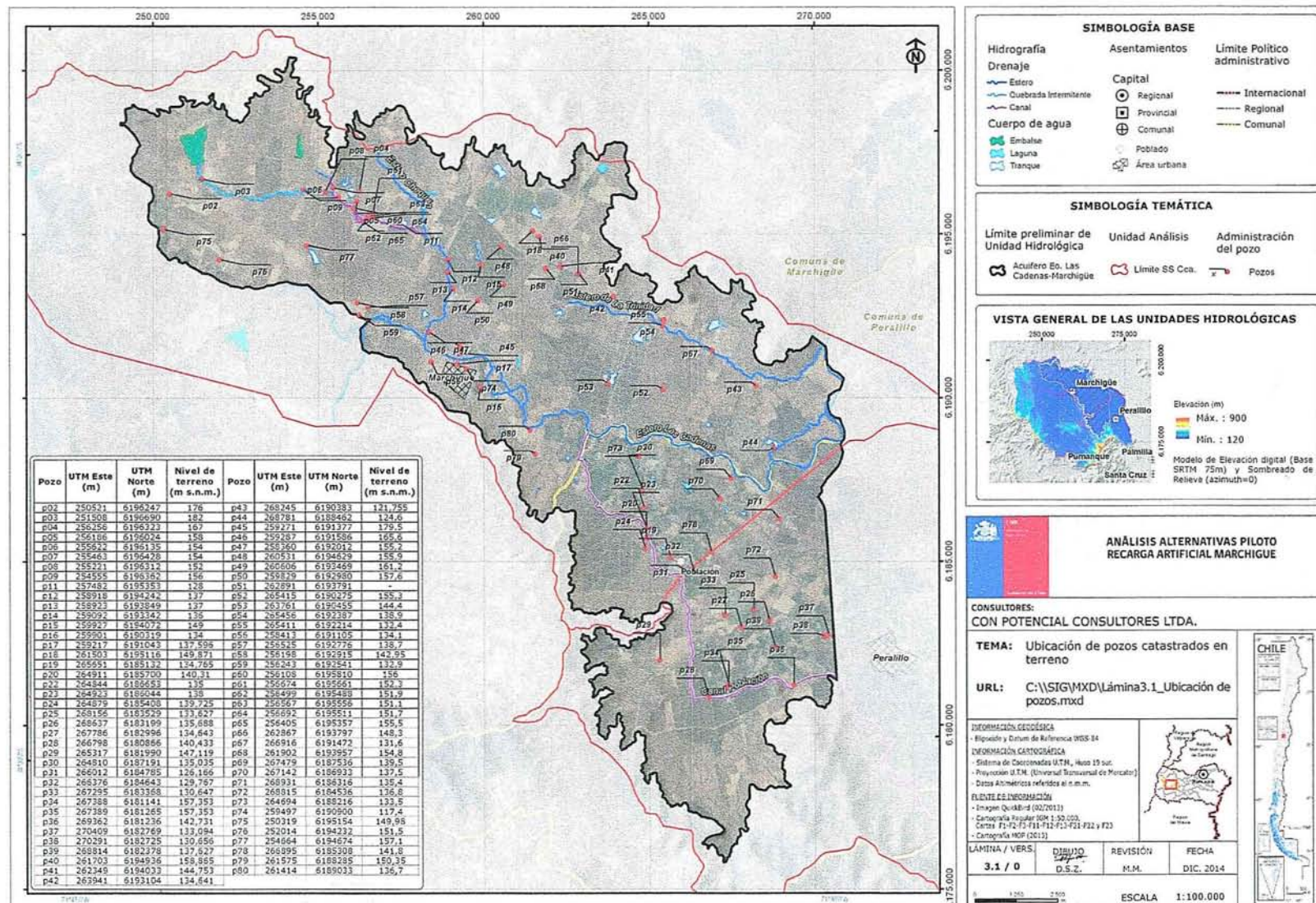
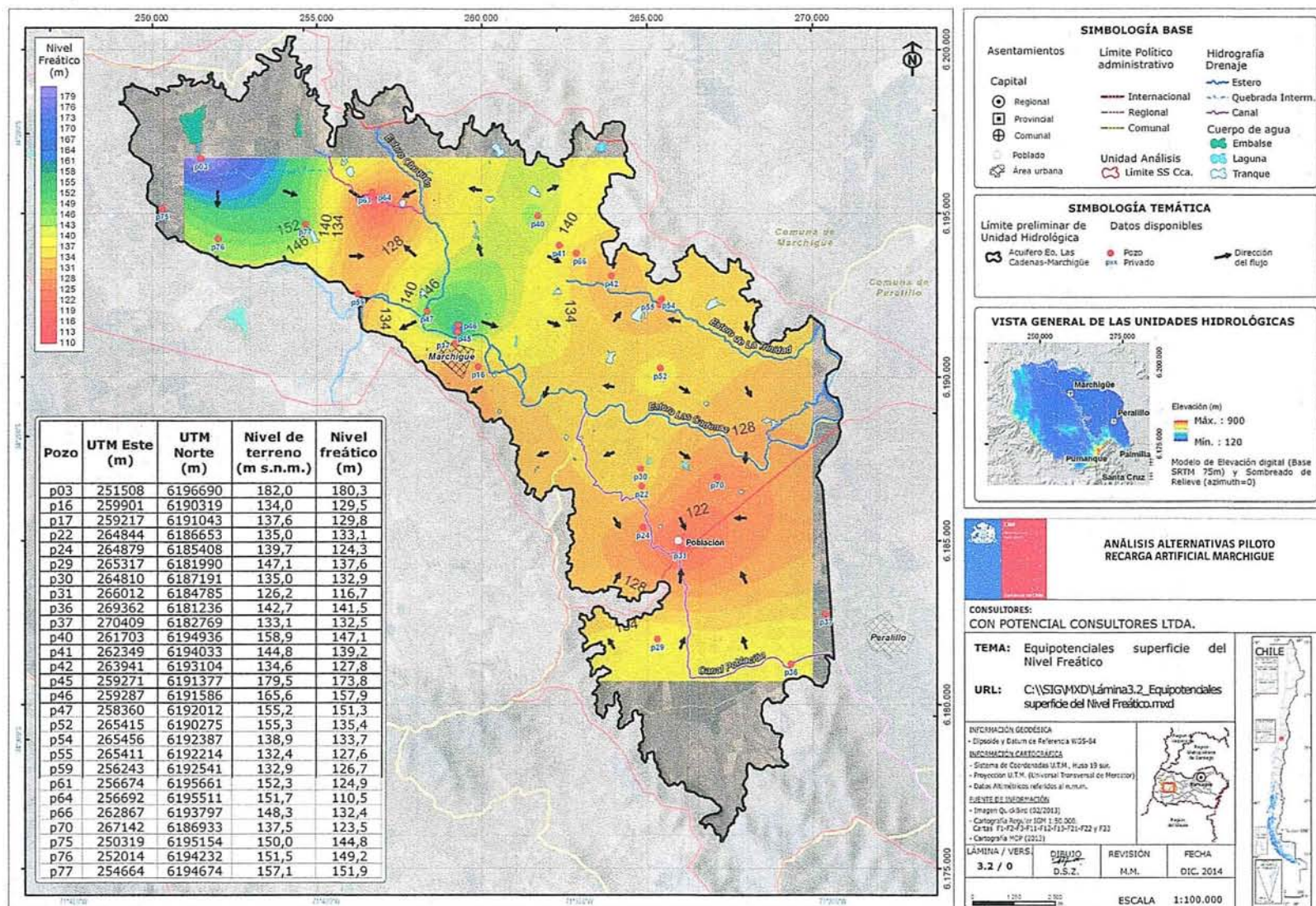


Tabla 3.1: Pozos Catastrados en Campaña de Terreno.

COD_VNA	ID	Coordenadas UTM 84		Nivel Terreno (m.s.n.m.)	Prof. Estática (m)	Prof. Dinámica (m)	Nivel Freático (m.s.n.m.)
		Este	Norte				
		(m)	(m)				
ND-0603-3234	P02	250521	6196247	176	-	4,97	
ND-0603-3223	P03	251508	6196690	182	1,7	-	180,3
ND-0603-3223	P03	251508	6196690	182	-	2,4	-
VPC-0603-2005	P05	256186	6196024	158	-	49,75	-
ND-0603-2074	P06	255622	6196135	154	-	43,7	-
VPC-0603-2005	P08	255221	6196312	152	-	43,01	-
ND-0603-2155	P09	254555	6196362	156	-	47,38	-
No Registrado	P10	257251	6195281	139	-	73,49	-
ND-0603-2113	P12	258918	6194242	137	-	52,51	-
ND-0603-2098	P13	258923	6193849	137	-	53,22	-
ND-0603-2120	P14	259092	6193342	136	-	34,54	-
ND-0603-2098	P15	259927	6194072	149	-	57,18	-
ND-0603-3177	P16	259901	6190319	134	4,51	-	129,5
DGA Criadero de aves	P17	259217	6191043	138	7,76	-	129,8
VPC-0602-2017	P19	265651	6185132	135	-	18,5	-
ND-0602-2859	P20	264911	6185700	140	-	10,65	-
No Registrado	P21	265129	6185439	152	-	15,26	-
ND-0602-2862	P22	264844	6186653	135	1,91	-	133,1
ND-0602-2858	P23	264923	6186044	138	-	9,1	-
ND-0602-800017	P24	264879	6185408	140	15,4	-	124,3
ND-0602-1645	P25	268156	6183529	134	-	22,13	-
ND-0602-2171	P27	267786	6182996	135	-	26,11	-
ND-0602-695	P28	266798	6180866	140	-	11,75	-
ND-0602-2003	P29	265317	6181990	147	9,52	-	137,6
ND-0602-2857	P30	264810	6187191	135	2,16	-	132,9
ND-0602-3579	P31	266012	6184785	126	9,5	-	116,7
ND-0602-2839	P32	266376	6184643	130	-	8,56	-
ND-0602-2241	P33	267295	6183368	131	-	31,39	-
ND-0602-695	P34	267388	6181141	157	-	9,82	-
ND-0602-4610	P35	267389	6181265	157	-	6,73	-
ND-0602-4447	P36	269362	6181236	143	1,2	-	141,5
DGA Asentamiento San Isidro	P37	270409	6182769	133	0,58	-	132,5
ND-0602-3936	P38	270291	6182725	131	-	5,53	-
ND-0602-2416	P39	268814	6182378	138	-	9,54	-

COD_VNA	ID	Coordenadas UTM 84		Nivel Terreno (m.s.n.m.)	Prof. Estática (m)	Prof. Dinámica (m)	Nivel Freático (m.s.n.m.)
		Este	Norte				
		(m)	(m)				
ND-0603-2956	P40	261703	6194936	159	11,77	-	147,1
ND-0603-4023	P41	262349	6194033	145	5,56	-	139,2
ND-0603-4040	P42	263941	6193104	135	6,87	-	127,8
ND-0603-3181	P43	268245	6190383	122	-	6,84	-
No Registrado	P45	259271	6191377	179,5	5,73	-	173,77
No Registrado	P46	259287	6191586	165,6	7,71	-	157,89
No Registrado	P47	258360	6192012	155,2	3,9	-	151,3
ND-0603-2108	P49	260606	6193469	161,2	-	58,6	-
ND-0603-2153	P50	259829	6192980	157,6	-	54,03	-
ND-0603-2047	P52	265415	6190275	155,3	19,87	-	135,43
ND-0602-3264	P54	265456	6192387	138,9	5,17	-	133,73
No Registrado	P55	265411	6192214	132,4	4,8	-	127,6
ND-0603-3486	P56	258413	6191105	134,1	-	10,56	-
ND-0603-2954	P57	256525	6192776	138,7	-	15,4	-
No Registrado	P58	256198	6192915	142,95	-	7,07	-
No Registrado	P59	256243	6192541	132,9	6,25	-	126,65
ND-0603-2099	P60	256108	6195810	156	-	65,85	-
ND-0603-2390	P61	256674	6195661	152,3	27,45	-	124,85
ND-0603-2383	P64	256692	6195511	151,7	41,16	-	110,54
ND-0603-3856	P66	262867	6193797	148,3	15,9	-	132,4
ND-0603-800047	P67	266916	6191472	131,6	-	27,37	-
No Registrado	P69	267479	6187536	139,5	-	11,42	-
No Registrado	P70	267142	6186933	137,5	14	-	123,5
No Registrado	P70	267142	6186933	137,5	-	39,52	-
ND-0602-2169	P71	268931	6186316	135,4	-	13,8	-
No Registrado	P72	268815	6184536	136,8	-	31,17	-
ND-0602-2861	P73	264694	6188216	133,5	-	5,51	-
ND-0603-2291	P74	259497	6190900	117,4	-	45,97	-
ND-0603-4081	P75	250319	6195154	149,98	5,16	-	144,82
ND-0603-3524	P76	252014	6194232	151,5	2,3	-	149,2
ND-0603-4064	P77	254664	6194674	157,1	5,21	-	151,89
ND-0602-2571	P78	266895	6185308	141,8	-	10,78	-
No Registrado	P80	261414	6189033	136,7	-	16,81	-

Lámina 3.2: Equipotenciales Niveles Freático.



3.2 Caracterización Litológica de Eventuales Puntos de Recarga

3.2.1 Actividades Realizadas

Durante Los meses de Enero y Febrero de 2014 se han desarrollado las siguientes labores de avance respecto a la exploración de sitios de emplazamiento de las alternativas piloto de recarga artificial.

- Excavación de 6 calicatas, mediante máquina retroexcavadora New Holland B95 (21 Enero 2014) más 9 calicatas y una caracterización litológica de una noria existente (25 al 28 de Febrero 2014). Los primeros sectores fueron elegidos considerando la cercanía al canal Población y la posibilidad de que se tratara de suelos de granulometrías gruesas. Mientras que la segunda exploración se realizó a partir de la información litológica aportada por los registros de inscripción de pozos de la DGA.

Tabla 3.2: Ubicación de Calicatas.

Lugar	Calicata Nº	Este UTM	Norte UTM	Cota (m.s.n.m.)	Profundidad (m)
Parcela José Fuentes	1	263.486	6.186.648	139	3,2
Parcela José Peñaloza	2	263.011	6.187.959	137	3
Viña Los Vascos	3	267.289	6.180.837	140	3,8
Puquillay	4	269.297	6.181.199	140	3,35
Parcela Héctor Silva	5	266.145	6.183.166	141	3,65
Fundo San Joaquín	6	263.147	6.188.953	123	4,5
Fundo San Guillermo	7	259.655	6.191.704	138	3,8
Fundo San Guillermo	8	258.615	6.191.827	139	4,2
José Flores	9	257.967	6.191.603	138,5	3,95
Los Maitenes	10	262.022	6.193.919	154	3,82
Hijuela 4B	11	256.509	6.192.797	142	4,25
Hijuela 4B	12	256.556	6.192.440	139	4,1
Hijuela 4B	13	256.375	6.192.397	143	4,8
Juan Navarro	14	256.639	6.195.619	151	3,8
Juan Navarro	15	256.401	6.195.450	150	3,96
Noria Alvino Moreno	-	256.378	6.192.825	140	6,3

3.2.2 Litología de las Calicatas Excavadas

Durante las labores de terreno se realizó una descripción geotécnica-geológica y clasificación USCS (Unified Soil Classification System) in situ para cada una de las calicatas. Para estas labores se utilizó una escalera de 3 (m), una huincha de 5 (m), cámara fotográfica, lupas 10x y 20x. Además, la excavación fue debidamente señalizada con cinta de peligro y posteriormente, a los ensayos de infiltración, fueron tapadas (ver Anexo D: Descripción Geotécnica Litológica).

Se excavaron seis calicatas en lugares cercanos al canal Población, escogidos previamente en gabinete para cubrir de manera representativa el área a investigar. Estos puntos se muestran en la Lámina 3.3.

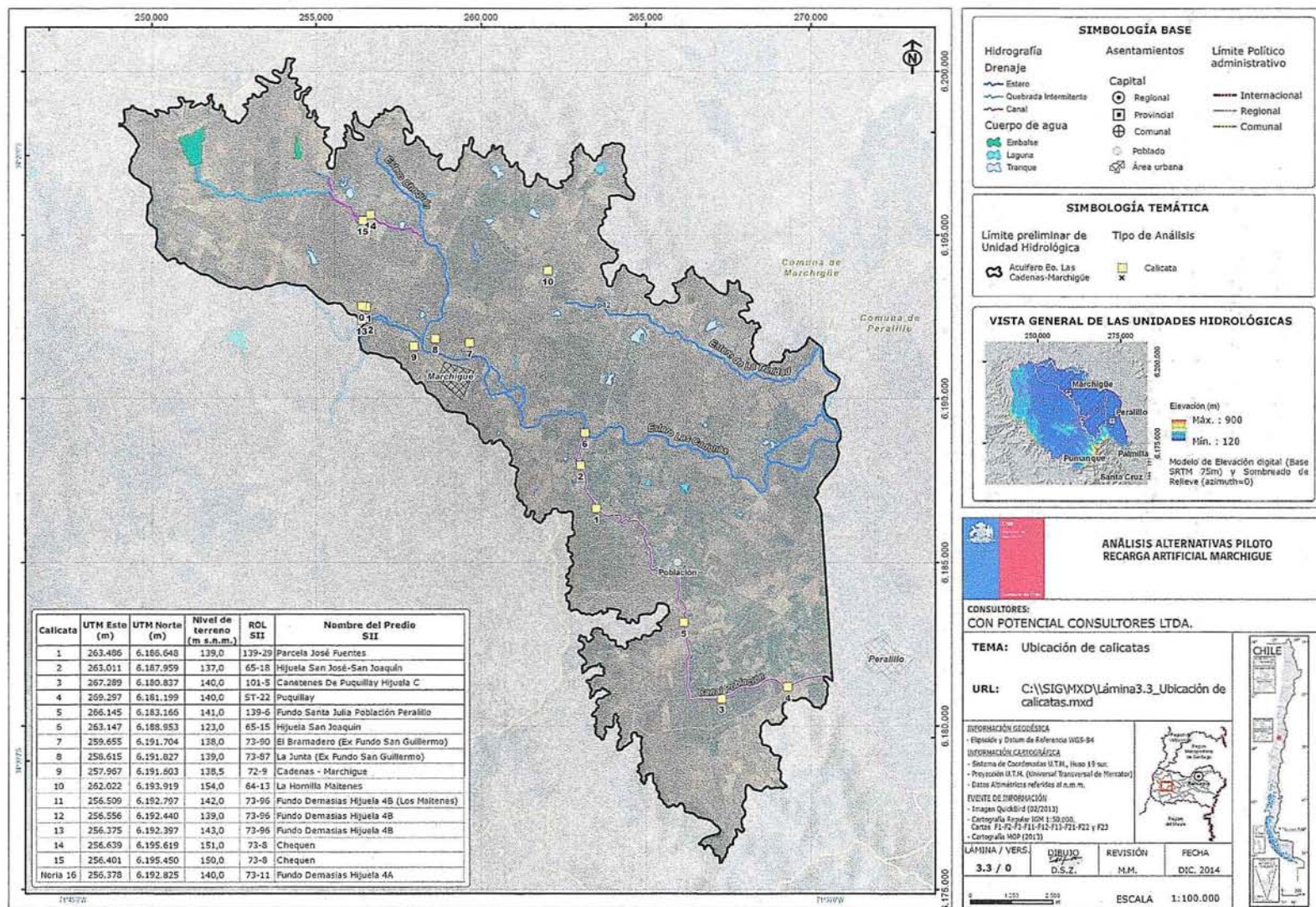
La primera calicata se ubicó en un predio de propiedad de José Fuentes, como se muestra en la Figura 3.2.

Figura 3.2: Excavación de la Calicata N°1.



En este lugar se observó que el terreno no era apto para las condiciones de infiltración, pues resultó imposible realizar manualmente la excavación cilíndrica mencionada anteriormente para realizar el ensayo de infiltración, pues el terreno era de una gran dureza, lo que implica una muy baja conductividad hidráulica.

Lámina 3.3: Ubicación de Calicatas.



3.3 Ensayos de Infiltración

La realización de estas pruebas de campo es relevante para caracterizar la capacidad de infiltración de los estratos más superficiales del terreno, parámetro que a su vez indicará la aptitud de esos sectores para emplazar una balsa de infiltración, que es uno de los dispositivos para efectuar la recarga artificial de acuíferos.

De las seis calicatas realizadas sólo en dos de ellas se dieron las condiciones necesarias para efectuar ensayos de infiltración, en una de ellas se realizó el método de pozo de nivel constante y en la otra el método de Porchet.

En la calicata N°6 se realizaron dos ensayos, en el primero, con una carga de agua de 30 (cm), se obtuvo un valor para el K_{fs} de $4,5 \cdot 10^{-4}$ (cm/s).

En el segundo ensayo, se calculó un K_i para tres intervalos de tiempo [min:seg], K_1 corresponde al intervalo [29:40-34:34], K_2 corresponde al intervalo [52:38-73:20] y K_3 corresponde al intervalo [87:45-120:00] en los cuales se mantenía relativamente constante la altura del agua del pozo obteniéndose los siguientes resultados:

$$K_1 = 1.7 \cdot 10^{-4} \text{ (cm/s)}$$

$$K_2 = 1.0 \cdot 10^{-4} \text{ (cm/s)}$$

$$K_3 = 8.6 \cdot 10^{-5} \text{ (cm/s)}$$

En el caso del ensayo realizado con el método de Porchet (calicata N°2) no se registró un descenso apreciable del nivel de agua, lo que implica que la permeabilidad es extremadamente baja.

De las cuatro calicatas restantes se puede decir que en una de ellas se encontró un suelo compuesto de una tosca tan dura que impedía incluso la excavación para realizar el ensayo y en las demás fue imposible realizar un ensayo de

infiltración debido a las condiciones de inundación que se verificaban en todas ellas.

3.4 Calidad de las Aguas

Se realizaron las siguientes actividades:

- Extracción de 2 muestras de agua con fecha 21 de enero de 2014, en terrenos de la localidad de Santa Ana.
 - -Parcela Jose Fuentes (264.780E / 6.186.149N / 135 (m)). Corresponde a un pozo de 40 (m) de profundidad, habilitado en tubería de PVC ranurada. Se muestreó durante el bombeo continuo, obteniéndose un agua transparente, sin olor, con algo de arena. Agua subterránea.
 - -Canal Población (264.727E / 6.186.272N / 137 (m)). El muestreo se realizó junto al marco partidador N°29-B del Canal Población, a unos 100 (m) de la parcela anterior. El agua estaba turbia verdosa, presencia abundante de algas y vegetación, residuos orgánicos, sedimento muy fino tipo ceniza. Agua superficial.
- Envío de ambas muestras al Laboratorio Sanitario Carlos Latorre con fecha 21 de enero de 2014, para los análisis de: nivel de oxígeno (oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno), metales (aluminio, arsénico, boro, cadmio, calcio, cobalto, cobre, cromo, fierro, potasio, magnesio, manganeso, mercurio, molibdeno, sodio, níquel, plata, plomo y zinc), eutrofización (nitrógeno total, fósforo de ortofosfato), microbiológicos (coliformes fecales), sustancias disueltas (conductividad eléctrica, cloruros, sulfatos y pH), parámetros físicos (sólidos suspendidos totales, temperatura) y otros parámetros (aceite y grasa).

De los resultados de calidad de agua se observa que los parámetros muestreados cumplen con la Norma Chilena de Riego, a excepción de los siguientes:

- **Resultados Pozos:**

- Magnesio: 25.6 (mg/L) con un límite aceptable de 0.2 (mg/L)
- Sodio porcentual: 48.9% con un límite aceptable de 35%

- **Resultados Canal:**

- Magnesio: 12.7 (mg/L) con un límite aceptable de 0.2 (mg/L)
- Coliformes fecales: >1600 (mg/L) con un límite aceptable de 1000 (mg/L)
- Presencia de Escherichia Coli.

Es necesario señalar que los Solidos Suspendidos Totales (SST), en las dos mediciones, superan lo recomendado para evitar procesos de colmatación (valores menores 3 (mg/L)).

Para el caso de la temperatura se recomiendan valores menores de 10° mayores temperaturas propician un ambiente favorable el crecimiento bacteriano en las paredes del sistema de infiltración.

Los valores de turbiedad se deben tratar de disminuir al máximo, preferentemente bajo las 0.5 (NTU).

Si bien algunos parámetros de los análisis de las muestras presentan sobrepaso, de los límites admisibles para la Norma Chilena de agua para Riego, esto no se puede generalizar y por lo mismo no es comparable con los resultados obtenidos en estudios posteriores, puesto que solo se obtuvieron datos aislados sin registrar un seguimiento en el tiempo de los mismos.

Tabla 3.3: Resultados Análisis Calidad de Agua.

Muestra	Unidad	Norma chilena de agua para riego	Pozo Parcela Santa Ana	Canal Población	Cumple Norma chilena de agua para riego (Pozo)	Cumple Norma chilena de agua para riego (Canal)
Tipo			Subterránea	Superficial		
OD	mgO ₂ /l	-	5,89	7,99	-	-
DBO	mgO ₂ /l	-	6,5	9,3	-	-
DQO	mg/l	-	46,2	59,5	-	-
T	°C	-	23,3	24	-	-
pH		5,5-9,0	7,9	8,04	Cumple	Cumple
SST	mg/l	-	27	29	Cumple	Cumple
As	mg/l	0,1	0,001	0,001	Cumple	Cumple
B	mg/l	0,75	0,006	0,06	Cumple	Cumple
Fe	mg/l	5	0,43	0,4	Cumple	Cumple
Mg	mg/l	0,2	25,6	12,7	No Cumple	No Cumple
Mn	mg/l	0,2	0,03	0,03	Cumple	Cumple
SO ₄	mg/l	250	53	78	Cumple	Cumple
Na	%	35	48,9	22,0	No Cumple	Cumple
Hg	mg/l	0,001	0,001	0,001	Cumple	Cumple
Al	mg/l	5	0,21	0,21	Cumple	Cumple
Cd	mg/l	0,01	0,008	0,008	Cumple	Cumple
Co	mg/l	0,05	0,02	0,02	Cumple	Cumple
Cu	mg/l	0,2	0,03	0,03	Cumple	Cumple
Cr	mg/l	0,1	0,02	0,02	Cumple	Cumple
Ni	mg/l	0,2	0,02	0,02	Cumple	Cumple
Ag	mg/l	0,2	0,02	0,02	Cumple	Cumple
Pb	mg/l	5	0,02	0,02	Cumple	Cumple
N	mg/l	-	0,41	1,47	Cumple	Cumple
Zn	mg/l	2	0,01	0,01	Cumple	Cumple
Mo	mg/l	0,01	0,01	0,01	Cumple	Cumple
Col. Fec.	mg/l	1000	1,8	1600	Cumple	No Cumple
Cloruros	mg/l	200	25,8	22,9	Cumple	Cumple
Aceites y grasas	mg/l	-	<10	<10	-	-
Turbiedad	UNT	-	0,85	47	-	-
Cond. Eléctrica	μS/cm	-	457	399	-	-

4 CAMBIOS EN LA CONCEPCIÓN ORIGINAL DEL PROYECTO

El proyecto como originalmente fue concebido, considerando dos pilotos de recarga, mediante balsa y pozo de infiltración ha sufrido modificaciones sustanciales, debido a eventualidades y a un diagnóstico técnico fruto del desarrollo proyecto. Dicho diagnóstico técnico concluyó que era imposible y/o inviable ejecutar los 2 Pilotos señalados en la Bases Técnicas.

Dichas modificaciones técnicas al proyecto original han sido consensuadas y aprobadas previamente por CNR, y se explican brevemente a continuación:

- **Piloto Balsa de Infiltración:**

La única zona apta para realizar Piloto Balsa se encuentra ubicada en el sector de inicio del Estero Las Cadenas, inmediatamente bajo la confluencia del Estero Yervas Buenas y el Estero Las Rosas. Esto debido a la disponibilidad hídrica para operar el piloto, y la aptitud de los suelos para ser infiltrados mediante Balsa.

Sin embargo, la diferencia en elevación de 3 (m) existente entre la ribera y el fondo del cauce, obligan a diseñar una Balsa excavada completamente en el terreno, a una profundidad aproximada de 2,5 (m), y la construcción de canales de conducción de aguas para alimentar el Piloto, y retornar los flujos excedentes, de una longitud de 350 (m) completamente excavados.

Presentando estos diseños a CNR, se ha concluido que esta solución, técnicamente viable, no sería una alternativa replicable dado lo forzado de las condiciones de diseño.

Por lo anterior, en conjunto con el equipo técnico de CNR, se ha concluido que lo más adecuado para el proyecto será diseñar una nueva alternativa Piloto de Recarga directamente en el lecho del estero Las Cadenas.

- **Piloto Pozo de Infiltración:**

Se determinaron al menos 3 zonas factibles de desarrollar este Piloto, sin embargo, no se cuenta con la disponibilidad hídrica en cantidad y calidad que asegure la adecuada implementación del Piloto.

En efecto, la única fuente de recursos hídrico disponible (Canal Población) arrojó calidad del agua que no cumple con la calidad mínima para ser infiltrada directamente en el acuífero. No es posible estimar la calidad que podría tener el recurso durante la operación del Piloto, por lo que técnicamente la incertidumbre respecto de la calidad final del agua a ser infiltrada obliga a descartar esta alternativa de alimentación.

No existen otras fuentes de agua, que cumplan con la calidad y disponibilidad en los sectores estudiados.

Por lo anterior, en conjunto con el equipo técnico de CNR, se ha concluido que, dado los antecedentes existentes, no es viable implementar, en este momento, una alternativa de recarga mediante pozos de infiltración.

4.1 Diseño y Metodología del Nuevo Piloto Propuesto

Las conclusiones consensuadas con CNR, indican la necesidad de diseñar e implementar un Piloto de recarga, factible de ser materializado en este estudio, que cumpla con la condición de poder ser “replicable” en otros sectores del estero Las Cadenas, en futuros estudios, y que finalmente permita ser una alternativa real de recarga de los acuíferos del sector de Marchigüe.

Considerando lo anterior, se ha procedido a diseñar una alternativa de recarga de acuíferos, interviniendo directamente el cauce del estero Las Cadenas, mediante una obra que permitirá represar el estero, en una longitud de aproximadamente 1,5 (km), con una altura de carga de 1 (m).

Esta alternativa de Piloto de Recarga permitirá contar con una superficie de recarga efectiva de aproximadamente 37.500 (m²).

La superficie de recarga considerada originalmente para el Piloto de Balsa, cuyas dimensiones eran de 30 (m) x30 (m), alcanzaba aproximadamente a 900 (m²).

Se concluye que este nuevo Piloto de Recarga diseñado directamente en el estero Las Cadenas (ver Anexo G), permitirá infiltrar el equivalente a 42 Pilotos tipo Balsas. Dada la envergadura de este nuevo Piloto de recarga a escala real, será necesario realizar nuevas actividades e inversiones, adicionales a las consideradas originalmente en la propuesta, las que se detallan a continuación:

- Habilitar 300 (m) de caminos de acceso a las obras en el Estero y mejorar 2 (km) de caminos existentes para el tránsito de maquinaria pesada.
- Construir un dique para represar las aguas en el estero, de aproximadamente 30 (m) de longitud, con una altura que fluctuará entre 1 y 1,5 (m). Para materializar dicha obra se emplearán gaviones, pilotes y rollizos de madera, impermeabilizando el Dique con geomembrana y geotextil.
- Aumentar de 2 a 5 los pozos de monitoreo continuo y permanente de la variación del nivel freático del acuífero mediante instrumentación en 5 pozos de 10 (m) de profundidad que deberán ser construidos. Adicionalmente, se monitorearán en forma manual y periódica, mediante pozómetro, 3 pozos existentes para totalizar 8 puntos de monitoreo de napas en el sector.
- Implementar un sistema de control de caudales en los tributarios del estero Las Cadenas, (estero Yervas Buenas y estero Las Rosas), y caudales salientes desde el dique en el estero Las Cadenas, mediante la construcción e instrumentación de 3 estaciones de control de niveles de agua.
- Extender el período de monitoreo originalmente propuesto hasta el mes de octubre.

5 EJECUCIÓN DEL PROYECTO Balsa Estero Las Cadenas

5.1 Construcción de Obras Civiles

Con la finalidad de aprovechar las lluvias de invierno, se planificó la construcción de un dique que permitiera represar en forma piloto el Estero Las Cadenas.

Esta obra se ejecutó en el mes de julio, bajo condiciones climáticas que, a ratos, atentaban contra la planificación, avance y construcción de la misma. No obstante, las obras se ejecutaron según lo planificado y en el tiempo estimado.

Figura 5.1: Dique en Estero Las Cadenas



5.2 Construcción y Habilitación de Pozos de Monitoreo

Se implementaron 5 pozos de monitoreo de 6" y 12 (m) de profundidad, con el objetivo de registrar las variaciones del nivel de napa como consecuencia de la implementación del proyecto. En los pozos se habilitaron tubos ranurados de PVC y dentro de ellos, para registrar en forma permanente la variación del nivel de napa, se instalaron sensores hidrostáticos de presión (data logger). La información de niveles se rescató y procesó luego de dos semanas de registro. La perforación de los pozos se realizó mediante tricono en diámetro de 6". La inspección visual y análisis estratigráfico se realizó sobre muestras extraídas en cada metro de perforación.

Figura 5.2: Habilitación Pozo PM4



La red piezométrica incluye además el monitoreo de cinco puntos más de monitoreo, entre norias y pozos habilitados con anterioridad en la zona, cuya información fue registrada con pozómetro cada dos semanas en promedio.

Figura 5.3: Línea de Tiempo

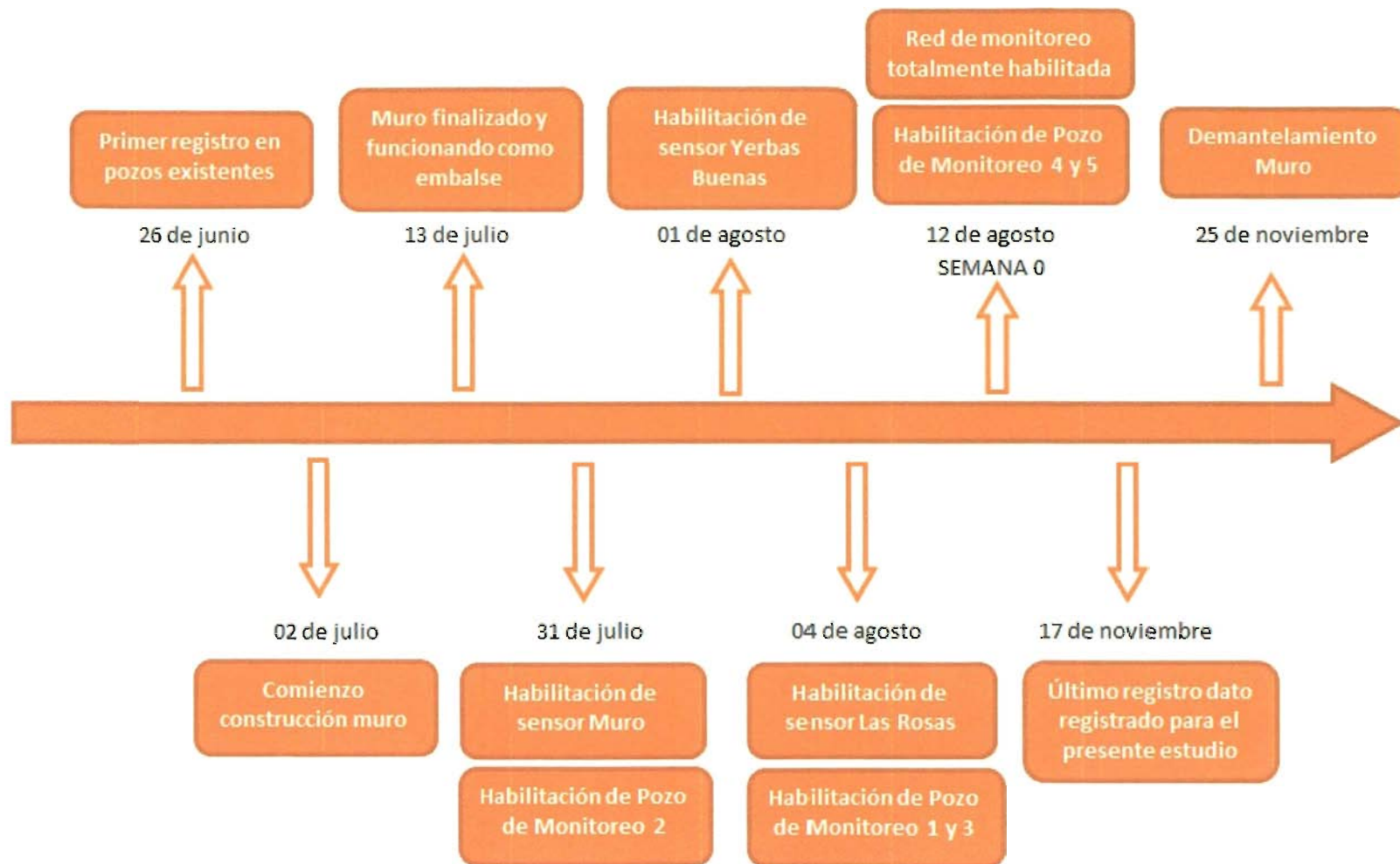
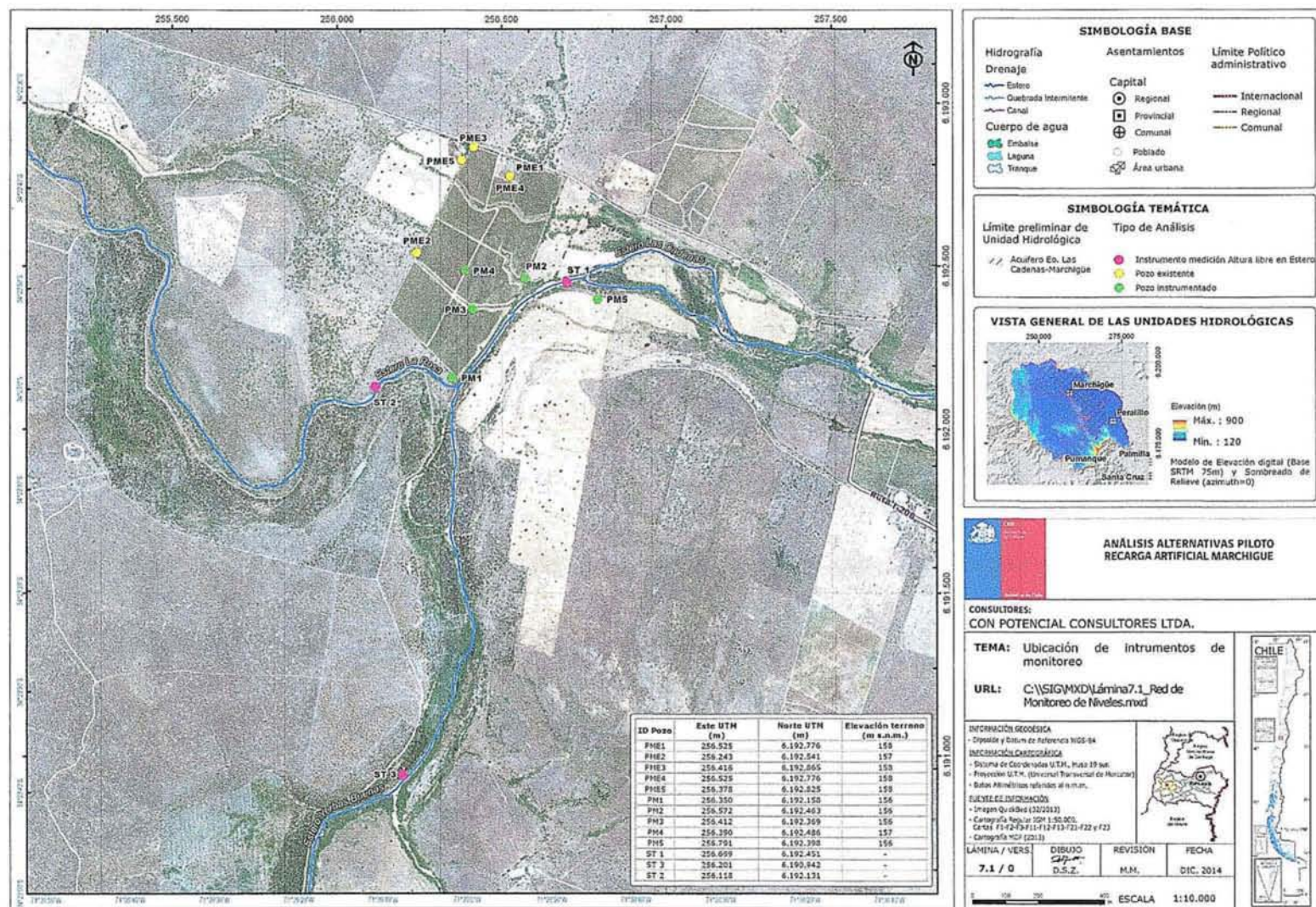


Lámina 7.1: Red de Monitoreo



5.3 Mediciones de Nivel Freático en Red de Monitoreo

La red de monitoreo de niveles del acuífero está compuesta por 5 pozos existentes en el área de estudio, más pozos habilitados para el registro continuo de variaciones de nivel mediante instalación de instrumentos de medición de presión hidrostática.

En la Tabla 5.1 se presenta la red de monitoreo tanto para la red existente (PME) como los pozos habilitados para los fines del proyecto (PM), además en la tabla se puede apreciar el primer registro y el último registro de la red de monitoreo existente, lo que muestra en promedio un aumento de 0,9 (m) los niveles del acuífero, debido al proyecto de infiltración.

Tabla 5.1: Red de Monitoreo (Registro 25/06/2014 y 27/10/2014 de niveles)

ID Pozo	Coordenadas UTM WGS 84		Elevación Terreno	Profundidad Freática *	Niveles Freáticos *	Profundidad Freática **	Niveles Freáticos **
	Este (m)	Norte (m)	(m.s.n.m.)	(m)	(m.s.n.m.)	(m)	(m.s.n.m.)
PME1	256525	6192776	157,6	5,7	151,9	5,0	152,6
PME2	256243	6192541	157,2	5,2	152,1	4,6	152,6
PME3	256416	6192865	158,1	6,1	152,0	5,4	152,7
PME4	256525	6192776	157,6	5,5	152,1	5,0	152,6
PME5	256378	6192825	158,1	6,7	151,4	4,7	153,4
PM1	256350	6192158	156,3	-	-	3,2	153,1
PM2	256572	6192463	156,3	-	-	3,8	152,5
PM3	256412	6192369	156,4	-	-	1,6	154,9
PM4	256390	6192486	156,7	-	-	3,7	153,0
PM5	256791	6192398	156,1	-	-	3,9	152,2
* Registro tomado el 25/06/2014							
** Registro tomado el 27/10/2014							

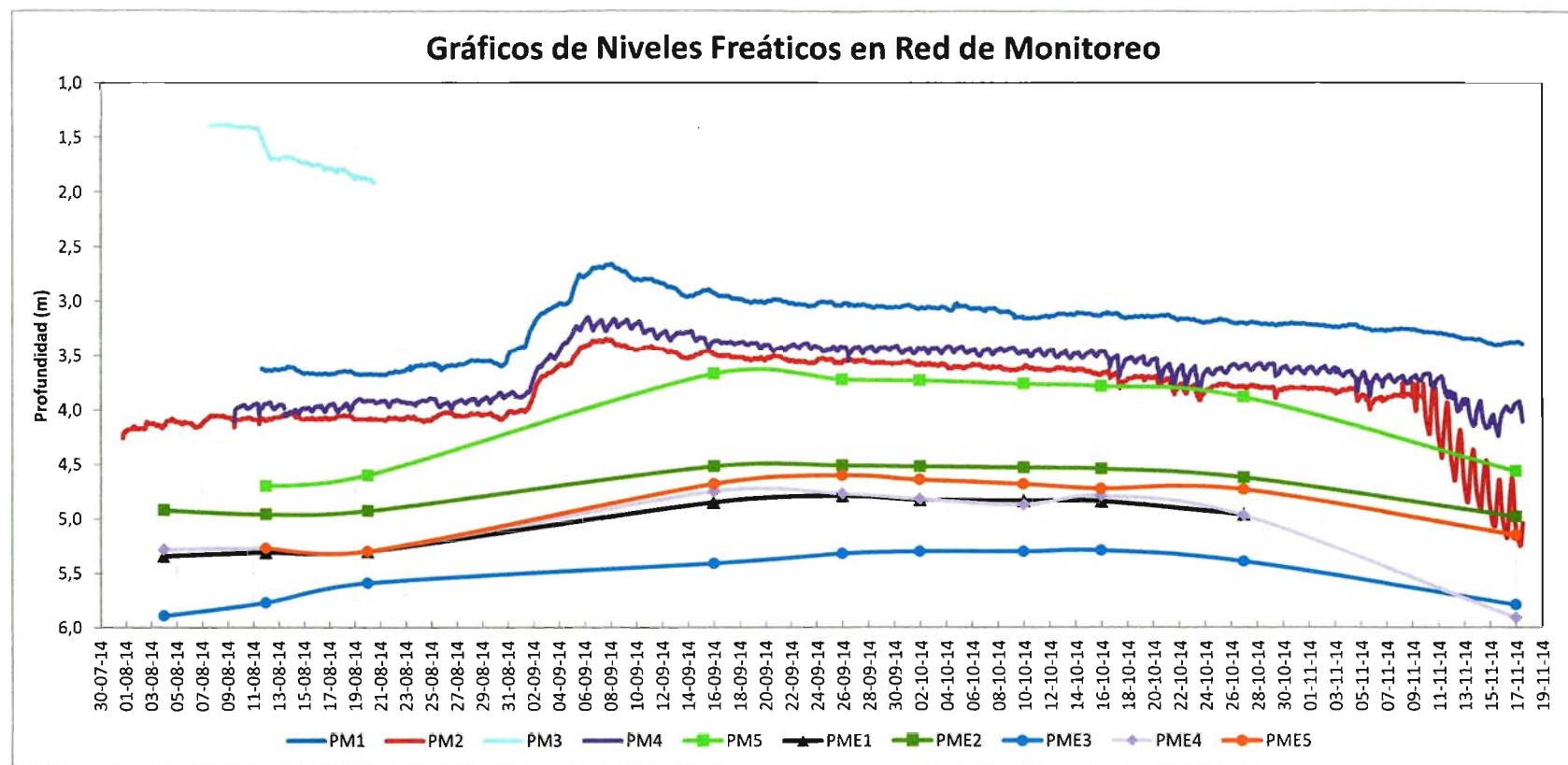
En la Tabla 5.2 se el registro de niveles obtenida en las mediciones puntuales de la red de monitoreo, y la fluctuación que presenta el acuífero en el periodo comprendido de medición.

Tabla 5.2: Registros Puntuales de Red de Monitoreo

FECHA	PME1 Pozo Caroca	PME2 Pozo mitad viña Caroca	PME3 Pozo Esquina Caroca	PME4 Noria Caroca	PME5 Noria Moreno	PM1 25m del Estero	PM2 50m del Estero	PM3 100m del Estero	PM4 180m del Estero	PM5 100m Estero aguas abajo
Sobre el Suelo						0.38	0.19	0.17	0.3	0.2
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
25-06-2014	5.68	5.15	6.13	5.48	6.70					
31-07-2014							4.26			
04-08-2014	5.34	4.92	5.89	5.28			4.10	1.72		
12-08-2014	5.31	4.96	5.77	5.27	5.27	3.64	4.09	1.69	4.06	4.70
20-08-2014	5.30	4.93	5.59	5.30	5.30	3.68	4.09	1.90	4.07	4.60
16-09-2014	4.85	4.52	5.41	4.75	4.68	2.95	3.50	1.12	3.38	3.67
26-09-2014	4.79	4.51	5.32	4.77	4.60	3.02	3.53	1.14	3.47	3.72
02-10-2014	4.83	4.52	5.30	4.82	4.64	3.05	3.56	1.21	3.49	3.73
10-10-2014	4.84	4.53	5.30	4.87	4.68	3.07	3.58	1.32	3.51	3.76
16-10-2014	4.84	4.54	5.29	4.79	4.72	3.11	3.65	1.43	3.56	3.78
27-10-2014	4.96	4.62	5.39	4.97	4.73	3.18	3.76	1.55	3.66	3.88
17-11-2014	11.91	4.98	5.79	5.91	5.15	3.37	4.23	1.86	4.12	4.56

El registro de profundidades freáticas es presentado en la Figura 5.4, cabe señalar que el instrumento instalado en el pozo PM3 presentó una falla por lo cual no pudo recuperar la información de niveles. La diferencia entre planos entre el pozo PM2 con resto de los pozos se puede deber a la presencia de una unidad acuífero confinada presente en el área de estudio que no se comunica de manera directa con el acuífero general que se puede observar en el área estudiada. Por otra parte los datos registrados en la última medición corresponden a un estado de plena explotación del acuífero por riego de las viñas en el área de estudio, representando de niveles dinámicos.

Figura 5.4: Profundidades Freáticas Registradas por Instrumental en Pozos



6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el siguiente apartado se expondrán los principales resultados obtenido del análisis de las variables monitoreadas en el proyecto de infiltración Estero Las Cadenas.

6.1 Variación Niveles de Caudal/Precipitaciones

A partir del nivel del registro de los transductores de presiones, se pueden observar la influencia de las precipitaciones en el nivel de las aguas de los cauces. En la Tabla 6.1 se presenta el período de registro para cada uno de los sensores instalados.

Tabla 6.1: Período de Registro de los Sensores.

Ubicación	Código	Inicio registro	Fin registro
Muro	ST 1	31-07-2014 14:59	16-09-2014 12:55
Las Rosas	ST 2	01-08-2014 14:19	01-11-2014 05:25
Yerbas Buenas	ST 3	04-08-2014 18:29	17-11-2014 13:05

Acerca los sensores se debe destacar:

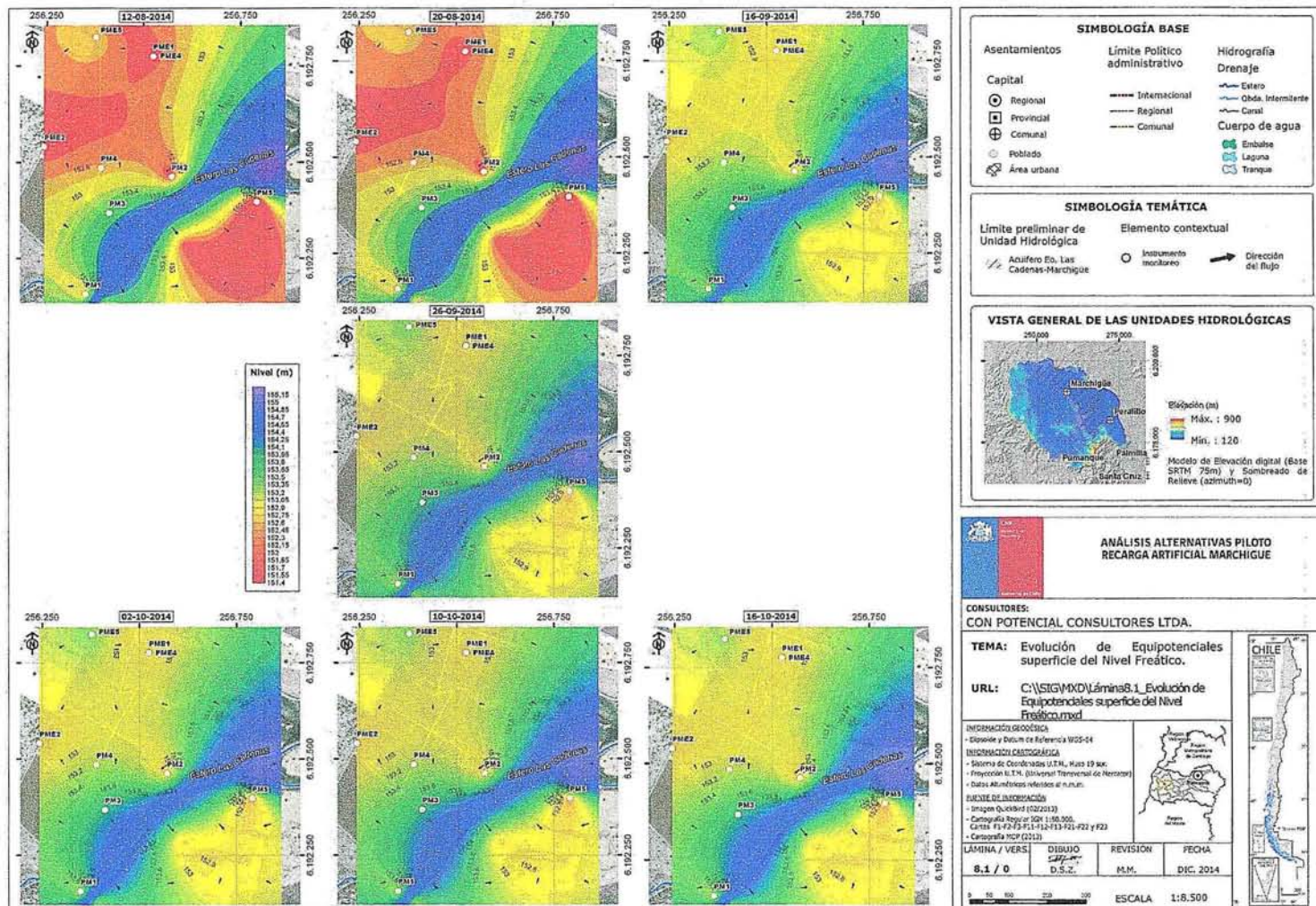
- El sensor ST1 y ST3 tienen una mayor resolución y un límite máximo de medición, debido a esto, no registran alturas mayores a 1 (m). Por otra parte el sensor ST2 es menos sensible pero si registra niveles de agua mayores a 1 (m). Este se debió a que en las especificaciones técnicas del instrumento señala que si bien su rango es de un metro este podía seguir midiendo hasta los dos metros antes de que el instrumento sufriera daños, lo que no se cumplió en la realidad.

- El sensor ST3 presenta una oscilación constante, posiblemente ocasionada por la presencia de una resonancia.
- Los sensores ST2 y ST3 no se ven influenciados por embalsamiento debido al muro, por lo que el nivel que registran se debe netamente al régimen de los esteros.

6.2 Variación Niveles Freáticos

En la Lámina 8.1 se puede observar la variación de niveles en el acuífero en el área de estudio, en siete periodos de medición (12-08-2014, 20-08-2014, 26-09-2014, 26-09-2014, 02-10-2014, 10-10-2014, 16-10-2014) se aprecia que existe un pequeño aumento en la primera semana de medición en torno al 0,1 (m) de incremento a la condición del 12-08-2014, pero si se contrasta con el último periodo de registro, 45 días después, se nota claramente un aumento en los niveles, en aproximadamente 0,6 (m). Además, se puede notar el avance del aumento de los niveles desde los pozos que están más próximos al Estero a los que están más lejanos ubicados a 500 (m) del Estero. En el último periodo de tiempo se logra apreciar un aparente retroceso en el avance de los niveles del acuífero, esto se puede deber a que el acuífero está logrando una estabilización más horizontal, lo que se puede notar en los pozos que están más alejados del estero aumentan sus niveles mientras los que están cercano al estero no producen incremento, y más, bien existe una disminución en los niveles registrados.

Lámina 8.1: Evolución de Niveles en el Acuífero



En la Figura 6.1 se presentan los registros de los niveles de los pozos y del sensor ubicado en el muro.

A simple vista se observa que el PM3, ubicado a 100 (m) del estero se comporta distinto a los otros pozos, más bien tiene un comportamiento similar a lo que sucede en el estero, a medida que disminuye la carga en el estero, también lo hace este pozo. Esto quiere decir que existe un flujo preferente entre ambas unidades, el cual probablemente sea de arenas o incluso grava.

Otra singularidad es que los niveles registrados en PM4 (a 200 (m) del estero) son mayores a los registrados en PM2 (a 50 (m) del estero) a pesar de que está ubicado a una mayor distancia. Esto denota que el acuífero no es horizontal sino que se tiene un plano inclinado, el cual permite que existan niveles más altos a pesar de estar más lejos del estero.

Los otros 3 pozos: PM1(a 25 (m) del estero), PM2 y PM4, presentan un comportamiento similar. El nivel de los 3 aumenta a una pendiente constante desde el inicio del registro hasta el 30 de agosto, período el cual se atribuye a la saturación del suelo.

Entre el 31 de agosto y el 6 de septiembre se observa una gran pendiente en los niveles de los tres pozos hasta llegar a una estabilización. Esa pendiente corresponde al aumento de los niveles debidos a la carga del río y el suelo saturado. Se debe recordar que el suelo al estar saturado, el agua se mueve a mayor velocidad. Mientras que para PM1 se observa el 30 de agosto, para PM2 ocurre el 1 de septiembre y para PM3 el 2 de septiembre.

En la Figura 6.2 se presenta el cono de infiltración producido debido a la recarga del acuífero, es decir la altura de agua registrada tanto en los pozos como en el estero, para distintos períodos de tiempo. La zona achurada representa el aumento de niveles freáticos dentro del acuífero en las nueve semanas de medición. En la semana 9 se observa como en el acuífero se genera un cono, es

6.3 Volumen de Recarga

En base a la información recopilada se define un polígono que está inserta entre los pozos de monitoreo. Este polígono define un área aproximada de 21 (ha), y restando los niveles obtenidos entre el 12-08-2014 y 26-09-2014, lo que en total suman 45 días de mediciones, se obtiene un aumento de niveles entre este periodo de 0,6 (m) en promedio (ver Figura 6.3). El volumen en el cual se almacena el agua infiltrada equivale a 133.000 (m³). Este volumen está siendo ocupado tanto por agua como por suelo, por lo tanto para determinar el volumen agua infiltrada, se debe multiplicar los 133. 000 (m³) por la porosidad del medio. A partir del Anexo I, se considera un valor de porosidad $n=0.35$, equivalente a arenas finas para la zona en estudio. De esta forma el volumen de agua infiltrado dentro del polígono monitoreado equivale a 46.550 (m³).

Al extrapolar este volumen a toda el área que se mantiene el espejo de agua generado por el apesamiento del dique (1,5 (km) aguas arriba aproximadamente), se generan un estimado de 185.500 (m³)

decir aumenta considerablemente el nivel en los pozos, superando los 50 (cm) en todos estos con respecto a la semana 0. Es necesario destacar que a pesar de que la carga en el estero disminuye en más de 50 (cm) entre la semana 0 y la 9, el nivel en los pozos es mayor, lo cual indica que la recarga es efectiva y que el volumen de agua en el acuífero aumentó.

Figura 6.1: Registro de Niveles Continuos en el Tiempo.

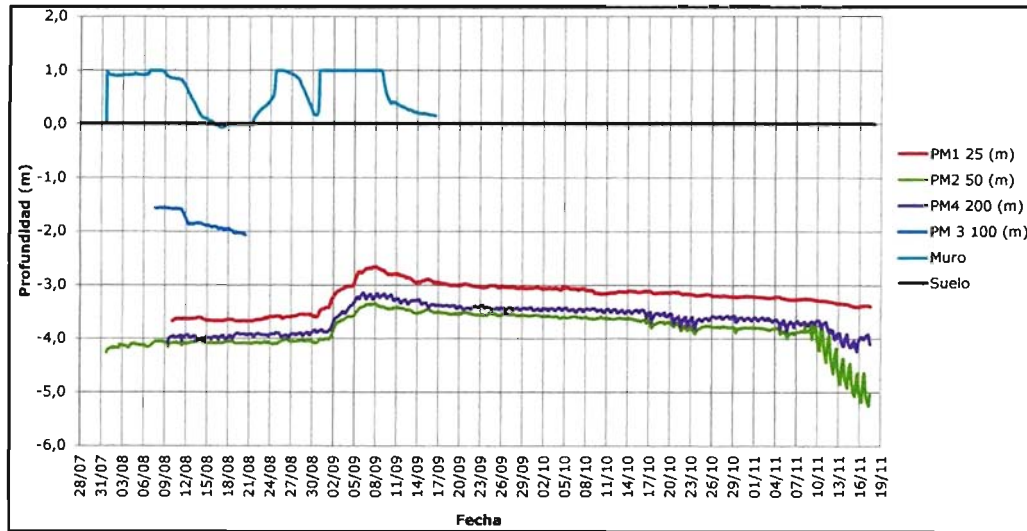


Figura 6.2: Cono de Infiltración Producido.

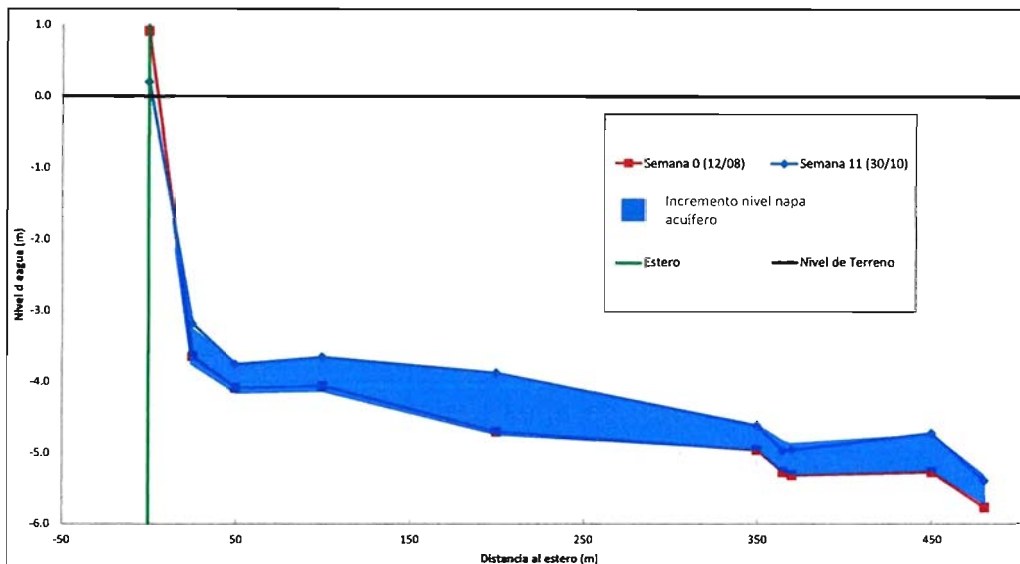
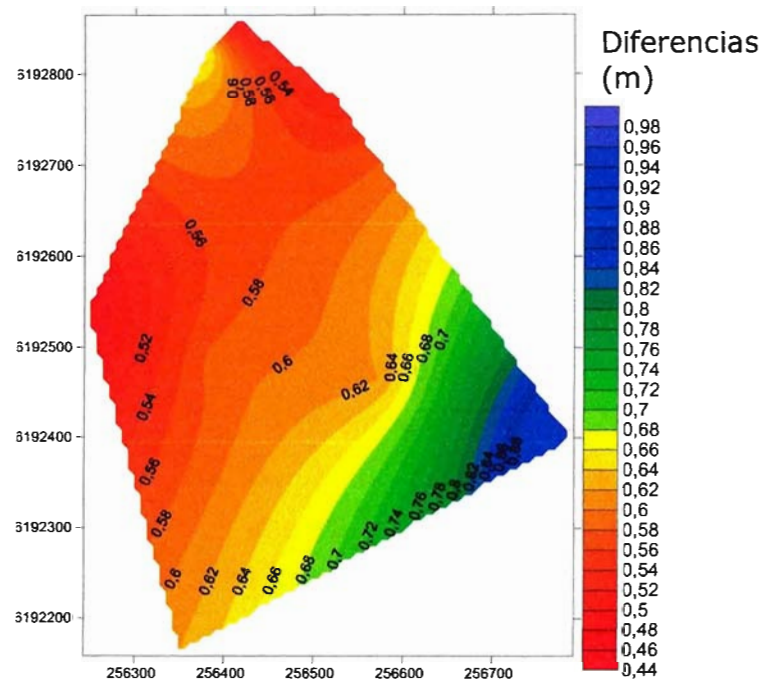


Figura 6.3 : Aumento Niveles en Polígono Monitoreado



6.4 Transmisividad y Conductividad Hidráulica

6.4.1 Transmisividad

La transmisividad hidráulica de un acuífero es el producto del espesor saturado de dicho acuífero y la conductividad hidráulica. (ver Tabla 6.2).

Tabla 6.2: Transmisividad Hidráulica.

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen	46.550	m ³
Tiempo	3.024.000	s
Caudal	15	l/s
Longitud	500	m
Transmisividad	3,08E-05	m ² /s

Se estima un caudal infiltrado de 15 (l/s) para el área del polígono circunscrito en la red de monitoreo habilitada (aproximadamente 500 (m) x 500 (m)), en un

periodo de tiempo de 5 semanas, lo que corresponde a la semana siguiente de alcanzar el máximo nivel freático registrado en la red de monitoreo.

6.4.2 Conductividad Hidráulica

Se determina un valor de conductividad para cada par de piezómetros (puntos de medición) y para cada par de mediciones. En particular se calcularon conductividades para 9 días de medición (12-08, 20-08, 16-09, 29-09, 02-10, 10-10, 16-10, 27-10 y 17-11), es decir 8 valores de K para cada par de pozos, luego se promedia los valores de cada par, para obtener la conductividad hidráulica representativa del acuífero para cada par de datos de medición (ver Tabla 6.3). Finalmente al promediar estos valores para obtener un valor representativo de la conductividad del acuífero, se tiene que $K=5,3E-03$ (cm/s), lo cual se condice con lo concluido a partir del análisis granulométrico presentado en la sección 5.2.

Se destaca que para calcular estos valores se excluye PM3 dada el flujo preferente existente entre el estero y el pozo.

Tabla 6.3: Conductividad Hidráulica.

Dato	Inicio registro	Fin registro	K (cm/s)
1	12-08-2014	20-08-2014	7.7E-03
2	20-08-2014	16-09-2014	4.9E-03
3	16-09-2014	29-09-2014	3.5E-03
4	29-09-2014	02-10-2014	8.0E-03
5	02-10-2014	10-10-2014	1.3E-03
6	10-10-2014	16-10-2014	6.5E-03
7	16-10-2014	27-10-2014	2.2E-03
8	27-10-2014	17-11-2014	6.3E-03
Promedio			5.1E-03

Se debe recordar que la ley de Darcy es válida para un medio continuo, homogéneo, isótropo y sólo es válida para el agua en régimen laminar, por lo que los resultados no son exactos, pero si válidos.

6.5 Caudal Infiltrado

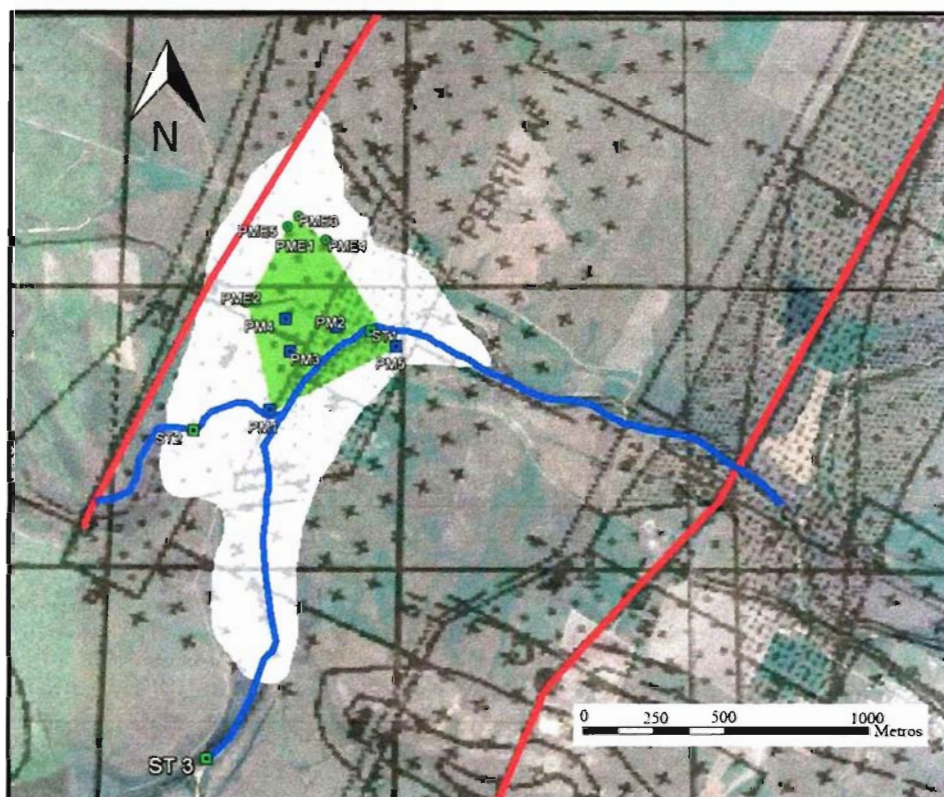
A partir del caudal infiltrado registrado para el polígono monitoreado (en verde en la Figura 6.4) y el estudio geofísico (perfiles representados por líneas rojas en la Figura 6.4), se calcula el caudal total infiltrado en la zona en estudio. Para esto se toma como supuesto que la relación entre el caudal infiltrado monitoreado y todo el caudal infiltrado es directamente proporcional a la relación entre el área monitoreada y el área total de infiltración.

Se elabora entonces la Tabla 6.4 obteniendo un caudal total infiltrado de 80 (l/s).

Tabla 6.4: Caudal Total Infiltrado.

Sector	Área (m ²)	Caudal (l/s)
Monitoreado	177.417	15
No monitoreado	742.819	65
Total	920.236	80

Figura 6.4: Zona Potencial de Recarga



7 INFORME DESMANTELAMIENTO MURO CADENAS

7.1 Desmantelamiento Muro Cadenas

El día 25 de Noviembre del 2014, se llevaron a cabo las obras de desmantelamiento del muro Cadenas, proceso que se realizó con la ayuda de maquinaria pesada (retroexcavadora).

Figura 7.1: Estado final tras desmantelamiento.



8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- La implementación del piloto a escala real de recarga en el Estero Las Cadenas se considera un éxito y un impulso a la materialización de este tipo de iniciativas, debido al incremento de los niveles freáticos monitoreados durante la ejecución del proyecto.
- Gracias al experimento se logra obtener un volumen de recarga de 46.550 (m³). Este volumen está asociado al polígono que circunscribe la red de monitoreo implementada, equivalente a 500 (m) x 500 (m) aproximadamente, lo que corresponde a un aumento de niveles de 0,6 (m) en promedio, para el periodo comprendido entre el 12-08-2014 y el 16-10-2014 (periodo de tiempo en que la red de monitoreo se encuentra operativa con niveles estáticos antes de la explotación de los pozos en el área de estudio).
- Si se extrapola este volumen a toda el área que se mantiene el espejo de agua generado por el apesamiento del dique, alrededor de 1,5 (km) aguas arriba, se generan un estimado de 185.500 (m³) almacenados. Este volumen podría ser infiltrado por un total de 50 pilotos balsa de infiltración de 30 (m) x 30 (m) bajo condiciones similares de conductividad hidráulica del suelo.
- Se determina mediante la ley de Darcy un coeficiente de conductividad hidráulico (K) de 5,1E-03 (cm/s), el cual es coincidente en el orden de magnitud estimado en los ensayos de infiltración.
- Se estima un caudal infiltrado de 15 (l/s) para el área del polígono circunscrito en la red de monitoreo habilitada (aproximadamente 500 (m) x 500 (m)), en un periodo de tiempo de 5 semanas, lo que corresponde a la semana siguiente de alcanzar el máximo nivel freático registrado en la

red de monitoreo. Al extrapolar de manera ponderada este valor para toda la zona de proyecto, se obtiene un caudal total infiltrado de 80 (l/s).

- En las fichas estratigráficas de los pozos habilitados, se puede observar que los primeros metros de suelo, son altamente impermeables, lo que presenta un problema para la generación de experimentos del tipo balsa de infiltración, debido a que se debería remover la totalidad del suelo impermeable para generar la recarga. Otro inconveniente de la implementación de balsas de infiltración en este sector es que la cota de terreno se encuentra 2 (m) por sobre la cota del estero, lo que lleva a una remoción de 2.700 (m³) de suelo con el fin de generar un desnivel de al menos 1 (m) para asegurar el funcionamiento de una balsa de 30 (m) x 30 (m).
- Una vez que el suelo está saturado, la infiltración en el acuífero aumenta en un orden de magnitud más rápido. El tiempo en llegar a la saturación es proporcional a la distancia al estero, lo cual se observa en el comportamiento del cono de infiltración.
- El caudal pasante no se puede obtener debido a que los instrumentos presentaron anomalías en sus registros, debido a que su rango de medición fue de tan solo un metro, cuando se esperaba por especificaciones técnicas del mismo que pudiera medir hasta 2 (m). Por otro lado, realizar un balance hídrico no es la mejor opción debido a que no se puede determinar el caudal subsuperficial que escurrió bajo el muro. Sin embargo, existe una manera de determinar de forma efectiva la infiltración, mediante el registro de los niveles en los pozos y el volumen almacenado en un periodo de tiempo.
- En función de la exhaustiva recopilación y análisis de los antecedentes hidrogeológicos, hidrológicos y de derechos de agua de toda el área de estudio Marchigüe-Las Cadenas, se obtuvo valiosa información referente a

perfiles estratigráficos, parámetros elásticos del acuífero y disponibilidad de recursos hídricos. Se identificó a la zona de Demasías en el Estero Las Cadenas como la más propicia para el emplazamiento de una laguna de infiltración, información que fue corroborada con compañías de terreno donde se realizaron calicatas, ensayos de infiltración y monitoreo de niveles de pozos.

8.2 Recomendaciones

A partir de las experiencias obtenidas de la realización del Estudio Básico Análisis Alternativas Piloto Recarga Artificial Marchigüe se recomienda:

- Realizar análisis físico-químicos durante la época invernal para la fuente de agua pues al recargar el acuífero, la calidad de agua infiltrada debe ser igual o mejor a la calidad del agua almacenada en este.
- Que la construcción de proyectos de este tipo (represamiento en Esteros) se realice en épocas de verano o en épocas en que no se presenten precipitaciones, donde se pueda trabajar en seco. Principalmente para evitar los inconvenientes que presentan las construcciones bajo el agua, además de encarecer todos los gastos de implementación.
- Para futuras ejecuciones de experiencia similares, informar a la comunidad mediante talleres informativos y/o comunicados en radios o periódicos locales, con el fin de involucrar a la ciudadanía sobre las implicaciones y beneficios del estudio para la comunidad y evitar problemas de acceso a predios o de otras índole.
- Se recomienda continuar el monitoreo de los niveles del acuífero en el sector de manera periódica con el fin de visualizar el comportamiento a largo plazo.

9 REFERENCIAS

Aguirre, L. 1960. Geología de los Andes de Chile Central (provincia de Aconcagua). Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín, No. 9

Aqualogy, 2013. Estudio básico "Análisis alternativas piloto recarga artificial Ligua-Petorca, V Región". CNR

Börgel, R. 1983. Geografía de los climas. In: Geografía de Chile. Santiago, Instituto Geográfico Militar. Figura Región de O'Higgins.

Brüggen, J. 1950. Fundamentos de la geología de Chile. Instituto Geográfico Militar. Santiago.

Carter, Bentley. 1991. Correlations of Soil Properties, Carter and Bentley, Pentech Press.

Cecioni, G. 1980. Darwin's Navidad embayment, Santiago region, Chile, as a model of the southeastern Pacific shelf. Journal of Petroleum Geology 2-3: 309-321.

Charrier, R. 1981. Geologie der chilenischen Haupteordillere zwischen 34°30' südlicher Breite und ihre tektonische, magmatische und paleogeographische Entwicklung. Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen (A) 36.

Charrier, R., Arcos, R., Caro, R., Malbrán, F. 1983. Hoja El Teniente, 156 p. Carta Geológica de Chile Escala 1:250.000

Charrier, R., Baeza, O., Elgueta, S., Flynn, J.J., Gans, P., Kay, S.M., Muñoz, N., Wyss, A.R., Zurita, E., 2002. Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat-slab segment, southern Central Andes, Chile (33°-36° S.L.). Journal of South American Earth Sciences, V. 15, p. 117-139

Corvalán, J.; Munizaga, F. 1972. Edades radiométricas de rocas intrusivas y metamórficas de la Hoja Valparaíso-San Antonio. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín: 28 p.

Covacevich, V.; Varela, J. y Vergara, M. 1976. Estratigrafía y sedimentación de la Formación Baños del Flaco al sur del río Tinguiririca, Cordillera de Los Andes, provincia de Curicó, Chile. 21 p.

DGA – SITAC, 1998. "Diagnóstico Potencial Hídrico Acuíferos Costeros Provincia Cardenal Caro, VI Región".

DGA SDT 160., 2003. Evaluación Recursos Subterráneos VI Región.

DGA, MOP, 2003. Informe técnico de Evaluación de Recursos Hídricos Subterráneos de la VIª región (S.D.T. N°160), 44 p.

DGA, 2005. Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la VI Región, Modelación Hidrogeológica de los Valles de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca; S.D.T. N° 209.

EDRA, 1997. Fuentes de abastecimiento de agua subterránea. Proyecto Marchigüe.

Escobar, F., Guzman, R., Vieira, C. 1977. Avance geológico de las Hojas Rancagua-Curicó, Talca-Linares y Concepción-Chillán. Instituto de Investigaciones geológicas (Inédito), 20 p. Santiago, Chile.

ESSEL, 1997. "Informe Hidrogeológico y Diseño de Fuente de Agua de Varias Localidades de la Sexta Región". Localidad: Trinidad – Los Maitenes.

ESSEL, 2001. "Estudio Hidrogeológico para 19 Ciudades y Pueblos de la VI Región" Pueblos de Peralillo y Población.

ESSEL, 2002. Estudio Hidrogeológico y Prediseño de Sistema de Agua Potable Rural para Diversas Localidades de la Sexta Región. Localidad: Santa Ana.

Estudio Matus, 2006. "Clasificación agronómica de suelos del Fundo San Joaquín"

Farías, M. 2007. Tectonique, erosion et evolution du relief dans les Andes du Chili Central au course du Neogene (*Tectónica, erosión y evolución del relieve en Los Andes de Chile Central en el curso del Neógeno*) Tesis de doctorado, Université Toulouse III, p. 47 – 52; figura IV-2, p. 151.

Favero, G. y Katz, R. 1998. El uso de normas de calidad y de emisión en la gestión de los recursos hídricos. Revista Estudios Públicos Nº 69, p. 85 – 104.

Godoy, E., Yáñez, G., Vera, E. 1999. Inversion of an Oligocene volcano-tectonic basin and uplift of its superimposed Miocene magmatic arc, Chilean Central Andes: first seismic and gravity evidence. Tectonophysics, 306: 217-326.

Godoy, E., Schilling, M., Solari, M., Fock, A. 2009. Geología del área Rancagua - San Vicente de Tagua Tagua, región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Escala 1:100.000. Subdirección Nacional de Geología, Boletín, Nº 118, p. 22 – 23.

Hauser, A. 1990. Hoja Rancagua VI Región. Carta Hidrogeológica Nº 1 de Chile. Escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. ISSN 0716-7555.

Instituto Nacional de Normalización INN-Chile. 1978. Norma Chilena Oficial 1.333 Of. 78, modificada en 1987. "Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos". Segunda Edición, 1987. Páginas 3, 4 y 5.

Kay, S.M., Godoy, E., Kurtz, A. 2005. Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion, and magmatism in the south-central Andes. Geological Society of America, Bulletin 117(1-2): 67-88.

Klohn, C. 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provincia de Santiago, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 8: 95 p. Santiago.

Nuñez, L., Varela, J., Casamiquela, R., Schiappacasse, V., Niemeyer, H., Villagrán, C. 1994. Cuenca de Taguatagua en Chile: el ambiente del Pleistoceno superior y ocupaciones humanas. Revista Chilena de Historia Natural 67: 503-519, 1994.

Nyström, J.O., Parada, M.A., Vergara, M. 1993. Sr-Nd isotope compositions of Cretaceous to Miocene volcanic rocks in central Chile: A trend toward a MORB signature and a reversal with time: Second International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG) No. 2, Abstractos Extendidos: 411-414. Oxford.

Piquer, J., Castelli, J., Charrier, R., Yáñez, G. 2010. El Cenozoico del alto río Teno, Cordillera Principal, Chile central: Estratigrafía, plutonismo y su relación con estructuras profundas, 22 p.

Ricardo Edwards G. Ingenieros, 1982. Estudio de actualización de catastro de usuarios del agua para regularización de sus derechos en estero Chimbarongo tributario del Río Tinguiririca. VI Región.

Sellés, D., Gana, P. 2001. Geología del área Talagante - San Francisco de Mostazal. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos 74: 30 p., 1 mapa escala 1:100.000.

Servicio Nacional de Minería, Gobierno de Chile – Servicio Nacional de Minería de Japón. 1983 – 1984. Estudio Geológico y Geoquímico del Sector de Lo Cipreses, segunda parte, 109 p.

Sernageomin. 2008. Mapa Geológico de Chile Escala 1:1.000.000, formato digital.

Thomas, H. 1958. Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de La Ligua y la Cuesta de Barriga. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 2: 86 p. Santiago.

Varela, J. 1976 a. Estudio estratigráfico sedimentológico de los depósitos de Laguna Taguatagua, Provincia de O'Higgins. Memoria de prueba para optar al título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Varela, J. 1976 b. Geología del Cuaternario de la Laguna Taguatagua (Provincia de O'Higgins). Actas Primer Congreso Geológico de Chile, Tomo I. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Vergara, M., Drake, R. 1979. Edades K/Ar en secuencias volcánicas continentales postneocomianas de Chile Central; su depositación en cuencas intermontanas restringidas, p. 45 – 47.