INFORME TÉCNICO

Barrio Industrial CHACALLUTA ZOFRI S. A.
Evaluación de la Vulnerabilidad del Acuífero

Santiago, agosto de 2006

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 672 7001, E-mail: castillo@netline.cl

Tabla de contenido

		Pág.
1.-	Introducción	1
2.-	Metodología y antecedentes	1
3.-	Resultados	3
4.-	Cálculo de la vulnerabilidad	5
	4.1.- Nivel estático del acuífero	6
	4.2.- Puntaje S: Capacidad de Campo Efectiva	9
	4.3.- Factor R: Tasa de Percolación o Recarga	9
	4.4.- Cálculos relativos al Pozo N° 1	9
	4.5.- Cálculos relativos al Pozo N° 2	10
	4.6.- Cálculos relativos al Pozo N° 3	12
	4.6.1.- Litología de la Zona no Saturada	12
	4.6.2.- Efectividad de Protección Generalizada	13
	4.7.- Cálculos relativos al Pozo ZOFRI Captagua	15
	4.7.1.- Litología de la Zona no Saturada	15
	4.7.2.- Efectividad de Protección Generalizada	16
	4.8.- Cálculos relativos al Pozo D. O. S	17
	4.8.1.- Litología de la Zona no Saturada	17
	4.8.2.- Efectividad de Protección Generalizada	18
5.-	Resumen y conclusiones	19
	Anexo 1: Mapa Topográfico de la Zona	
	Anexo 2: Mapa de la Geología de Superficie	
	Anexo 3: Perfiles estratigráficos consultados	

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

1.- Introducción

El Decreto Supremo N º 46 de fecha 8 de marzo de 2002, que establece la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas, estipula los requisitos de calidad de las aguas que se dispongan, mediante obras de infiltración, en cuerpos de aguas subterráneas. La calidad requerida para las descargas depende de la vulnerabilidad del acuífero y, en caso que ésta corresponda a la categoría alta, no se permite la descarga por infiltración, a menos que la calidad del efluente sea igual o superior a la de las aguas subterráneas. Si la vulnerabilidad del acuífero se califica como media, son aplicables los límites contenidos en la tabla Nº 1 del D.S. Nº46 y, en caso que ésta sea calificada como baja, son aplicables los límites contenidos en la tabla Nº 2.

Este informe ha sido preparado con el propósito de someterlo a la evaluación de la Dirección General de Aguas y en él se determina la vulnerabilidad del acuífero en el que infiltran actualmente los residuos líquidos generados por el funcionamiento del barrio industrial de la ZOFRI S. A. y para lo cual se requiere cumplir con los requisitos que establece la nueva normativa. En el informe se explicitan todos los procedimientos realizados y en anexos se entregan todos los antecedentes que fueron utilizados.

2.- Metodología y Antecedentes

La metodología utilizada para la evaluación de la vulnerabilidad del acuífero es la descrita por el "Manual para la Aplicación del Concepto de Vulnerabilidad de Acuíferos Establecido en la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas. Decreto Supremo N º 46 de 2002" (en adelante el Manual), elaborado en septiembre de 2004 por el Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas.

El método descrito en el Manual combina, mediante un esquema de puntajes, cuatro factores relevantes que determinan o influyen en la rapidez con la que una determinada sustancia alcanza el acuífero, suponiendo una infiltración desde un sector en la superficie o cercano a ella. Dichos factores son:

a) la capacidad de campo efectiva del suelo (ocupado por organismos vegetales), atravesado por el contaminante,
b) el monto de la recarga natural al acuífero, dada por la precipitación efectiva, y la recarga artificial dada por la infiltración misma,
c) la litología, es decir el tipo de sedimentos o rocas presentes en la zona no saturada, atravesada por el contaminante,

General Garcia 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

d) y el espesor de la zona no saturada atravesada por el contaminante antes de alcanzar el acuífero.

Los principales antecedentes utilizados para evaluar la vulnerabilidad, son los estudios **hidrogeológicos** disponibles y los asociados a la perforación de pozos y sondajes en las proximidades del sector de interés. Estos antecedentes son los siguientes:

a) **El Estudio Hidrogeológico Quebrada de Escritos**, realizado en 1998 por Ayala y Cabrera Ingenieros Consultores, de donde se obtiene la información necesaria para determinar el nivel estático del acuífero en el lugar de la infiltración. En los anexos se ajunta el mapa topográfico de la zona, que muestra los pozos utilizados en el estudio, con los niveles de agua subterránea y su fecha de medición.

b) **Estudio del Mapa Hidrogeológico Nacional**: escalas 1:1.000.000 y 1:2.500.000. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, IPLA Ingenieros Consultores. Santiago, Chile, 1986, utilizado para definir las características hidrogeológicas generales de la zona. SAD CLASIFICACION SUB-435 ESTANTERIA.

Según este estudio, el acuífero estudiado se encuentra hidrogeológicamente ubicado en la Región de la Concordia (Cuenca DGA N ° 011), que corresponde "*...a la zona costera comprendida entre la frontera con Perú y la Q. de la Concordia al Oeste de la carretera Arica-Tacna. Se encuentra sobre el relleno fluvial que se extiende sobre esta región.*"

Con respecto a las formaciones acuíferas, este informe señala que:

"Existe un acuífero libre que en ciertos sectores se comporta como semiconfinado, compuesto principalmente por arena, ripio y algo de arcilla en variadas proporciones. Su espesor sería variable, aunque superior a 60 m. Los menores espesores se presentan en el sector costero y los mayores, sobre los 120 m, en la parte alta cercana a la frontera con Perú. "

De la profundidad del nivel estático se señala:

"Los niveles estáticos se presentan a profundidades diferentes según se trate de áreas cercanas a la costa o vecinas a la frontera (13 y 84 m como promedio, respectivamente)

CLASIFICACION SUB

La capa presenta una interfase agua salada – agua dulce que se extiende hasta unos 8 Km. de la costa a una profundidad superior a 350 m."

QUEDA PENDIENTE HASTA RECIBIR ANT. CIEH ESTUDIO b)

General Garcia 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

c) **Información generada en pozos cercanos**, relativa a la estratigrafía del subsuelo y que se obtiene de los expedientes de solicitud de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas. Se utiliza la información de los expedientes de tres pozos cercanos, de los que se presenta el número de expediente y la ubicación a continuación:

Pozo	:	**ZOFRI Hidrosan**
N ° Expediente	:	ND-0101-144
UTM Norte	:	7.970.050 metros
UTM Este	:	360.175 metros
Pozo	:	**ZOFRI Captagua**
N ° Expediente	:	ND-0101-249
UTM Norte	:	7.973.597 metros
UTM Este	:	360.354 metros
Pozo	:	**D. O. S.**
N ° Expediente	:	ND-0101-16
UTM Norte	:	7.972.620 metros
UTM Este	:	357.230 metros

Es importante mencionar que en todo momento, el criterio utilizado fue elegir la opción más desfavorable, es decir, se escogió un valor de cuya aplicación resultara una mayor vulnerabilidad del acuífero.

3.- Resultados

Los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología descrita en el Manual, que entrega resultados de vulnerabilidad asociados a cada pozo cuya estratigrafía se utilizó, se presentan en la Tabla N°1.

Tabla N°1: Resultados obtenidos de la aplicación de la metodología descrita en el Manual

Pozo	UTM Este	UTM Norte	Pt	Vulnerabilidad
ZOFRI Hidrosan	360.175	7.970.050	1.737,50	**Media**
ZOFRI Captagua	360.354	7.973.597	3.350	**Baja**
D. O. S.	357.230	7.972.620	1.793,75	**Media**

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

Como se puede observar en la Tabla N°1, los resultados obtenidos en términos de puntaje son bastante homogéneos, por lo que se pueden extrapolar al sitio de interés. De los resultados del cálculo de la vulnerabilidad con las características de la litología de los pozos utilizadas, y utilizando el criterio de la seguridad, se concluye que se trata de un acuífero con **vulnerabilidad media**.

General Garcia 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

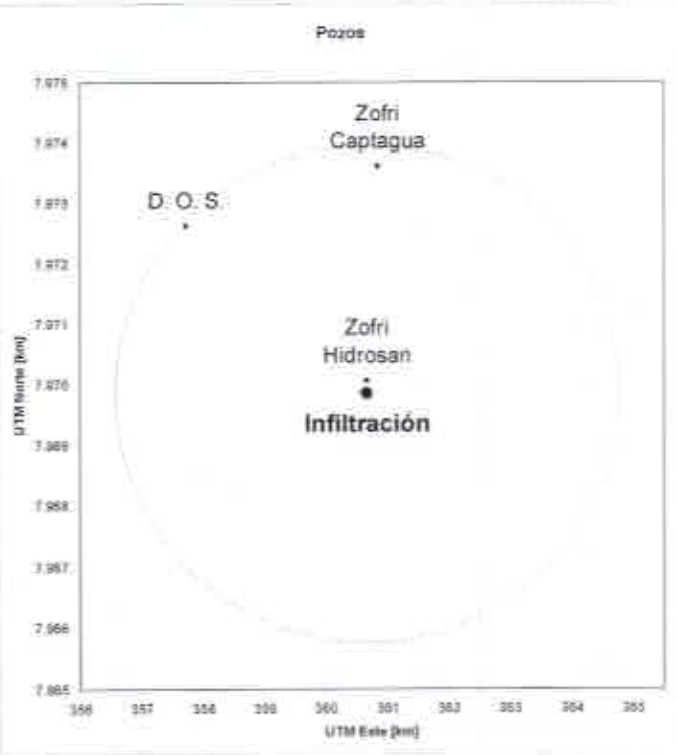
4.- Cálculo de la vulnerabilidad

Se realizó el cálculo de la vulnerabilidad a partir de los antecedentes de la litología de la zona no saturada de tres pozos que se encuentran dentro de un radio de 4,1 kilómetros desde el lugar de la infiltración. En la Tabla Nº 2 se presentan las coordenadas UTM y los códigos de los expedientes de los pozos utilizados, en tanto que en la Figura Nº 1 se muestra gráficamente la localización geográfica de los pozos. El lugar de infiltración se ubica 200 metros al sur del pozo ZOFRI Hidrosan.

Tabla Nº 2: Datos de los pozos utilizados

Pozo	UTM Este	UTM Norte	Expediente
ZOFRI Hidrosan	360.175	7.970.050	ND-0101-144
ZOFRI Captagua	360.354	7.973.597	ND-0101-249
D. O. S.	357.230	7.972.620	ND-0101-16
Infiltración	360.175	7.969.850	

Figura Nº 1: Localización geográfica de los pozos utilizados



Pozo + círculo a 200 m

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

Si bien en el Manual se solicita que el estudio se realice a partir de datos estratigráficos de pozos que se encuentren dentro de un radio de 2 kilómetros, en la búsqueda realizada en las oficinas de la Dirección Regional de Aguas de la Primera Región, se constató que de los antecedentes estratigráficos disponibles, los pozos considerados son los más cercanos al lugar de la infiltración. Por otro lado, como se aprecia en la Figura Nº 1 los pozos se encuentran geográficamente distribuidos de manera tal que permiten realizar una estimación certera de la litología de la zona no saturada en el lugar de la infiltración.

Se presentan a continuación los cálculos y resultados que son comunes para los tres pozos y, posteriormente, los cálculos y resultados particulares de cada pozo, que tienen relación con la litología de la zona no saturada, y la estimación final de la vulnerabilidad del acuífero.

4.1.- Nivel estático del acuífero

En el Manual se especifica que para realizar la estimación de la vulnerabilidad del acuífero se debe conocer el nivel estático histórico del acuífero (si existe) o se debe contar con mediciones del nivel de la napa en el período de mayores niveles (si no existe estadística). Para efectos prácticos, el parámetro que interesa es la profundidad del nivel freático.

Como ya se mencionó, para la determinación de la profundidad del nivel freático se utilizó como base la información proporcionada por el Estudio Hidrogeológico Quebrada de Escritos, en el que se trazaron las curvas isofreáticas de la zona, las que se muestran en la Figura 2. Dicho trazado se realizó en base a los datos obtenidos en una campaña de terreno realizada en agosto de 1998, donde se midió los niveles estáticos en todos los sondajes en que fue posible hacerlo, y en base a las cotas de terreno de los sondajes La consistencia de las mediciones realizadas se verificó con la estadística existente.

Los datos utilizados para el trazado de las curvas isofreáticas se presentan en la Tabla Nº1.

Como se puede ver en la, el trazado de las curvas isofreáticas es consistente desde el punto de vista conceptual, al ser paralelas a la orilla del mar e ir creciendo en cota a medida que alejan de esta. Esto se justifica conceptualmente si se considera al mar como la única condición de borde del acuífero, al tratarse la Quebrada de Escritos de un cauce sin escurrimiento permanente.

Considerando la consistencia del mapa de curvas isofreáticas, se utiliza para determinar la profundidad del nivel estático en el lugar de la infiltración. Como se ve

General Garcia 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

en la Figura 2, y aplicando el criterio de la seguridad, en el lugar de la infiltración la cota del nivel estático es de poco más de 6 metros. Por otro lado, se tiene que la cota del terreno en el lugar de la infiltración según la información extraída de información satelital, es de 213 pies ó 64,9 m, con lo que se tiene que la profundidad del nivel estático es no menor que 54,9 m.

Además se conoce la información proporcionada por el expediente N ° ND-0101-144, del pozo ubicado 200 m al norte del lugar de la infiltración, en el que se afirma que "al término de la perforación el nivel estático se encontraba en 52,0 metros".

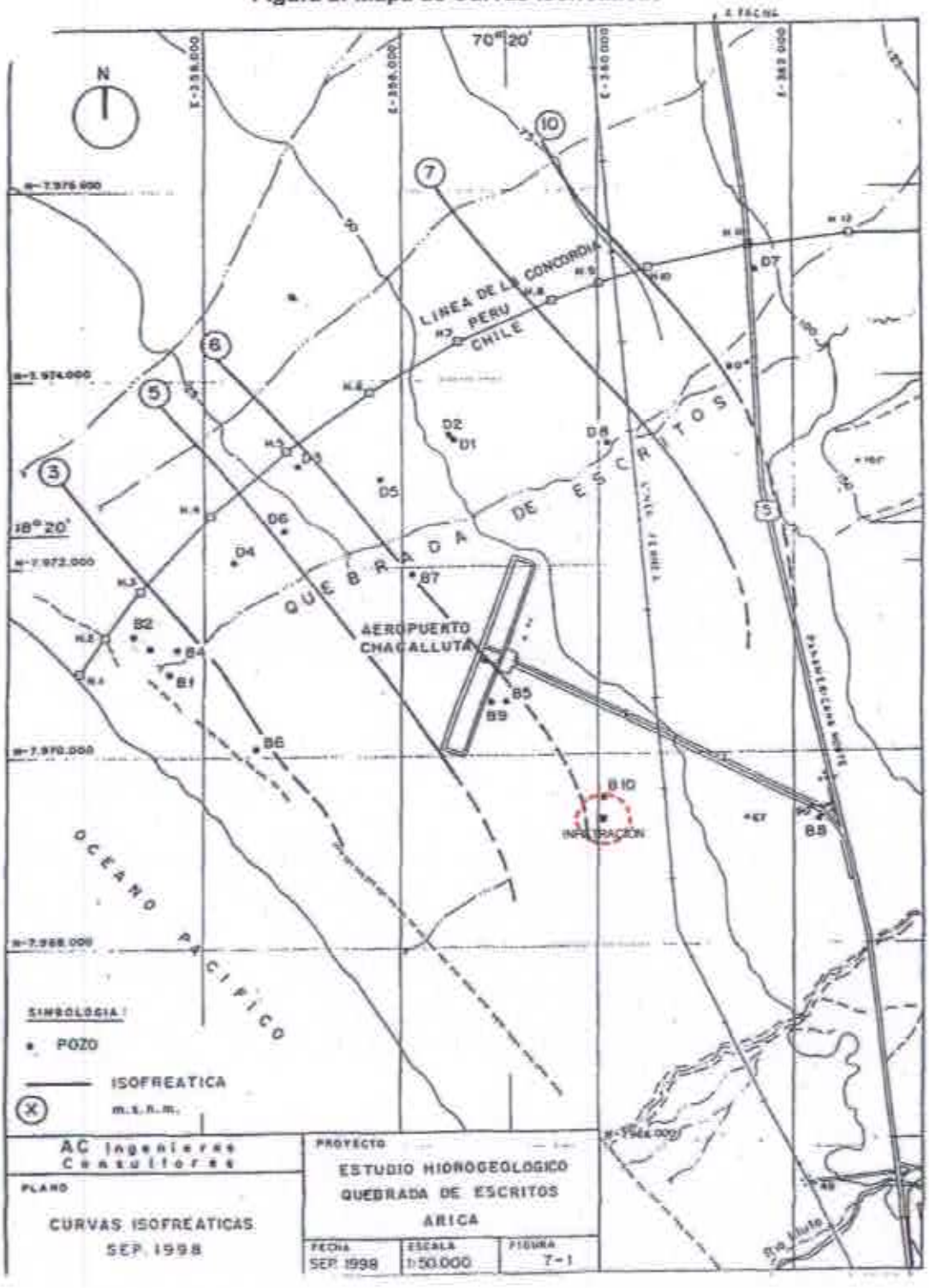
Con los antecedentes anteriores y utilizando el criterio de la seguridad, se decide considerar una profundidad del nivel estático de 52 m en el lugar de la infiltración.

Tabla Nº 1: Datos utilizados en trazado de curvas isofreáticas

Pozo	UTM Norte [m]	UTM Este [m]	Cota Terreno [m.s.n.m.]	Prof. Nivel [m]	Cota Nivel [m.s.n.m.]
1810-7020 D2	7.973.375	358.505	53,00	46,36	6,64
1810-7020 D3	7.973.052	356.878	38,00	32,07	5,93
1810-7020 D4	7.972.036	356.283	29,00	24,15	4,85
1810-7020 D5	7.972.931	357.704	44,00	37,53	6,47
1810-7020 D6	7.972.399	356.805	33,50	29,05	4,45
1810-7020 D7	7.975.013	361.340	96,00	83,07	12,93
1810-7020 D8	7.973.597	360.354	67,40	60,77	6,63
1810-7020 B1	7.970.860	355.616	16,00	13,53	2,47
1810-7020 B2	7.971.387	355.293	17,50	14,92	2,58
1810-7020 B3	7.971.125	355.700	18,00	15,00	3,00
1810-7020 B4	7.971.355	355.282	16,50	14,20	2,30
1810-7020 B5	7.970.489	359.005	48,00	42,06	5,94

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

Figura 2: Mapa de Curvas Isofreáticas



General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

4.2.- Determinación del Caudal de Infiltración

El caudal a infiltrar del parque industrial Chacalluta es equivalente a 1184,3846 m^3/semana, con lo que se tiene un volumen total anual de infiltración de 61.588 m^3/año[1], este volumen fue determinado en base al registro de producción y consumo de agua.

4.3.- Superficie de Infiltración

La superficie de infiltración se determino en base a la infraestructura de infiltración existente constituida por cuatro pozos absorbentes, los cuales en conjunto representan una superficie total de 170,5 m^2 de acuerdo al siguiente detalle.

Obras de Infiltración	Diámetro (mts)	Superficie (m^2)
Pozo absorbente Nº1	5	19,6
Pozo absorbente Nº2	6	28,3
Pozo absorbente Nº3	10	78,5
Pozo absorbente Nº4	7,5	44,2
Total superficie m^2		170,5

4.4.- Puntaje S: Capacidad de Campo Efectiva

En el caso que la emisión se realice hacia un suelo, se debe evaluar la Capacidad de Campo Efectiva (CCE) de dicho suelo. La Capacidad de Campo Efectiva Unitaria (CCEU), medida en mm/dm, se debe determinar para cada horizonte de suelo individual, por medidas hechas en terreno, analizadas en el laboratorio o con la ayuda de tablas estándar de manuales de mapeo de suelos. La CCEU se multiplica luego por el espesor del horizonte en decímetros (dm). La capacidad de campo efectiva total del suelo (ΣCCE) se obtiene mediante la suma de los valores calculados para cada horizonte hasta 1 metro de profundidad (o hasta el nivel freático, si éste está a menos de un metro bajo la superficie del terreno). Para suelos someros, la CCE del substrato bajo la zona de suelo es igualmente evaluada hasta una profundidad de un metro e incluida en el cálculo. El método asigna un puntaje S a la capacidad de campo efectiva total. Esta se subdivide en 6 clases y a cada una de éstas se le otorga un puntaje. Un mayor puntaje corresponde a una capacidad de campo más alta y, por ende, a un tiempo de residencia comparativamente más largo del agua que percola.

[1] Se consideró para efectos de cálculo 52 semanas al año

General Garcia 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6966597, E-Mail: castillo@netline.cl

En este caso, como la infiltración se realiza mediante pozos absorbentes los cuales carecen de capa de suelo, no se considera el puntaje S.

4.5.- Factor R: Tasa de Percolación o Recarga

a) Recarga Natural Estimada

En la Tabla N° 2 se presenta la información para el balance hidrológico de la cuenca Vertiente Pacífico Compartidas con Perú[2]:

Tabla N° 2: Características Cuenca Vertiente Pacífico Compartidas con Perú

Característica	Valor
Superficie [km^2]	777
Precipitación [mm/año]	13
Escorrentía [mm/año]	0
Evapotranspiración Real [mm/año]	
- Superficie Natural	13
- Superficie Regada*	Sin Info.

*Considera solamente el aumento de evapotranspiración que experimenta una superficie natural cuando se incorpora riego.

La precipitación efectiva, $\mathbf{P_{ef}}$, corresponde a la diferencia entre la precipitación, $\mathbf{P_p}$, y la escorrentía, **E**, de modo que:

$$\mathbf{Pef = Pp - E = 13 - 0 = 13\ mm/año}$$

La evapotranspiración potencial, $\mathbf{ETP_{pot}}$, corresponde a la evapotranspiración que se produce desde una superficie cuando la humedad no es un factor limitante, por lo que se considera igual a la evapotranspiración real, $\mathbf{ETP_{real}}$, de la cuenca natural más el aumento en la evapotranspiración que se produce cuando se incorpora riego, $\mathbf{ETP_{riego}}$. En este caso, el Balance Hídrico de Chile no tiene información relativa al aumento de evapotranspiración que experimenta una superficie natural cuando se incorpora riego. Se considerará en este caso que

$$\mathbf{ETP_{pot} = ETP_{real}}$$

[2] (DGA, 1987): Balance Hídrico de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 1987, página 21.

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

teniendo en cuenta que esta consideración incorpora un factor de seguridad, debido a que supone una recarga natural mayor al suponer una evapotranspiración potencial menor.

$$ETP_{pot} = ETP_{real} + ETP_{riego} = 13 + 0 = 13 \text{ mm/año}$$

Finalmente, la recarga natural estimada, RN_{est}, es:

$$RN_{est} = P_{ef} - ETP_{pot} = 13 - 13 = 0 \text{ mm/año}$$

b) Recarga Artificial

El volumen total anual de infiltración es de 61.588 m^3/año.
La superficie total de infiltración que se utilizará es de 170,5 m^2.
Entonces, la recarga artificial, **RA**, se puede evaluar como

$$RA = 1.000 \text{ (mm/m)} \cdot 61.588 \text{ (m}^3\text{/año)} / 170,5 \text{ (m}^2\text{)} = 361.219,9 \text{ mm/año.}$$

c) Factor R

De a) y b) se obtiene que la recarga total, suma de la Recarga Natural estimada y la Recarga Artificial es

$$RN_{est} + RA = 250 + 84.800 = 85.050 \text{ mm/año} \geq 400 \text{ mm/año}$$

Según la metodología, el valor de la recarga total se utiliza para definir el valor del factor R a partir de la Tabla 4.2, que se presenta en la página 9/32 del Manual, y que se reproduce en la Tabla Nº 5 de este informe. En este caso, resulta un valor de R de 0,5.

Tabla Nº 5: Valorización de la Recarga (Factor R)[1]

R para RN estimada	
RN_{est} + RA (mm/a)	Factor R
≤ 99	1,50
100-199	1,25
200-299	1,00
300-399	0,75
≥400	0,50

[1] Tabla 4.2 del Manual para la Aplicación del Concepto de Vulnerabilidad de Acuíferos Establecido en la Norma de Emisión de Residuos líquidos a Aguas Subterráneas. Decreto Supremo N º 46 de 2002

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

4.6.- Cálculos relativos al Pozo ZOFRI Hidrosan

Se utilizan los datos proporcionados por el expediente ND-0101-144, de constitución de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas desde un pozo con las siguientes coordenadas UTM:

UTM Norte	:	7.970.050 metros
UTM Este	:	360.175 metros

A continuación se presenta el detalle de la evaluación:

4.6.1.- Litología de la Zona no Saturada

Según el perfil estratigráfico registrado en el expediente, los estratos litológicos de la cobertura del acuífero se detallan como sigue:

- 0,0 a 0,9 m : Costra salina
- 0,9 a 6,0 m : Arena, limo
- 6,0 a 11,00 m : Arena fina
- 11,00 a 22,00 m : Arena fina, media, limo 10%
- 22,00 a 32,44 m : Arena muy fina, limo 8%
- 32,44 a 39,00 m : Arena, fina y media, arcilla 5%
- 39,00 a 43,00 m : Arena muy fina, arcilla 6%
- 43,00 a 52,00 m : Arena, limo

Las características del material litológico encontrado en el pozo se pueden expresar en términos del puntaje L, que para efectos del método se asocia al tiempo de residencia, se denomina Ln para los depósitos no consolidados, y se estima sobre la base de la capacidad de intercambio catiónico para cada uno de los diferentes tipos de depósitos no consolidados, para lo cual se puede utilizar la tabla Nº 4.3 del Manual.

La profundidad de los pozos de infiltración es de 2,5 metros.

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

Tabla N° 3: Cálculo del puntaje ΣEi·Lni

Estrato i	Espesor E_i (m)	Ln_i (tabla 4.3 del Manual)	$E_i \cdot Ln_i$
1	3,50	140	490
2	5,00	25	125
3	11,00	50	550
4	10,44	50	522
5	6,56	50	328
6	4,00	50	200
7	9,00	140	1.260
		Puntaje ΣEi·Lni	**3.475**

4.6.2.- Efectividad de Protección Generalizada

A partir del puntaje S y el puntaje R se puede calcular P_1 como el producto de ambos:

$$P_1 = S * R = 0 * 0,5 = 0$$

P_2 como:

$$P_2 = R * \Sigma Lni*Ei = 0.5 \cdot 3.475 = 1.737,5$$

y el puntaje total P_t como:

$$P_t = P_1 + P_2 = 0 + 1.737,5 = 1.737,5$$

Luego, de la tabla N° 4.5 del Manual, que se reproduce en la Tabla N° 4 de este informe, se tiene que el acuífero presenta una Efectividad Generalizada de Protección clasificada como **Moderada** y una vulnerabilidad asociada del acuífero ante emisiones, estimada como **Media**.

General Garcia 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

Tabla Nº 4: Reproducción de la tabla 4.5 del Manual. Clases de Efectividad Generalizada de Protección y Vulnerabilidad asociada

Pt , número total de puntos	Efectividad generalizada de protección	Vulnerabilidad asociada, estimada, del acuífero ante emisiones	Tiempo de residencia aproximado en el suelo y subsuelo sobre el acuífero
≥4.000	Muy alta	Baja	> 25 años
2.000 – 3.999	Alta	Baja	10 -25 años
1.000 – 1.999	Moderada	Media	3 -10 años
500 – 999	Baja	Alta	Varios meses a 3 años
≤499	Muy baja	Alta	Unos pocos días a 1 año

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

4.7.- Cálculos relativos al Pozo ZOFRI Captagua

Se utilizan los datos proporcionados por el expediente ND-0101-249, de constitución de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, desde un pozo con las siguientes coordenadas UTM:

UTM Norte : 7.973.597 metros
UTM Este : 360.354 metros

A continuación se presenta el detalle de la evaluación:

4.7.1.- Litología de la Zona no Saturada

Según el perfil estratigráfico registrado en el expediente, los estratos litológicos de la cobertura del acuífero se detallan como sigue:

:

- 0,0 a 7,0 m : Arena limosa
- 7,0 a 9,0 m : Arena media a fina
- 9,0 a 52,00 m : Arena limosa, poca arcilla

En forma análoga a lo realizado para el Pozo ZOFRI Hidrosan, se puede calcular el puntaje como se indica en la Tabla N° 5.

La profundidad de los pozos de infiltración es de 2,5 metros.

Tabla N° 5: Cálculo del puntaje ΣEi·Lni

Estrato i	Espesor E_i (m)	Ln_i (tabla 4.3 del Manual)	$E_i \cdot Ln_i$
1	4,5	140	630
2	2,0	25	50
3	43,0	140	6.020
		Puntaje ΣEi·Lni	**6.700**

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

4.7.2.- Efectividad de Protección Generalizada

Tal como en el punto 4.6.2.- se puede calcular

$$P_1 = S * R = 0 * 0,5 = 0$$

$$P_2 = R * \sum Ln_i * E_i = 0.5 * 6.700 = 3.350$$

$$P_t = P_1 + P_2 = 0 + 3.350 = 3.350$$

De la Tabla Nº 4, se tiene que el acuífero presenta una Efectividad Generalizada de Protección clasificada como **Alta** y una vulnerabilidad asociada del acuífero ante emisiones, estimada como **Baja**.

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

4.8.- Cálculos relativos al Pozo D. O. S.

Se utilizan los datos proporcionados por el expediente ND-0101-16, de constitución de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, desde un pozo con las siguientes coordenadas UTM:

UTM Norte : 7.972.620 metros
UTM Este : 357.230 metros

A continuación se presenta el detalle de la evaluación:

4.8.1.- Litología de la Zona no Saturada

Según el perfil estratigráfico registrado en el expediente, los estratos litológicos de la cobertura del acuífero se detallan como sigue:

- 0,0 a 10,0 m : Arena Gruesa
- 10,0 a 25,0 m : Arena fina con arcilla
- 25,0 a 32,0 m : Arena gruesa poca arcilla
- 32,0 a 38,0 m : Arena gruesa y fina
- 38,0 a 42,0 m : Conglomerado arcilloso bolón
- 42,0 a 52,0 m : Arena fina poca arcilla

En forma análoga a lo realizado para los ZOFRI Hidrosan y ZOFRI Captagua, se puede calcular el puntaje como se indica en la Tabla N° 6.

La profundidad de los pozos de infiltración es de 2,5 metros.

Tabla N° 6: Cálculo del puntaje ΣEi·Lni

Estrato i	Espesor E_i (m)	Ln_i (tabla 4.3 del Manual)	$E_i \cdot Ln_i$
1	7,5	25	187,5
2	15,0	140	2.100
3	7,0	50	350
4	6,0	25	150
5	4,0	75	300
6	10,0	50	500
		Puntaje ΣEi·Lni	**3.587,5**

General Garcia 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

4.8.2.- Efectividad de Protección Generalizada

$$P_1 = S * R = 0 * 0,5 = 0$$

$$P_2 = R * \sum Ln_i * E_i = 0.5 * 3.587,5 = 1.793,75$$

$$P_t = P_1 + P_2 = 0 + 1.793,75 = 1.793,75$$

De la Tabla Nº 4, se tiene que el acuífero presenta una Efectividad Generalizada de Protección clasificada como **Moderada** y una vulnerabilidad asociada del acuífero ante emisiones, estimada como **Media.**

En la Tabla Nº 7 se presenta un resumen de los puntajes, para cada pozo, y la calificación resultante del acuífero.

General Garcia 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

Tabla N° 7: Resumen de los puntajes y calificación de la vulnetabilidad del acuífero, para cada pozo.

Puntaje	Pozo ZOFRI Hidrosan	Pozo ZOFRI Captagua	Pozo D. O. S.
S	0	0	0
R	0,5	0,5	0,5
∑Ei·Lni	3.475	6.700	3.587,5
P1	0	0	0
P2	1.737,5	3.350	1.793,75
Pt = P1 + P2	1.737,5	3.350	1.793,75
Ef. Gen. Protección	Moderada	Alta	Moderada
Vulnerabilidad	**Media**	**Baja**	**Media**

5.- Resumen y conclusiones

Se calcula la vulnerabilidad del acuífero en el sector del barrio industrial de la ZOFRI S. A., definido por las coordenadas

UTM Norte : 7.969.850 metros
UTM Este : 360.175 metros

Se hace uso de la información estratigráfica de tres pozos ubicados dentro de un perimetro de 4,1 km en torno al punto de interés, y de información general contenida en informes de Ayala y Cabrera Ingenieros Consultores, y Dirección General de Aguas. La información correspondiente a los pozos es concordante entre si y con las conclusiones de los informes consultados, y permite calificar la vulnerabilidad del acuifero como **Media**, por lo que en caso de infiltrarse residuos liquidos, son aplicables los requisitos contenidos en la tabla N°1 del DS 46.

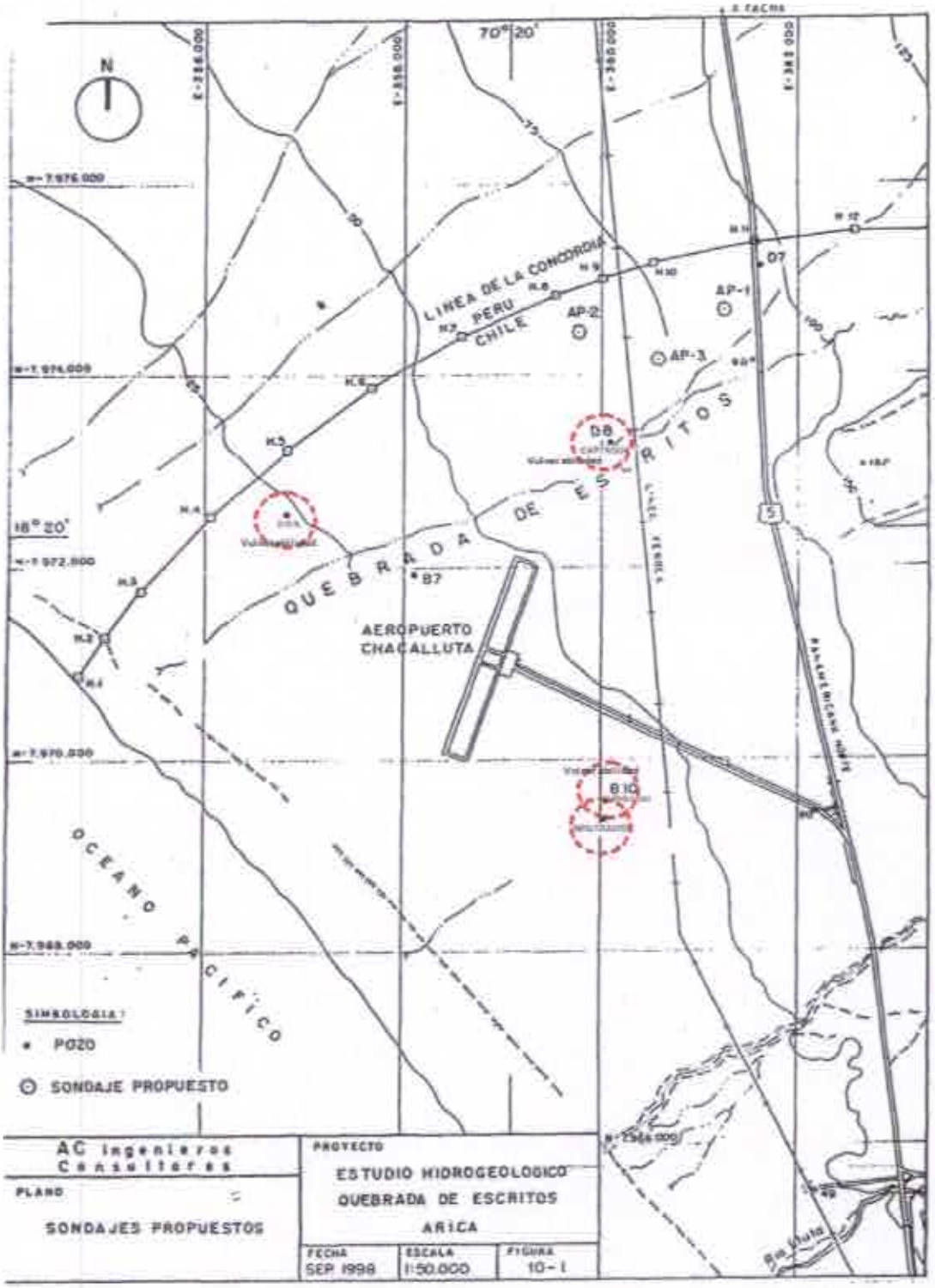
General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

ANEXO 1: MAPA TOPOGRÁFICO DE LA ZONA

Se adjuntan el mapa topográfico de la zona donde se han ubicado el lugar de la infiltración y los pozos a partir de los cuales se determinó la vulnerabilidad (Anexo 1.a), y el mapa topográfico de la zona donde se han ubicado el lugar de la infiltración y los pozos utilizados para la determinación del nivel estático (Anexo 1.b).

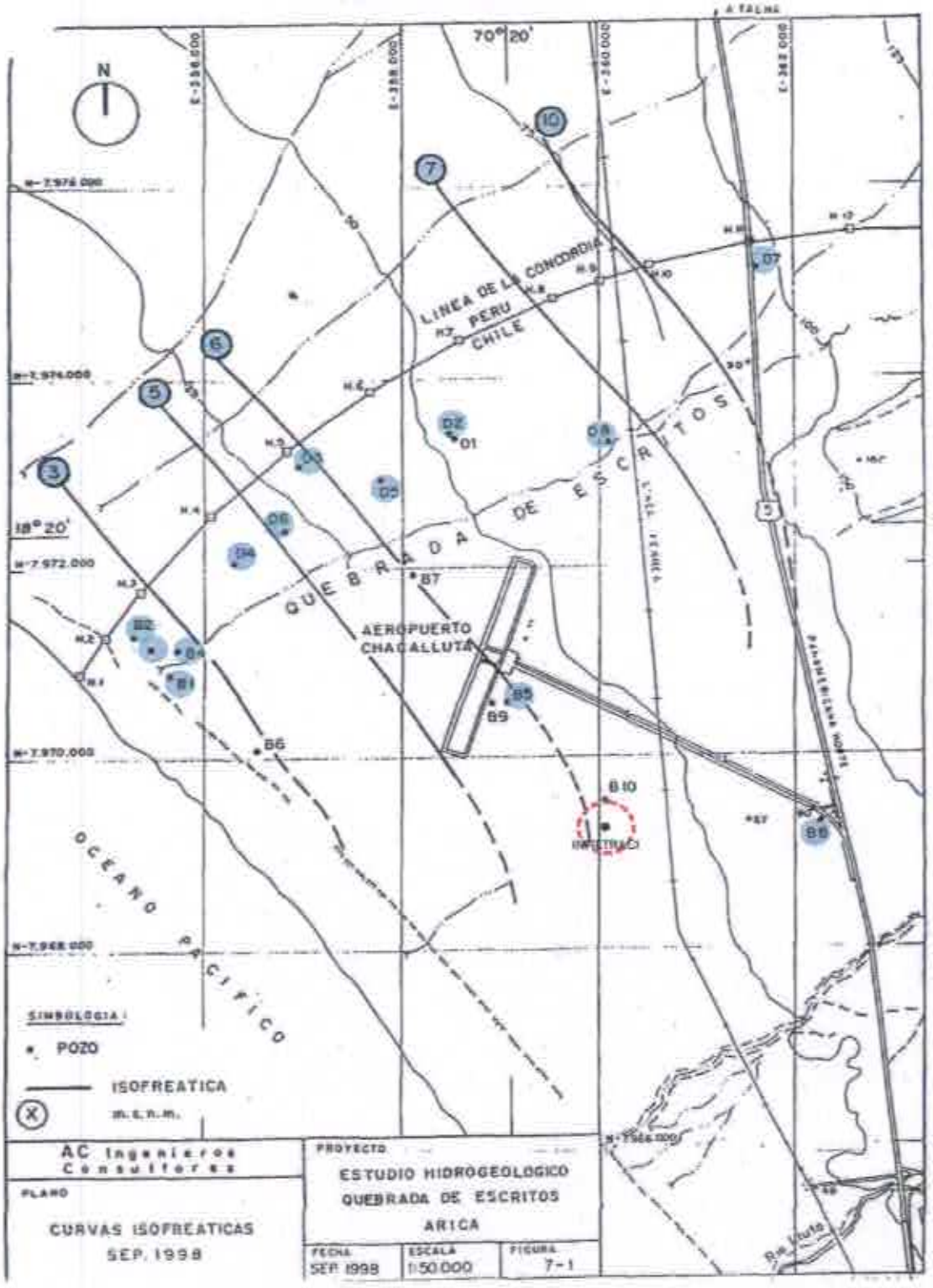
General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

Anexo 1.a: "Mapa topográfico con vulnerabilidades determinadas a partir de estratigrafías de pozos"



General Garcia 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

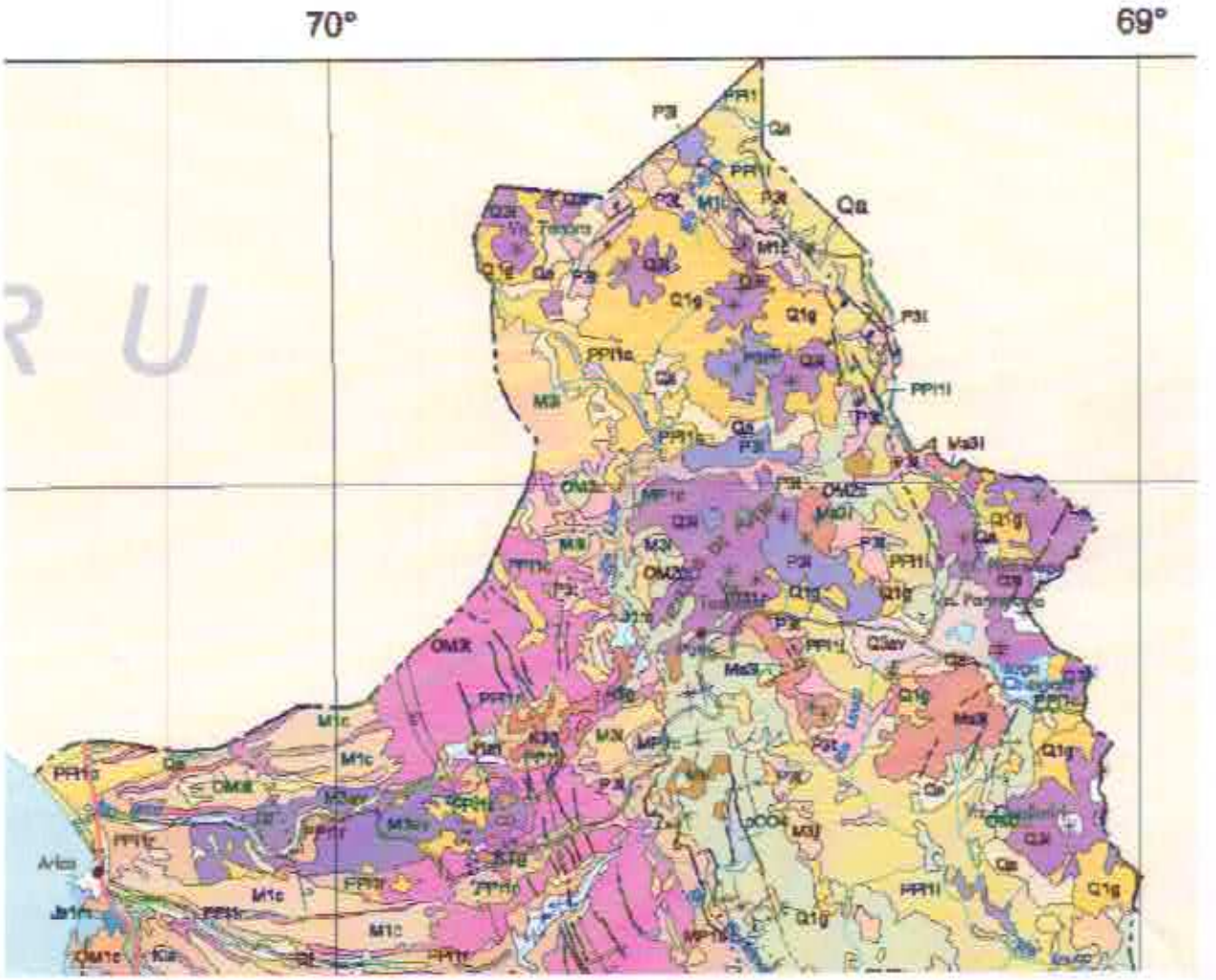
Anexo 1.b: "Mapa topográfico con los pozos utilizados para la determinación del nivel estático"



General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

ANEXO 2: MAPA DE LA GEOLOGÍA DE SUPERFICIE

Se presenta el mapa de la geologia de superficie de la zona, obtenido de la versión digital del Mapa Geológico de Chile[3].

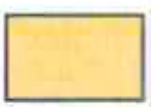


[3] SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital*, No. 4 (CD-ROM, versión1.0, 2003). Santiago.

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

La leyenda relevante a la zona es relativa a secuencias sedimentarias del cuaternario, descritas de la siguiente manera:

PPl1r
Plioceno-Pleistoceno
Depósitos de remoción en masa: brechas polimícticas con matriz de arena/limo en proporción variable, de flujo o deslizamiento gravitacional. En la Cordillera Principal: flujos de detritos de las quebradas Lluta y Camarones (región I); avalancha de detritos de Colón-Coya (región VI).



PPl1c
Plioceno-Pleistoceno
Conglomerados, areniscas, limolitas y arcillolitas, generalmente consolidados, de facies principalmente aluviales, subordinadamente lacustres y eólicas. En las regiones I a III forman abanicos aluviales inactivos mientras en Chile central (Estratos de Potrero Alto) son niveles aterrazados adosados al sustrato de la zona costera.

General Garcia 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

ANEXO 3: PERFILES ESTRATIGRÁFICOS CONSULTADOS

General Garcia 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

Pozo
D.O.S.

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
SERVICIO NACIONAL DE OBRAS SANITARIAS
SUB-DEPTO. TECNICO Y OPERACIONES
DELEGACION ARICA

DOS

CUADRO ANTECEDENTES POZOS SECTOR CONCORDIA-QUEBRADA ESCRITOS (HOYA 101)

COORDENADAS UTM	CUADRANTE	Nº	NIVEL ESTATICO AL 15/06/84	CONSTRUCTOR	PROFUNDIDAD PERFORACION	PROFUNDIDAD HABILITACION
7.975,30 m. 362,00 m.	C - 1	450	-	CORFO	253	122
7.972,45 m. 360,35 m.	D - 2	436	46,53	CORFO	128	124
7.973,08 m. 357,60 m.	D - 3	502	32,15	CORFO	143	129
7.972,45 m. 357,35 m.	D - 4	503	23,56	CORFO	300	280
7.973,10 m. 358,30 m.	D - 5	-	37,38	D.O.S.	-	-
7.972,62 m. 357,23 m.	D - 6	870	28,85	D.O.S.	159	159
7.971,20 m. 355,85 m.	B - 1	303	13,48	CORFO	200	126
7.971,10 m. 355,70 m.	B - 2	344	14,93	CORFO	140	132
7.971,40 m. 355,95 m.	B - 3	352	14,94	CORFO	136	125

CONTRATISTA: POR ADMINISTRACION

OPERADOR: R. ARIAS

INGENIERO INSPECTOR: D. FOTIU

SONDA MARCA: B. ERIE

POZO Nº 870 (9 A)

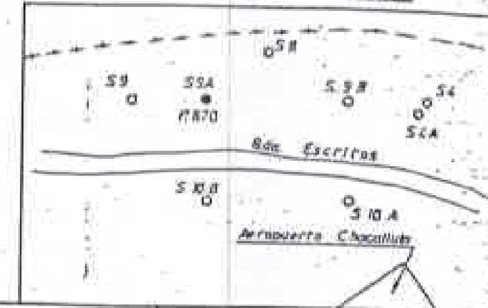
FAENA: SONDAJE

FINALIDAD: A. POTABLE

UBICACION Y CRONOLOGIA

PROVINCIA: TARAPACA
DEPARTAMENTO: ARICA
COMUNA: ARICA
OBRA: A. P. ARICA
UBICACION: LINEA DE LA CONCORDIA
HOYA:
PROPIETARIO: D. O. S.

CROQUIS DE UBICACION



CLASIFICACION DE LOS ESTRATOS

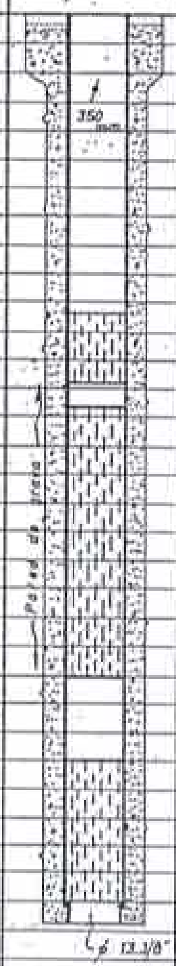
PROFUNDIDAD	FORMACION GEOLOGICA
10	Arena gruesa
20	Arena fina con arcilla
30	Arena gruesa poca arcilla
	Arena gruesa y fina
40	Cong. arcilloso bolon
50	Arena fina poca arcilla
	Lima con arcilla
	Arena gruesa
60	Arena fina lima poca arcilla
70	Arena gruesa
	Ripio grue. arena
80	Arena fina y arcilla
90	Arena gruesa
	Poca arcilla
100–110	Conglomerado arcilloso y bolones
120	Arena gruesa
	Ripio fina
130	poca arcilla
140	Arena gruesa
	Poca arcilla
150–160	Arena gruesa ripio fina

PERFORACION: Arena gar. grava (60 m); EN 500 mm; 159.0

ENTUBAMIENTO

EN FAENAS

DEFINITIVOS

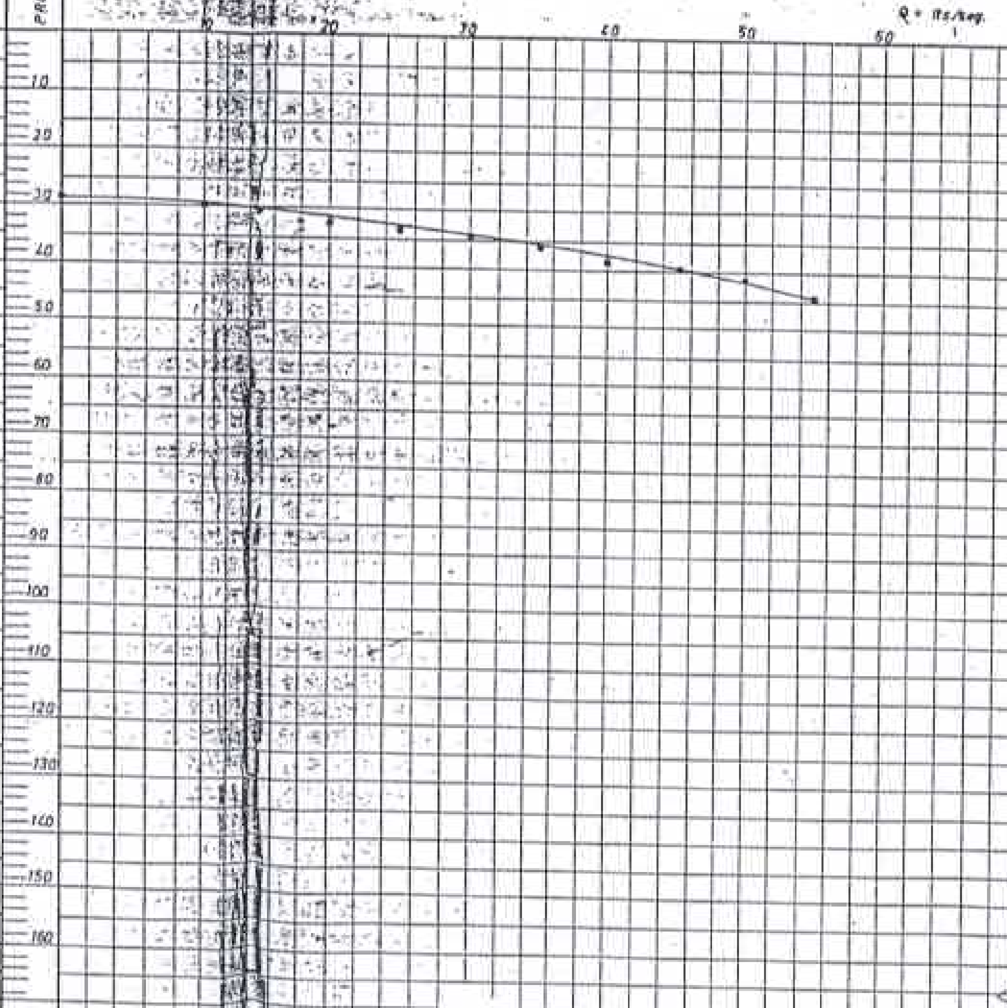


NAPAS

NIVELES PIEZOMETRICOS Y NUMERO DE NAPAS

N.E. 28.10 m
52.00
64.00
68.00
115.00
130.00
156.00
155.00

CURVA DE AGOTAMIENTO



POZO Nº 870

CARACTERISTICAS DE BOMBEO

NIVEL ESTATICO: 28,10 m

GASTO MAXIMO AFORADO: 55 lts/seg. a los 44.80 m.

OBSERVACIONES

POZO HABILITADO CON CAÑERIA DE PLASTICO D = 350 mm.

Pozo ZOFRI
CAPTAGUA

General Garcia 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

INFORME FINAL DE TRABAJOS REALIZADOS

ZOFRI S.A.

CONSTRUCCION DE POZO DE ESTUDIO EN QUEBRADA ESCRITOS, ARICA

1. GENERALIDADES :

El presente informe dice relación con los trabajos efectuados para la construcción del pozo profundo Nº para el abastecimiento de agua del Parque Industrial Chacalluta. El sondaje se construyó aproximadamente 100 mts al Norte de la Quebrada de Escritos en Arica.

2. PERFORACION :

Con fecha 22 de Febrero de 1994 comenzaron los trabajos de perforación, con la excavación de un antepozo, de 1,60 metros de diámetro y 1 metro de profundidad. El día 25 de Febrero se instaló la sonda de perforación, marca BUCYRUS ERIE, modelo 24L, Nº 18, alcanzándose la profundidad final de 100,0 metros el día 19 de Abril.

Durante la perforación se atravesó el siguiente perfil estratigráfico:

PROFUNDIDAD (mts)	TIPO DE MUESTRA
0,00 - 7,00	Arena limosa.
7,00 - 9,00	Arena media a fina.
9,00 - 52,00	Arena limosa, poca arcilla.
52,00 - 60,00	Arena media a fina, arcilla 30%
60,00 - 66,50	Arena media a fina, poca grava fina a media, arcilla 22%
66,50 - 71,50	Arena media a fina, grava fina, arcilla 18%
71,50 - 80,00	Arena media a fina, limo, arcilla 20%
80,00 - 87,00	Arena gruesa a fina, poca grava media a fina, arcilla 20%
87,00 - 93,60	Arena gruesa a media, poca grava media a fina, arcilla 20%
93,60 - 100,00	Arena gruesa a media, poca grava media a fina, arcilla 22%

El perfil del terreno se puede describir en general como fino a muy fino, homogéneo y de regular permeabilidad. El agua apareció a la profundidad de 60,50 metros, estabilizándose posteriormente cerca de los 60,00 metros.

3. PROPOSICION DEL SISTEMA CAPTANTE :

En visita a terreno del Ingeniero Asesor Sr. Juan Karzulovic se propuso el sistema captante, que fue aceptado por éste y que se describe a continuación :

4. ENTUBACION DEFINITIVA :

De acuerdo a los antecedentes analizados, la entubación definitiva quedó dispuesta de la siguiente manera :

A) Cañería :

La entubación del pozo se efectuó con cañería de acero, de 12.3/4" de diámetro exterior, entre 0,80 m sobre el nivel de terreno y -100,0 metros, totalizando una columna de 100,80 metros.

El fondo del pozo fue sellado con un tapón de hormigón.

B) Cribas :

En las zonas de mayor permeabilidad relativa se colocaron cribas de acero inoxidable, de 12.3/4" de diámetro, de acuerdo al siguiente detalle :

DESDE mts	HASTA mts	LONGITUD TRAMO mts
63,00	69,00	6,0
71,00	74,00	3,0
80,00	83,00	3,0
84,00	90,00	6,0
91,00	97,00	6,0
	TOTAL :	24,0 mts.

5. FILTRO DE GRAVA :

Como filtro de grava se utilizó material granular redondeado, con una amplia banda granulométrica, que abarca tamaños desde 2 hasta 5 mm. La parte fina de la banda granulométrica tiene por objeto controlar el arrastre de arenas finas y limos, el resto de la banda pretende lograr un acomodo de las partículas, con el objeto de lograr una permeabilidad lo más alta posible.

6. DESARROLLO DEL POZO :

El desarrollo es un trabajo fundamental para el buen éxito inmediato del pozo, y para el comportamiento a futuro de éste. A través de un adecuado desarrollo se logra por un lado impedir el arrastre de finos hacia las cribas y ranurados, y por otro lado se

CAPTAGUA INGENIERIA S.A. - Captación de Aguas Subterráneas GERENCIA: Los Estanques 2079 Fonos 2096107 - 2090540 Casa 16291 C.9 Stgo. Fax 2252960
EST. DE SERVICIO: Avda. Los Cerrillos 1090 Teléfonos 5573981 - 5575536 - 5575703 - Santiago

consigue un aumento de la permeabilidad local en torno al filtro y en la formación.

Para éste pozo, propusimos un desarrollo mediante émbolo buzo, ajustado a la cañería de entubación definitiva. El desarrollo con este método consiste en la inyección y aspiración de agua desde y hacia la formación acuífera, provocando un fuerte gradiente hidráulico, que acomoda las partículas y produce el arrastre de los finos hacia el pozo.

Para disolver las arcillas presentes en la formación acuífera se agregó un detergente industrial.

El desarrollo del sondaje se efectuó entre los días 17 y 26 de Mayo, totalizando 58,0 horas.

7. PRUEBAS DE BOMBEO :

Prueba de Bombeo de gasto variable

Para definir el comportamiento del pozo ante diferentes caudales se efectuó una prueba de bombeo de gasto variable, cuyo objetivo es establecer las magnitudes de caudal y depresión. Estas magnitudes tienen una aplicación directa en la selección de un equipo de bombeo permanente, que se ajuste a las características de operación del pozo.

La prueba de gasto variable se realizó con una bomba de motor sumergido, de propiedad de Captagua Ingeniería S.A., marca KSB, modelo BPH 384/6, accionada por un generador. La succión de la bomba quedó ubicada a la profundidad de 93,58 metros.

La bomba se instaló en el sondaje el día 28.05.94, dándose inicio a la prueba de bombeo definitiva el día 01.06.94

Durante la prueba de bombeo de gasto variable, de 21 horas de duración, se midieron los siguientes niveles estabilizados :

NIVEL metros	CAUDAL lt/seg	DEPRESION metros	GASTO ESPECIFICO (lt/seg)/m
61,60	0,0	--	--
63,32	5,0	1,72	2,91
68,83	10,0	7,23	1,39
75,42	15,0	13,82	1,09
89,79	20,0	28,19	0,71

Nivel de referencia: 0,38 m. sobre Nivel de terreno.

CAPTAGUA INGENIERIA S.A. – Captación de Aguas Subterráneas GERENCIA: Los Estanques 2079 Fonos 2098107-2090540 Casa. 16291 C.9 Sigo. Fax 2252960
EST. DE SERVICIO: Avda. Los Cerrillos 1090 Teléfonos 5573981-5575536-5575703-Santiago

Prueba de bombeo de gasto constante

El objetivo de las pruebas de gasto constante es determinar los parámetros hidráulicos denominados Coeficiente de Transmisibilidad (T) y Coeficiente de Almacenamiento (S). Ambos parámetros son característicos del acuífero en general, de tal manera que sus resultados pueden ser aplicados a cualquier sondaje de similares características dentro de la misma zona acuífera, siempre que esta última sea homogénea.

En términos prácticos, la prueba de gasto constante busca determinar el equilibrio entre producción (descarga) e ingreso de agua al acuífero (recarga). Alcanzado este equilibrio, el sondaje produce la misma cantidad que es capaz de entregar el acuífero, por lo que los niveles dentro del pozo se estabilizan.

Este concepto se resume en el Coeficiente de Transmisibilidad (T), que se define a través de la fórmula de Jacob y se calcula mediante una interpretación del gráfico Nivel-Tiempo:

$$T = \frac{2{,}30Q}{4\pi s \log t}$$

s = descenso de nivel, en metros.
Q = caudal, en m3/hr.
logt = intervalo de tiempo, en minutos, para el cual se produce el descenso de nivel "s" (en papel semilogarítmico).

Esta fórmula es válida en el régimen de no equilibrio del pozo, es decir, cuando aún no se ha alcanzado la recarga. Esta zona del gráfico, en papel semilogarítmico, se caracteriza por ser una recta de pendiente negativa.

Para el pozo de Zofri la prueba de gasto constante se realizó con un caudal de 18,0 lt/seg, equivalente al 90% del caudal máximo aforado en la prueba de gasto variable. Esta prueba tuvo una duración de 24 hrs, lográndose un equilibrio a un nivel de 89,74 mts después de 10 minutos.

Graficando el conjunto de puntos en escala normal para el nivel y logarítmica para el Tiempo, encontramos una tendencia que se puede asimilar a una recta de pendiente negativa hasta 9 minutos. Posteriormente se observa un cambio de pendiente que indica la presencia de un sector de recarga, que se manifiesta provocando una horizontalidad de la pendiente, que corresponde al equilibrio entre producción y recarga.

8. ANALISIS DE LOS RESULTADOS :

De la observación de la prueba de bombeo se pueden determinar las características del pozo profundo que estamos analizando.

CAPTAGUA INGENIERIA S.A. - Captación de Aguas Subterráneas GERENCIA: Los Estanques 2079 Fonos 2096107 - 2090540 Casa. 16291 C.9 Stgo. Fax 2252960
EST. DE SERVICIO: Avda. Los Cerrillos 1090 Teléfonos 5573981 - 5575536 - 5575703 - Santiago

La prueba de gasto variable se realizó durante un período de 21 horas, en el que se partió con un caudal de 5,0 lt/seg, incrementándose sucesivamente a 10,0 - 15,0 y 20,0 lt/seg.

Finalizada la prueba de bombeo de gasto variable, se procedió a la medición de recuperación en el pozo.

De la forma de la curva de la prueba de bombeo de gasto variable que se adjunta, se observa claramente la respuesta del acuífero frente a los diferentes caudales. La forma de la curva indica que sobrepasado el techo del acuífero principal a los 75 mts se produce una disminución de la tasa de producción con respecto al descenso de nivel. De acuerdo al análisis de las muestras físicas del terreno, más el comportamiento del acuífero en relación a la aplicación de diferentes caudales, permite determinar que se trata de un acuífero libre.

La prueba de gasto constante se inició el día 04 de Junio de 1994, con un caudal de 18,0 lt/seg, equivalente al 90% del caudal máximo aforado en la prueba de gasto variable.

Recesión de la Napa :

Observando la cartera de agotamiento de la prueba de gasto constante y la correspondiente curva de la prueba de bombeo se deduce que después de 10 minutos de bombeo con 18,0 lt/seg se produce el equilibrio, estabilizándose el nivel dinámico en 89,74 mts.

Esto equivale a decir que para tiempos de bombeo superiores a 10 minutos el,nivel dinámico se mantendrá en 89,74 mts. Suponiendo condiciones estables del acuífero, para bombeos contínuos de 1 año, 3 años ó 10 años el nivel dinámico no sufrirá variaciones.

Para los efectos de determinar los coeficientes o parámetros del acuífero debemos considerar que se trata de un acuífero libre.

El coeficiente de almacenamiento (S) es el volumen de agua cedido, o tomado del almacenamiento del acuífero, por unidad de superficie cuando se produce un cambio unitario de carga. El coeficiente S por lo tanto es un término adimensional.

El coeficiente de transmisibilidad (T) de un acuífero es la razón a la cual fluye el agua a través de una franja vertical de acuífero, de ancho unitario y de altura igual al espesor saturado del mismo, cuando el gradiente hidráulico es igual a 1, es decir 100%

CAPTAGUA INGENIERIA S.A. - Captación de Aguas Subterráneas GERENCIA: Los Estanques 2079 Fonos 2096107 - 2090540 Cas. 16291 C.9 Stgo. Fax 2252960
EST. DE SERVICIO: Avda. Los Cerrillos 1090 Teléfonos 5573981-5575536-5575703-Santiago

Los coeficientes de transmisibilidad y de almacenamiento son especialmente importantes puesto que definen las características hidráulicas de la formación acuífera. El coeficiente T indica cuanta agua se mueve a través de la formación y el coeficiente S indica que cantidad de agua puede ser obtenida por bombeo o drenaje.

Determinación de S y T :

Para la determinación del coeficiente de transmisibilidad T utilizaremos la información obtenida durante la prueba de gasto constante.

Aplicando la fórmula de Jacob para el intervalo 1 a 10 minutos, resulta:

$$T = \frac{2,30 \times 64,8}{4 \times 3,1416 \times (89,74 - 65,80) \times 1} = 0,50 \text{ m3/hora/metro}$$

Puesto que se trata de un acuífero libre, el coeficiente de almacenamiento S varía entre 0,01 y 0,35.

El coeficiente de transmisibilidad normalmente se encuentra comprendido entre 0,50 y poco más de 500 m3/hr/m, de tal manera que que el valor calculado para este pozo está situado en el límite inferior.

Los parámetros del acuífero están ubicados en el límite inferior de lo aconsejable, indicando por un lado que la porosidad de los materiales no es buena. Al parecer influye en este resultado la presencia importante de arenas y limos.

Por los antecedentes expuestos, nos parece razonable sugerir que el sondaje sea explotado con caudales no superiores a 15 lt/seg. El equipo de bombeo requerido para elevar el agua hasta la superficie debe ser de 15 lt/seg a 80 mts de altura manométrica total. Para conducir el agua hasta el estanque será necesario agregar a la altura manométrica la altura geométrica del estanque elevado más el desnivel entre la base del estanque y el sondaje más las pérdidas de carga en la cañería de impulsión más las pérdidas de carga singulares (válvulas, reducciones, curvas, etc.)

Si Zofri lo estima conveniente, podemos definir exactamente el equipo apropiado siempre que nos indiquen los antecedentes necesarios señalados más arriba.

CAPTAGUA INGENIERIA S.A. - Captación de Aguas Subterráneas GERENCIA: Los Estanques 2079 Fonos 2096107 - 2090540 Cas. 16291 C.9 Stgo. Fax 2252960
EST. DE SERVICIO: Avda. Los Cerrillos 1090 Teléfonos 5573981 - 5575536 - 5575703 - Santiago

Quedamos desde ya a su disposición para aclarar cualquier duda relacionada con lo indicado en este informe.

CAPTAGUA INGENIERIA S.A.

Jorge Thomas Silva
Subgerente

Arica, 15 de Junio de 1994.
JTS/jbp.
cod.:ws\informes\ifzofril.

CAPTAGUA INGENIERIA S.A. - Captación de Aguas Subterráneas GERENCIA: Los Estanques 2079 Fonos 2096107 - 2090540 Cas. 16291 C.9 Stgo. Fax 2252960
EST. DE SERVICIO: Avda. Los Cerrillos 1090 Teléfonos 5573961-5575536-5575703-Santiago

ZOFRI. Pozo Quebrada de Escritos

PLANILLA DE RESUMEN
Porcentaje Retenido Acumulado

ABERTURA (mm)	00 a 02	02 a 04	04 a 06	06 a 08	08 a 10
31.751	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19.051	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
4.000	2.1	2.1	4.3	3.1	6.3
2.000	8.6	6.2	14.6	12.3	16.9
0.710	38.1	43.4	40.2	43.2	50.6
0.400	49.6	49.0	53.7	54.9	60.0
0.290	83.5	88.3	86.6	86.4	86.9
0.140	97.1	97.9	97.6	98.1	98.1
0.074	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4

ABERTURA (mm)	10 a 12	12 a 14	14 a 16	16 a 18	18 a 20
31.751	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19.051	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.000	2.2	1.5	1.6	2.2	0.7
2.000	8.1	5.1	4.8	5.1	1.3
0.710	36.3	27.7	22.6	23.9	16.4
0.400	51.1	38.0	37.1	36.2	26.3
0.290	78.5	75.2	70.2	72.5	71.1
0.140	95.6	97.1	96.0	95.7	96.1
0.074	98.5	99.3	98.4	98.6	98.7

ABERTURA (mm)	20 a 22	22 a 24	24 a 26	26 a 28	28 a 30
31.751	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19.051	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.000	1.5	1.4	2.2	0.7	7.0
2.000	3.6	2.8	3.6	1.4	2.2
0.710	23.4	19.4	23.7	17.2	26.6
0.400	32.1	31.1	36.0	26.2	36.0
0.290	75.2	77.8	79.9	67.6	84.9
0.140	97.1	96.5	95.7	89.7	94.4
0.074	98.5	98.6	98.6	92.4	96.2

ABERTURA (mm)	30 a 32	32 a 34	34 a 36	36 a 38	38 a 40
31.751	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19.051	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.000	1.4	0.7	0.7	2.2	0.7
2.000	3.4	1.4	2.1	3.6	1.4
0.710	24.8	19.4	15.9	24.5	19.3
0.400	37.2	30.2	23.4	36.7	28.3
0.290	78.6	69.1	56.6	68.3	57.9
0.140	97.9	96.3	81.4	87.1	73.1
0.074	99.1	99.4	84.1	89.9	74.5

ZOFRI, Pozo Quebrada de Escritos

ANALISIS GRANULOMETRICOS

ABERTURA (mm)	40 a 42	42 a 44	44 a 46	46 a 48	48 a 50
31.751	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19.051	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.000	0.0	0.8	1.3	2.8	1.6
2.000	0.7	3.1	3.3	4.9	3.2
0.710	15.8	24.2	24.3	28.9	21.4
0.400	28.8	35.2	35.5	41.5	33.3
0.290	66.9	74.2	74.3	84.5	81.0
0.140	89.9	96.9	96.1	97.9	97.6
0.074	92.1	98.4	98.7	99.3	99.2

ABERTURA (mm)	50 a 52	52 A 54	54 A 56	56 A 58	58 A 60
31.751	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19.051	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.000	1.5	2.1	1.3	1.4	0.0
2.000	3.7	4.2	4.0	3.5	11.1
0.710	24.4	27.3	28.0	27.1	14.8
0.400	38.5	42.0	43.3	43.1	20.4
0.290	80.7	79.7	84.0	83.3	53.7
0.140	97.0	96.5	98.0	97.9	92.6
0.074	98.5	98.6	99.3	99.3	96.3

ABERTURA (mm)	60 A 62	62 A 64	64 A 66	66 A 68	68 A 70
31.751	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19.051	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.000	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0
2.000	5.3	3.3	5.2	0.0	10.4
0.710	8.8	6.7	10.3	3.8	19.4
0.400	17.5	13.3	22.4	9.6	26.9
0.290	54.4	51.7	58.6	46.2	62.7
0.140	94.7	91.7	93.1	88.5	95.5
0.074	98.2	96.7	96.6	96.2	98.5

ABERTURA (mm)	70 A 72	72 A 74	74 A 76	76 A 78	78 A 80
31.751	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19.051	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.000	14.1	13.5	11.8	8.1	9.7
2.000	24.7	25.4	20.9	18.9	22.4
0.710	56.5	64.3	62.7	57.7	60.4
0.400	65.9	74.6	72.7	70.3	70.1
0.290	88.2	91.3	92.7	88.3	88.8
0.140	96.5	96.8	97.3	96.4	95.5
0.074	98.8	98.4	99.1	98.2	98.5

Pozo ZOFRI
HIDROSAN

General García 25, Depto. 31, Santiago 6510400, Chile
Fono: (56-2) 696 2827, Fax: (56-2) 6996597, E-Mail: castillo@netline.cl

HIDROSAN CONSTRUCCION LTDA.

CONSTRUCCION DEL SONDAJE

1. PERFORACION

25" Ø hasta 20,00 mts.
24" Ø hasta 60,00 mts.
20" Ø hasta 100,00 mts.

Entubando con cañería de acero de 24" Ø hasta 55,95 mts.
Entubando con cañería de acero de 20" Ø hasta 86,80 mts.

2. PERFIL ESTRATIGRAFICO

TERRENO ATRAVESADO

0,00 mts. a	0,90 mts.	Costra salina
0,90 mts. a	6,00 mts.	Arena, limo.
6,00 mts. a	11,00 mts.	Arena fina.
11,00 mts. a	22,00 mts.	Arena fina, media, limo 10%
22,00 mts. a	32,44 mts.	Arena muy fina, limo 8%
34,00 mts. a	39,00 mts.	Arena , fina y media, arcilla 5%
39,00 mts. a	43,00 mts.	Arena muy fina, arcilla 6%
43,00 mts. a	55,00 mts.	Arena, limo.
55,00 mts. a	60,00 mts.	Arena, arcilla 8%
60,00 mts. a	63,00 mts.	Arena, grava, ripio, arcilla 6%
63,00 mts. a	65,00 mts.	Arena gruesa y fina, ripio, limo 8%.
65,00 mts. a	71,00 mts.	Arena muy fina, limo 8%
71,00 mts. a	75,00 mts.	Arena fina, limo.
75,00 mts. a	85,00 mts.	Arena muy fina, limo 10%
85,00 mts. a	88,00 mts.	Arena, grava, ripio, limo 5%
88,00 mts. a	94,00 mts.	Arena fina, limo, arcilla 5%
94,00 mts. a	100,00 mts.	Arcilla, arena fina, limo.

Al término de la perforación el nivel estático se encontraba en 52,00 mts.

3. SISTEMA CAPTANTE

+0,50 mts. a	54,30 mts.	Cañería de acero 12 " Ø ciega.
54,30 mts. a	60,30 mts.	Cribas ACP 12" Ø slot 40.
60,30 mts. a	64,30 mts.	Cañería de acero 12 Ø ciega.
64,30 mts. a	67,30 mts.	Cribas ACP 12" Ø slot 40.
67,30 mts. a	71,30 mts.	Cañería de acero 12" Ø ciega.
71,30 mts. a	74,30 mts.	Cribas ACP 12" Ø slot 40.
74,30 mts. a	79,30 mts.	Cañería de acero 12" Ø ciega.
79,30 mts. a	82,30 mts.	Cribas ACP 12" Ø slot 40.
82,30 mts. a	84,30 mts.	Cañería de acero 12" Ø ciega.
84,30 mts. a	87,30 mts.	Cribas ACP 12 Ø slot 40.
87,30 mts. a	93,30 mts.	Cañería de acero 12" Ø ciega.
93,30 mts. a	98,00 mts.	Cañería de acero 10" Ø ranurada.
98,00 mts. a	100,00 mts.	Cañería de acero 10" ciega.

TENDERINI 85 - 2º PISO - TELEFONOS: 384077 - 384113 - FAX (562) 396506 - SANTIAGO - CHILE

Tapón de acero en el fondo, pared de grava seleccionada graduada entre 6 y 12 mm.

4. DESARROLLO

Se realizó mediante émbolo buzo en periodos de una hora con embanque máximo de 6,00 mts. y embanque mínimo de 0,10 mts. se desarrolló un total de 58 horas, cubriendo todos los estratos habilitados.

5. PRUEBAS DE BOMBEO

5.1 PRUEBA DE GASTO VARIABLE

Se realizó una prueba de caudal variable, de 800 minutos de duración, en el cual se obtuvieron los siguientes puntos:

CAUDAL Lts/seg.	NIVEL DINAMICO (M)
0,0	52,15
10,0	55,42
15,0	57,43
20,0	71,64

Por lo tanto, se tiene un rendimiento específico de 1,02 lts/seg. mts. para el último caudal aforado de 20 Lts.

5.2 PRUEBA DE GASTO CONSTANTE

A continuación se efectuó una prueba de gasto constante de 24 horas de duración, con un caudal de 15 lts/seg. Los valores obtenidos están indicados en la planilla incluída en anexo. Con estos datos se construyó el gráfico que se incluye, a partir del cual se han calculado las constancias del acuífero.

El gráfico forma parte recta para intervalos de tiempo relativamente largos, lo cual permite, dentro de un ciclo logarítmico la aplicación de la expresión desarrollada por THEIS:

$$T = \frac{0,183}{(s2\ s1)/Q}$$

La determinación del coeficiente de almacenamiento "S", se logra extrapolando la recta hasta cortar la horizontal correspondiente al nivel estático, lo que indica el tiempo para el cual se produce depresión igual a cero, en un pozo de observación a una distancia "r" del pozo desde el cual se bombea.

En este caso hay que considerar que "r" es el radio del pozo lo cual significa que el volúmen de terreno considerado es muy pequeño y limitado alrededor del sondaje, resultando poco representativo.

De acuerdo a lo anterior y a la curva adjunta, se han determinado los siguientes valores:

T= 45,6 mts"/día.
S= 30,3 %
K= 2,28 Mts/día.

Los valores de depresión y nivel deprimido a lo largo del tiempo son los que se indican a continuación:

T AÑOS	DEPRESION (M)	NIVEL DEPRIMIDO (M)
5	12,33	64,46
10	13,02	65,15
20	13,70	65,83

Finalmente, se puede concluir que para una explotación permanente de 15 lts/seg. el nivel deprimido no sobrepasará los 65,83 mts. en un plazo de previsión de 20 años.

p.HIDROSAN CONSTRUCCION LTDA.
Rodolfo Dezerega M.
Jefe Dpto. Sondajes.

RDA/srz.