



# **INFORME FINAL RADIO DE INFLUENCIA PRODUCIDO POR EL DRENAJE DEL TÚNEL LAS LAJAS EN SECTOR L1**

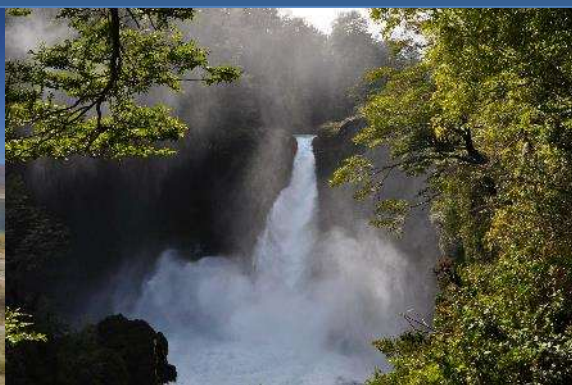
---

Preparado para

## **ALTO MAIPO**

29 de Enero de 2018

Preparado por  
HIDROMAS LTDA



## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1	Aspectos Generales .....	1
1.2	Objetivos y Alcances.....	1
<b>2</b>	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES .....</b>	<b>3</b>
3.1	Aspectos Generales .....	3
3.2	Información Bibliográfica de Estudios Previos .....	3
3.3	Información de planos y perfiles de ingeniería del proyecto.....	4
3.4	Información digital de Derechos de Agua de la DGA .....	4
<b>4</b>	<b>ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS.....</b>	<b>7</b>
4.1	Conductividad Hidráulica Sector L1 .....	7
4.2	Coeficiente de Almacenamiento .....	8
<b>5</b>	<b>CÁLCULO RADIO DE INFLUENCIA ASOCIADO AL DRENAJE DEL TÚNEL .....</b>	<b>9</b>
5.1	Marco Teórico.....	9
5.2	Geometría del Túnel .....	10
5.3	Estimación del Nivel Piezométrico .....	11
5.4	Cálculo del Radio de Influencia.....	16
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS .....</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>21</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Aspectos Generales

El “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo” (PHAM), se emplaza en la parte alta de la cuenca del río Maipo y fue evaluado ambientalmente mediante un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), el que fue aprobado mediante la Resolución de Calificación Ambiental, RCA N° 256/09 del 30/03/09.

En la actualidad el Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo se encuentra en el trámite de aprobación de un Plan de Cumplimiento en atención a un proceso sancionatorio que la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) inició a comienzo del año 2017 por incumplimiento de la RCA que lo aprobó.

En este contexto, existe una serie de observaciones y requerimientos hacia el titular del proyecto, en relación al cargo N°14. Dentro de estos requerimientos se tiene el siguiente:

*“Además de lo anterior, la complementación del estudio debe incluir un análisis del radio de influencia del drenaje por lo túneles y la geometría del túnel Las Lajas del sector L1, considerando un perfil longitudinal en el cual se identifiquen las cotas del frente de trabajo del túnel, las cotas que delimitan el radio de influencia generado por el drenaje de los túneles, con las cotas y nivel piezométrico de los pozos con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas constituidos en la zona. Todo lo anterior, con el objeto de determinar o descartar la posibilidad de afectación mediante conductividad hidráulica en los pozos más cercanos a la zona del túnel Las Lajas.”*

Para atender este requerimiento Alto Maipo ha contactado a la empresa consultora Hidrogeología y Medio Ambiente Sustentable Ltda (HIDROMAS), especialistas en hidrogeología y medio ambiente para desarrollar el presente Informe Técnico.

### 1.2 Objetivos y Alcances

El objetivo del presente informe es desarrollar una metodología para la estimación del área de influencia asociado al drenaje debido a los túneles del proyecto, lo que permita determinar o descartar la posible afectación de pozos con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas constituidos en la zona adyacente al proyecto.

Para lograr lo anterior, se utilizan expresiones teóricas de la hidráulica de pozos, de forma que permitan estimar el radio de influencia asociado al drenaje del túnel Las Lajas en el sector L1.

## 2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El desarrollo de una metodología a ser utilizada para la estimación del radio de influencia del drenaje producido por la construcción del túnel Las Lajas en el sector L1 comienza en primer lugar con la revisión de antecedentes e información de diferentes estudios realizados en el sector.

Considerando las observaciones realizadas por la SMA, en el cargo 14, el que especifica: “determinar o descartar la posible afectación en los pozos con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas constituidos de la zona”, se han identificado aquellos derechos de aprovechamiento de aguas cuya ubicación se encuentra en las cercanías de las obras principales del proyecto.

Una vez identificados los pozos con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, ubicados en la cercanía del proyecto, se realizó una estimación teórica del radio de influencia producido por el drenaje del túnel en distintas secciones a lo largo de este.

El cálculo realizado considera una expresión teórica proveniente de la hidráulica de pozos, la cual permite estimar la distancia a la cual se puede observar la posible influencia del drenaje del túnel sobre el sistema acuífero en que se emplaza esta obra. Esta distancia se conoce normalmente como “radio de influencia” y en su estimación se trata de utilizar “valores conservadores” para los parámetros de interés que permita generar una condición más desfavorable en términos del área de influencia. En este caso particular esta condición más desfavorable se asocia con un área de influencia más grande que la que correspondería en la situación más cercana al efecto real del drenaje.

Para una adecuada estimación del radio de influencia, es necesario conocer algunos parámetros hidrogeológicos que caracterizan el sistema natural (medio poroso) en que se emplaza a la obra (túnel), como la transmisividad (la que se relaciona con la conductividad hidráulica del macizo rocoso) y el coeficiente de almacenamiento. Además, se debe conocer la geometría del túnel, así como la información topográfica de las cotas del proyecto y del terreno.

Una vez realizados los cálculos del radio de influencia para cada sección a lo largo del eje longitudinal del túnel, se determinó un “área de influencia” que corresponde a la envolvente de todos los radios de influencia calculados previamente.

De esta forma se puede establecer la distancia a la cual el proyecto no tendrá efecto alguno en los niveles de agua subterránea de su entorno, y a partir de esta información se podrá verificar si existen pozos con derechos de aprovechamiento ubicados dentro de esta área.

### **3 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES**

#### **3.1 Aspectos Generales**

Como parte de la recopilación o levantamiento de antecedentes, se encontraron tres tipos de fuentes bibliográficas de información:

- a) documentos bibliográficos existentes realizados por el Titular y base de datos públicas de los derechos de aguas concedidos en el sector de interés
- b) registros y base de datos de ensayos hidráulicos tipo Lugeon realizados en el área de las Lajas
- c) planos y perfiles del trazado del túnel Las Lajas

Los informes revisados, y la información que finalmente fue usada para este estudio, son descritos a continuación.

#### **3.2 Información Bibliográfica de Estudios Previos**

- **Revisión y Actualización del Modelo Geológico Proyecto Hidrológico Alto Maipo, (GEOAV, 2017).**

Este estudio consiste en la revisión y actualización de los modelos geológicos existentes del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo.

El estudio que se realiza en este documento, considera la revisión de publicaciones, campañas de terreno, mapeos de túneles y sondajes, además de la recopilación de información de vuelos en helicóptero y dron. A partir de lo anterior, se confeccionan tres mapas finales, que corresponden a los sectores de Las Lajas, Alfalfal y El Volcán.

El análisis que se realiza en este estudio se enfoca en caracterizar la geología de los sectores de los túneles

En este estudio, se describen las formaciones geológicas del Sector de Las Lajas, desarrollando un mapa geológico en planta del sector y un perfil longitudinal a lo largo del túnel. Como información relevante de este estudio, se puede contar con la descripción de las formaciones geológicas del sector Las Lajas y de los mapas geológicos confeccionados.

- **Datos de ensayos hidráulicos tipo Lugeon,**

En el sector de la Caverna de Máquinas de la central Las Lajas se realizaron dos sondajes exploratorios en diciembre de 2016, a los cuales se desarrolló el ensayo hidráulico tipo Lugeon para determinar las propiedades hidrogeológicas de la roca perforada.

A partir de estos ensayos es posible determinar propiedades hidrogeológicas relevantes para el presente estudio, como lo es la permeabilidad o conductividad hidráulica característica del medio.

### **3.3 Información de planos y perfiles de ingeniería del proyecto**

La ingeniería de detalle del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo cuenta con perfiles longitudinales y en planta del túnel Las Lajas en toda su extensión.

A partir de estos perfiles se puede extraer información de la geometría del túnel, incluyendo las cotas de proyecto, distancia relativa al inicio del túnel, pendiente de los distintos tramos y cota del terreno.

### **3.4 Información digital de Derechos de Agua de la DGA**

En el registro de derechos de aguas constituidos de la Dirección General de Aguas (DGA) se buscó la totalidad de la información de los derechos inscritos existentes en las cercanías del área de estudio. La información disponible de los derechos de aguas en el área de interés, se resume en la Tabla 3-1.

Como se puede observar de la información disponible, en el área de estudio se cuenta con 35 derechos de aguas concedidos, en donde todos son de uso permanente y continuo, con excepción de un derecho perteneciente a Aguas Andinas cuyo uso es permanente y discontinuo.

Con respecto a los caudales otorgados, en el caso de aguas subterráneas, se tiene un valor promedio de 16 L/s. Sin embargo, al considerar sólo los dos pozos más cercanos al área de proyecto, que corresponden a los expedientes ND-1302-278 ND-1302-175, estos poseen caudales promedios anuales de 2,0 L/s y 5,5 L/s, respectivamente.

En la Figura 3-1, se muestra la ubicación de todos los derechos de aguas subterránea concedidos por la DGA en el sector de interés. En particular se observa que todos estos se encuentran insertos en el relleno sedimentario del río Maipo (EIA, 2008).

Del mismo modo, se puede observar que pozos con derechos de aprovechamiento constituidos por la DGA se ubican sólo en las cercanías del sector de entrada del túnel Las Lajas (sector L1), cuya distancia hasta el portal de entrada es de 700 m aproximadamente. A lo largo del desarrollo del túnel no se identifican derechos de aprovechamiento constituidos, por lo que, si bien el análisis se realizará a lo largo del túnel, el tramo de interés es sólo el comienzo de él.

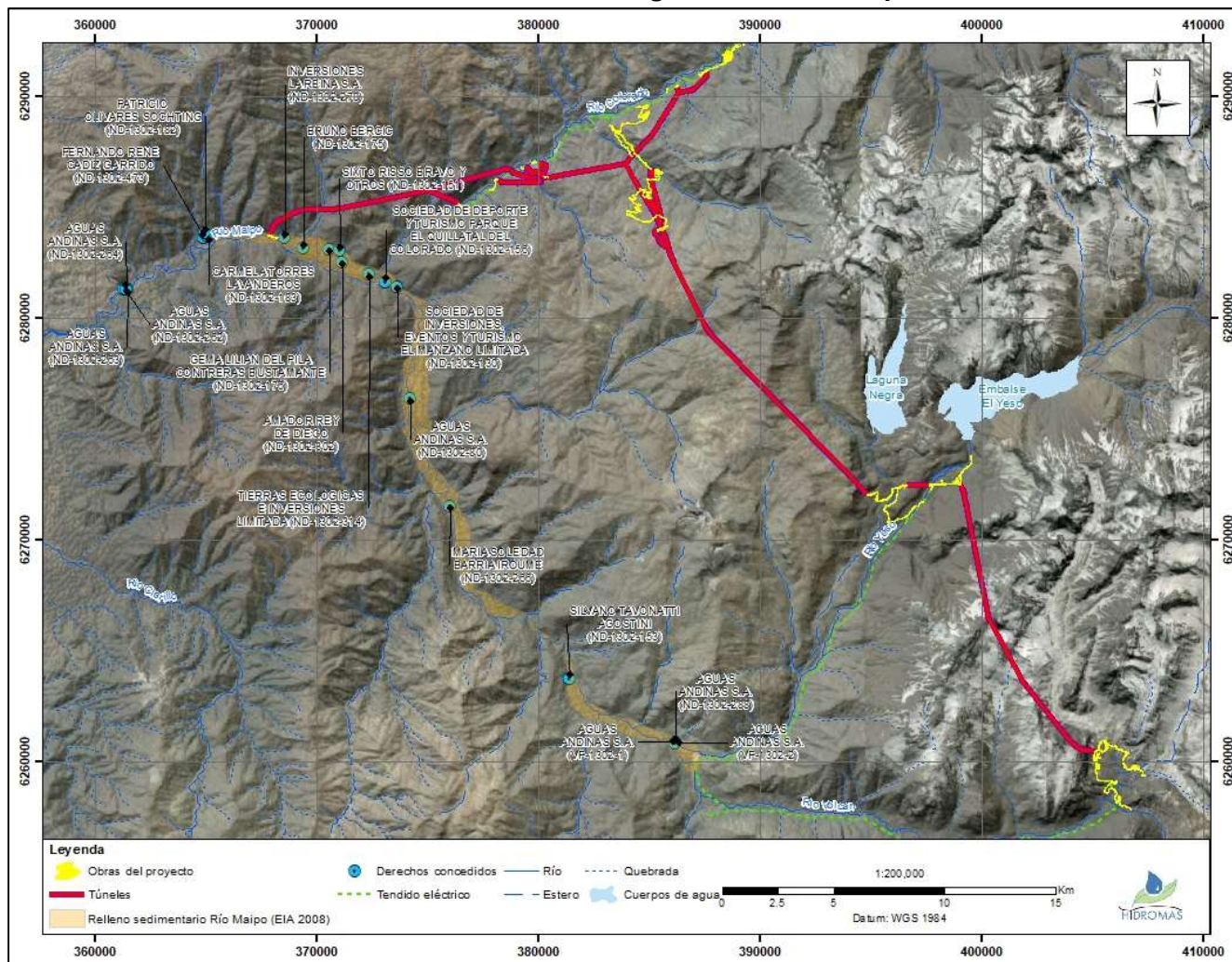
**Tabla 3-1**  
**Información de Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas**  
**Constituidos en la Zona de Interés**

Código de Expediente	Nombre Solicitante	Ejercicio del Derecho	Caudal Anual Promedio (L/s)
ND-1302-473	FERNANDO RENE CADIZ GARRIDO	Permanente y Continuo	1
ND-1302-800051	GABRIEL ANTONIO ALFARO ARREDONDO	Permanente y Continuo	0,4167
ND-1302-266	MARIA SOLEDAD BARRIA IROUME	Permanente y Continuo	0,1000
ND-1302-278	INVERSIONES LA REINA S.A.	Permanente y Continuo	2
ND-1302-302	AMADOR REY DE DIEGO	Permanente y Continuo	2
ND-1302-288	AGUAS ANDINAS S.A.	Permanente y Continuo	0,5000
VF-1302-1	AGUAS ANDINAS S.A.	Permanente y Continuo	11,2250
VF-1302-2	AGUAS ANDINAS S.A.	Permanente y Discontinuo	11,2250
ND-1302-262	AGUAS ANDINAS S.A.	Permanente y Continuo	2
ND-1302-263	AGUAS ANDINAS S.A.	Permanente y Continuo	2
ND-1302-264	AGUAS ANDINAS S.A.	Permanente y Continuo	2
ND-1302-314	TIERRAS ECOLOGICAS E INVERSIONES LIMITADA	Permanente y Continuo	3,4000
ND-1302-183	CARMELA TORRES LAVANDEROS	Permanente y Continuo	1,4000
ND-1302-182	PATRICIO OLIVARES SOCHTING	Permanente y Continuo	3
ND-1302-175	BRUNO BERCIC	Permanente y Continuo	7
ND-1302-176	GEMA LILIAN DEL PILA CONTRERAS BUSTAMANTE	Permanente y Continuo	5,5000
ND-1302-153	SILVANO TAVONATTI AGOSTINI	Permanente y Continuo	0,3000
ND-1302-156	SOCIEDAD DE DEPORTE Y TURISMO PARQUE EL QUILLATAL DEL COLORADO	Permanente y Continuo	10
ND-1302-151	SIXTO RISSO BRAVO Y OTROS	Permanente y Continuo	3,5000
ND-1302-80	AGUAS ANDINAS S.A.	Permanente y Continuo	24
ND-1302-130	SOCIEDAD DE INVERSIONES, EVENTOS Y TURISMO EL MANZANO LIMITADA	Permanente y Continuo	1,2500
ND-1302-59	MOLINA VALENZUELA CARMEN RUTH	Permanente y Continuo	0,0090
NR-1302-800000	EMPRESA METROPOLITANA DE OBRAS SANITARIAS	Permanente y Continuo	300
ND-1302-22	MIDESA S.A.C.	Permanente y Continuo	4
UA-1302-802581	EMOS	Permanente y Continuo	44
UA-1302-802582	EMOS	Permanente y Continuo	32
ND-1302-221	ISAAC ICEKSON FASSLER	Permanente y Continuo	6
ND-1302-221	PAULINA FASSLER JAICKLES	Permanente y Continuo	3
ND-1302-221	SALLY ICEKSON FASSLER	Permanente y Continuo	3
ND-1302-217	AGUAS ANDINAS S.A	Permanente y Continuo	44
ND-1302-217	EMPRESA METROPOLITANA DE OBRAS SANITARIAS	Permanente y Continuo	32
UA-1302-807285	ADOLFO Y OTROS ALDUNATE BOBADILLA	Permanente y Continuo	2,4000
UA-1302-807256	ANTONIO DEL RIO ROSELLO	Permanente y Continuo	0,3900
UA-1302-807247	CARMEN DONOSO ARAYA	Permanente y Continuo	0,3900
UA-1302-807258	HUMBERTO DONOSO ARAYA	Permanente y Continuo	0,3900

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-1**  
**Ubicación de los Derechos de Aguas Concedidos por la DGA**



Fuente: Elaboración propia



## 4 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

### 4.1 Conductividad Hidráulica Sector L1

A partir de los ensayos hidráulicos de Lugeon de nivel profundo realizados en el sector de la caverna de máquinas, se estimó el rango de permeabilidad que caracteriza la zona. En la Tabla 4-1 se presentan los resultados tabulados de los ensayos de Lugeon, y a partir del análisis estadístico se establece un valor de conductividad hidráulica para el área de interés, cuya media geométrica es de  $8,86 \cdot 10^{-8}$  m/s, con valores que varían entre  $9,6 \cdot 10^{-6}$  y  $6,8 \cdot 10^{-9}$  m/s.

**Tabla 4-1**  
**Conductividad Hidráulica Obtenida del Ensayo de Lugeon**

Sondaje	Desde	Hasta	Lugeon	Conductividad Hidráulica (m/s)
BH-001	115	120	0	0
	120	125	0.15	2.10E-08
	125	130	5.43	7.60E-07
	130	135	0	0
	135	140	0.33	4.60E-08
	140	145	0.52	7.30E-08
	145	150	0.91	1.30E-07
	150	155	0.76	1.10E-07
	155	160	1.4	2.00E-04
	160	165	21	2.90E-06
	165	170	68.57	9.60E-06
	170	175	2.33	3.30E-07
	175	180	2.08	2.90E-07
	180	185	0.48	6.70E-08
	185	190	0.24	3.40E-08
	190	195	0.6	8.40E-08
	195	200	1.8	2.50E-07
BH-005	200	205	0.26	3.60E-08
	128	133	0.07	9.80E-09
	133	138	1.63	2.30E-07
	138	143	0.21	2.90E-08
	143	148	0.89	1.20E-07
	148	153	1.21	1.70E-07
	153	158	0.4	5.60E-08
	158	163	0.07	9.80E-09
	163	168	0.06	8.40E-09
	168	173	0.17	2.40E-08
	173	178	0.56	7.80E-08
	178	183	0.25	3.50E-08
	183	188	0.06	8.40E-09
	188	193	0.36	5.00E-08
	193	198	1.59	2.20E-07

Fuente: Elaboración propia a partir de los ensayos de Lugeon

Los resultados obtenidos de las pruebas de terreno demuestran la baja permeabilidad de los materiales presentes en la zona, los que son característicos de sistemas de roca como el presente en el sector (GEOAV, 2017). A partir de lo anterior, se asumió como representativo del sector L1 el valor de conductividad hidráulica media obtenida de los ensayos de Lugeon ( $8,86 \cdot 10^{-8}$  m/s), que es del orden de  $10^{-7}$  m/s ( $8 \cdot 10^{-3}$  m/día).

## 4.2 Coeficiente de Almacenamiento

En el área de proyecto no se cuenta con ensayos hidráulicos que permitan obtener los valores del coeficiente de almacenamiento (S) que caracterice el sector L1 del túnel Las Lajas. Por este motivo, se estimaron valores a partir de la literatura para caracterizar sistemas hidrogeológicos en presencia de un medio de roca fracturada (caso más conservador)

En la Tabla 4-2 se presenta los valores de porosidad (n), rendimiento específico (Sy) y almacenamiento específico (Ss), comúnmente utilizados para caracterizar estos sistemas de roca fracturada, como se observa, para estos sistemas los rangos de almacenamiento varían entre 2% y 5%.

**Tabla 4-2**  
**Coeficientes de Almacenamiento**

Formación Geológica	n (%)	S <sub>y</sub> (%)	S <sub>s</sub> (%)
<b>Depósitos no consolidados</b>			
Grava	28-34	15-30	3-12
Arena	35-50	10-30	5-15
Limo	40-50	5-20	15-40
Arcilla	40-60	1-5	25-45
Arena de dunas	40-45	25-35	1-5
Loes	45-50	15-20	20-30
<b>Rocas</b>			
Arenisca	15-30	5-25	5-20
Caliza	10-25	0.5-10	5-25
Esquisto	0-10	0.5-5	0-5
Limolita	5-20	1-8	5-45
Till	30-35	4-18	15-30
Roca cristalina densa	0-5	0-3	-
Roca cristalina fracturada	5-10	2-5	-
Roca cristalina desgastada	20-40	10-20	-
Basalto	5-30	2-10	-

Fuente: Elaboración propia a partir de Singhal BBS, Gupta RP (1999)

## 5 CÁLCULO RADIO DE INFLUENCIA ASOCIADO AL DRENAJE DEL TÚNEL

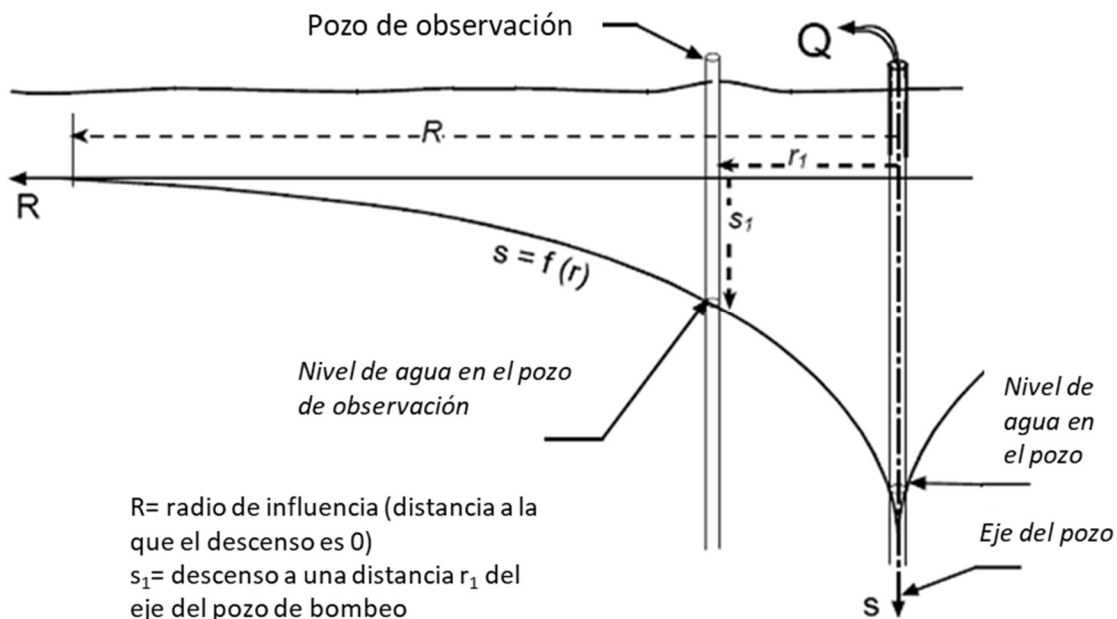
### 5.1 Marco Teórico

Durante el proceso de construcción de un túnel se producen cambios de presión al interior de éste. De esta forma, el agua contenida en el sistema rocoso cercano drena hacia el túnel, inducido por el gradiente de presiones generado por la perforación del mismo que se encuentra a presión atmosférica.

A partir de esto, el túnel actúa como un elemento de drenaje, el cual mueve el agua que se encuentra en el medio rocoso, con un mayor nivel de presión, hacia el interior del túnel. Este comportamiento es posible de caracterizar análogamente como el efecto de descenso de niveles de agua subterránea en un acuífero producido por el bombeo desde un pozo de producción. En la Figura 5-1 se presenta un esquema de la situación descrita anteriormente.

Como se observa en la Figura 5-1 existe un parámetro denominado “R”, que corresponde al “Radio de influencia”, la que corresponde a la distancia en la cual el descenso producido por el bombeo de un pozo es nulo, o en el caso el túnel corresponde a la distancia a partir de la cual no hay efecto de drenaje desde el mismo.

**Figura 5-1**  
**Esquema de Efecto del Bombeo de un Pozo en un Acuífero**



Fuente: Elaboración propia

De esta forma es posible realizar una estimación del radio de influencia a lo largo del eje longitudinal del túnel, considerándolo como el efecto de un pozo “horizontal” inmerso en el sistema rocoso.

A partir de la expresión que caracteriza el descenso del bombeo producido por un pozo (Figura 5-1), se puede obtener una expresión que permite determinar el radio de influencia (distancia a la cual el descenso es cero) a partir de parámetros físicos del medio. La expresión a utilizar corresponde a:

$$R = \sqrt{\frac{2,246 \cdot T \cdot t}{S}} \quad (1)$$

donde:

R : Radio de influencia producido por la construcción del túnel (m)

T : Transmisividad del medio (m<sup>2</sup>/s)

t : Tiempo de análisis (s)

S : Almacenamiento

Para la expresión (1) la transmisividad (T) es directamente dependiente de la potencia del acuífero y de la conductividad hidráulica. Para efectos del análisis del túnel del proyecto Alto Maipo la potencia del acuífero se considera que corresponde a la carga hidráulica sobre la clave del túnel, lo que será presentado más adelante en este documento.

Para la estimación del cálculo del radio de influencia a lo largo del túnel, es necesario conocer la geometría de éste, la cota o elevación a la cual se ubicará, el nivel de terreno en el eje del túnel, el nivel de agua subterránea por sobre del túnel, el tiempo de análisis y los parámetros hidrogeológicos como transmisividad y almacenamiento.

Cabe resaltar que esta metodología puede ser considerada como conservadora, por cuanto considera sólo la propagación del efecto de despresurización por drenaje del túnel, a través del sistema de roca, sin considerar recarga superficial a través del medio fracturado, lo que podría contener este radio de influencia en un valor más reducido en torno al eje del túnel.

## 5.2 Geometría del Túnel

A partir de los planos de ingeniería de detalle del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo, el sector del túnel L1 se encuentra contenido desde el inicio del portal de entrada hasta aproximadamente 2 km a lo largo del eje del mismo.

En las Figuras 5-2 y 5-3 se presenta un perfil longitudinal y en planta respectivamente, del sector en estudio.

Como se observa en el corte longitudinal de la Figura 5-2, en el tramo de 2,9 km desde el inicio del túnel, la potencia del macizo rocoso por sobre el túnel posee un valor medio de aproximadamente 300 m. El mínimo espesor se da al inicio del túnel, con magnitudes entre 10 y 50 m en los primeros 50 m de distancia. El máximo espesor se observa a los 800 m de distancia y corresponde a 508 m desde el nivel de terreno hasta el nivel de proyecto. Lo anterior resulta relevante para el cálculo de la transmisividad.

Como se observa en la Figura 5-3 se encuentran definidas secciones a lo largo del eje del túnel, las que están separadas a una distancia no uniforme. En el presente análisis sólo se considerarán las primeras 39 secciones, que corresponde a una distancia de 2,9 km desde el inicio del túnel, justo hasta el cruce con el Estero El Manzano.

A partir de estos perfiles se obtuvo la información de la geometría del túnel, su ubicación y cota de proyecto, además de caracterizar la cota de terreno a lo largo del eje del túnel.

### 5.3 Estimación del Nivel Piezométrico

En el sector del eje del túnel no existe información piezométrica, de manera que no es posible obtener de forma exacta la columna de agua por sobre el túnel.

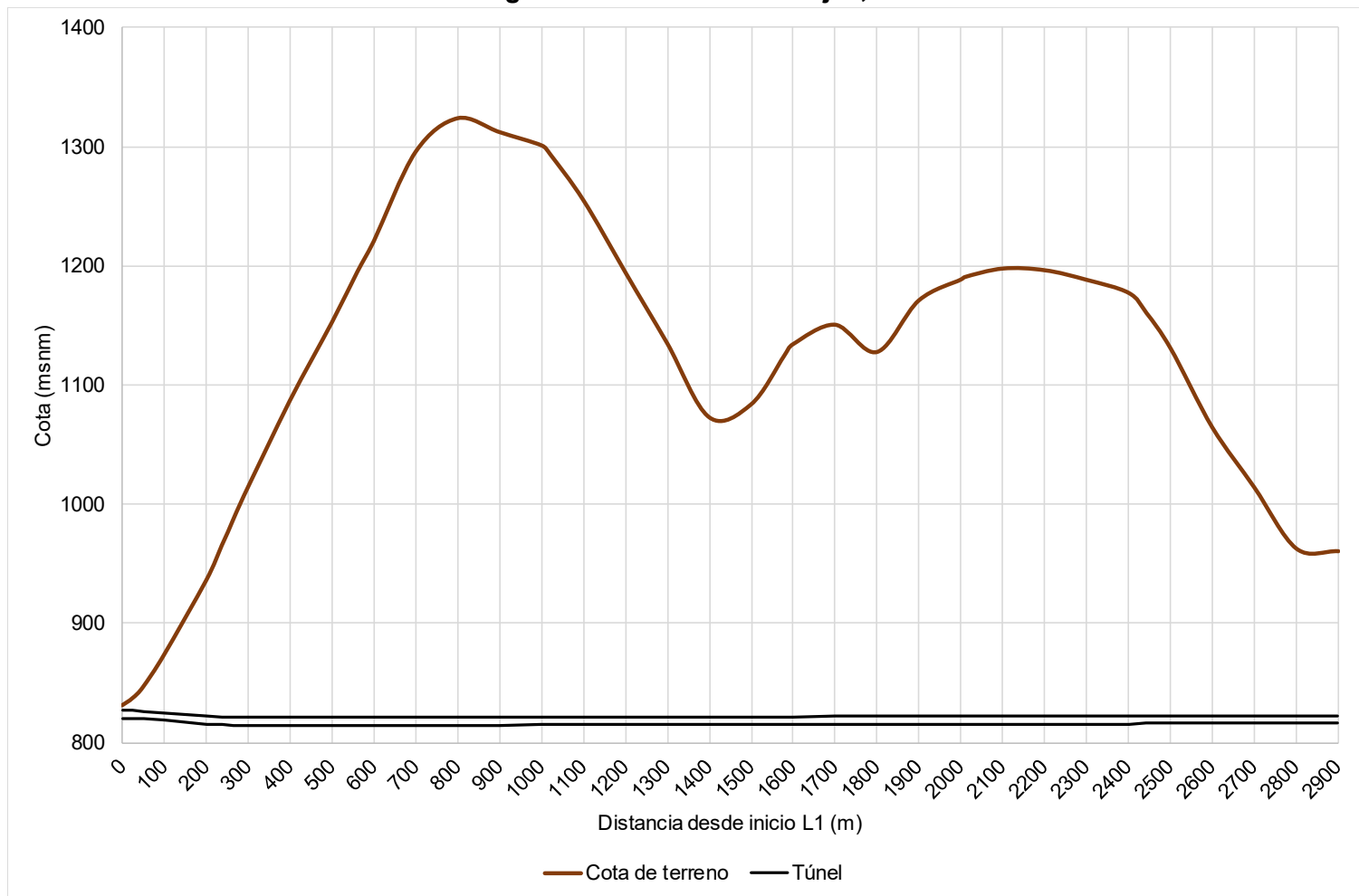
Debido a lo anterior, es necesario realizar supuestos para caracterizar el espesor de agua que existe sobre el túnel o carga hidráulica sobre el túnel. En los sistemas de alta montaña, el nivel de agua está influenciado por la topografía de la superficie, en donde cuencas hidrográficas representan de buena forma el dominio de los sistemas acuíferos. De esta forma, el criterio de análisis consideró que la profundidad del nivel freático sigue la topografía del terreno y se ubica a un tercio de la diferencia entre la cota del nivel de terreno y la del techo del túnel, vale decir la carga hidráulica corresponde a dos tercios de la capa de roca sobre el túnel.

Otro dato para ajustar la ubicación del nivel piezométrico, corresponde a la ubicación del Estero El Manzano, ya que en este punto el nivel de agua tiene que encontrarse al menos al mismo nivel que el terreno. A partir de estas consideraciones, en la Figura 5-4 se presenta el nivel piezométrico adoptado en un corte longitudinal a lo largo del túnel.

De manera de validar el supuesto realizado, se contrastó esta información con las presiones medidas durante la excavación del túnel. En la Figura 5-5 se presenta un gráfico que compara la altura de presión en metros de columna de agua medida a lo largo del túnel con el nivel piezométrico adoptado (ambos con respecto a la altura de agua por sobre el túnel).

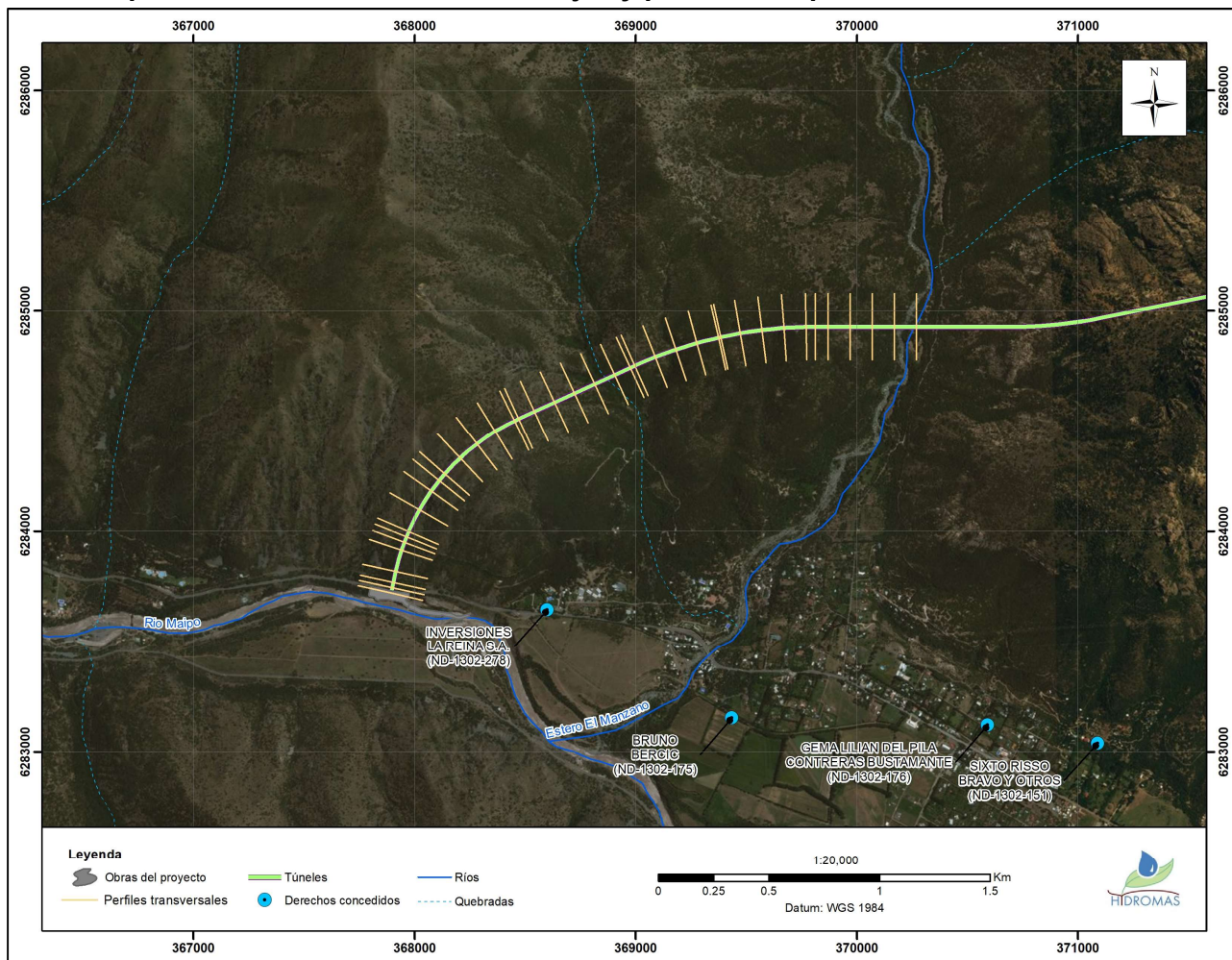


**Figura 5-2**  
**Perfil longitudinal del túnel Las Lajas, sector L1**



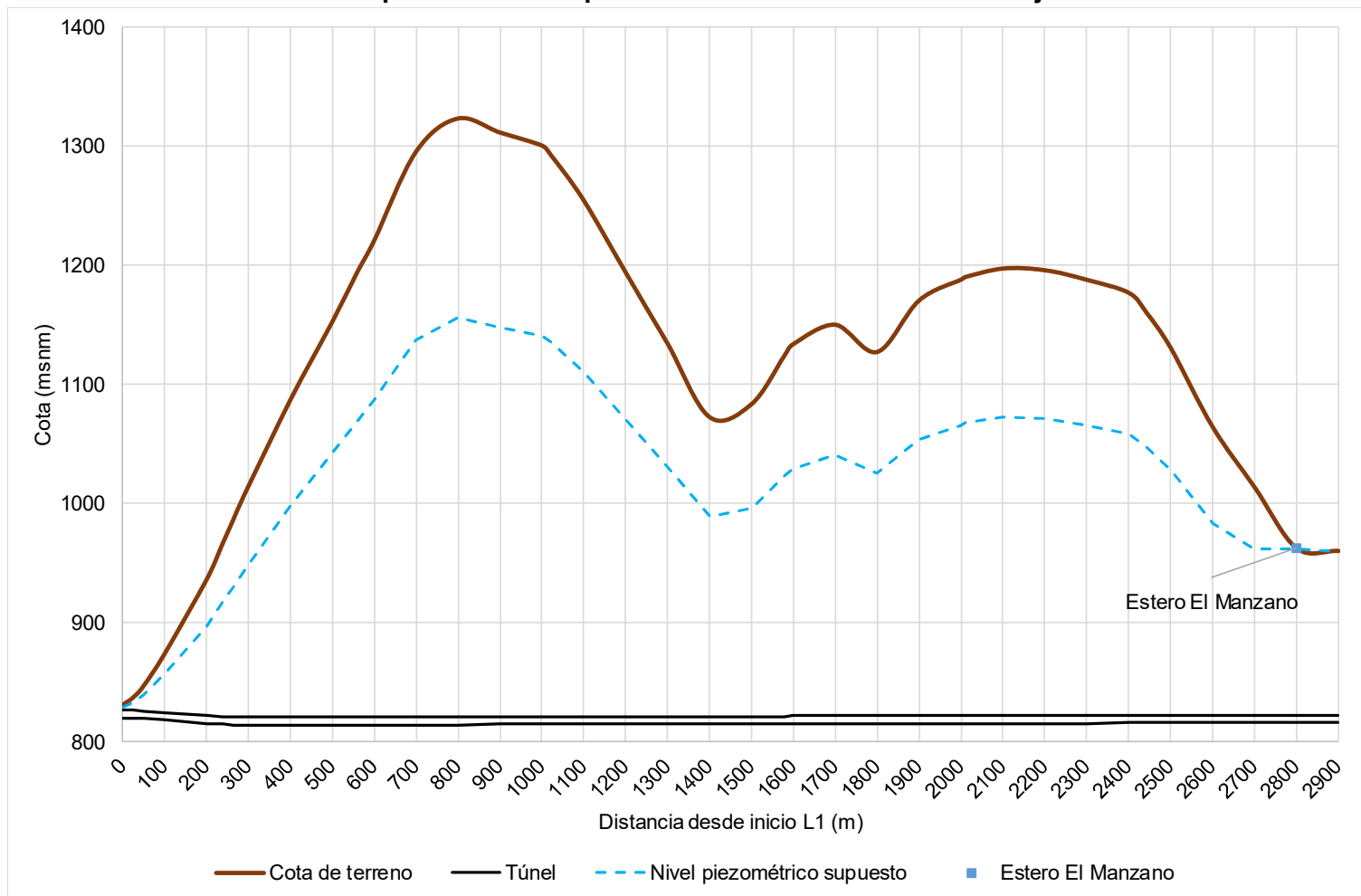
Fuente: Elaboración propia a partir de planos de ingeniería

**Figura 5-3**  
**Vista en planta de trazado de túnel Las Lajas y posición de perfiles transversales, sector L1**



Fuente: Elaboración propia a partir de planos de ingeniería

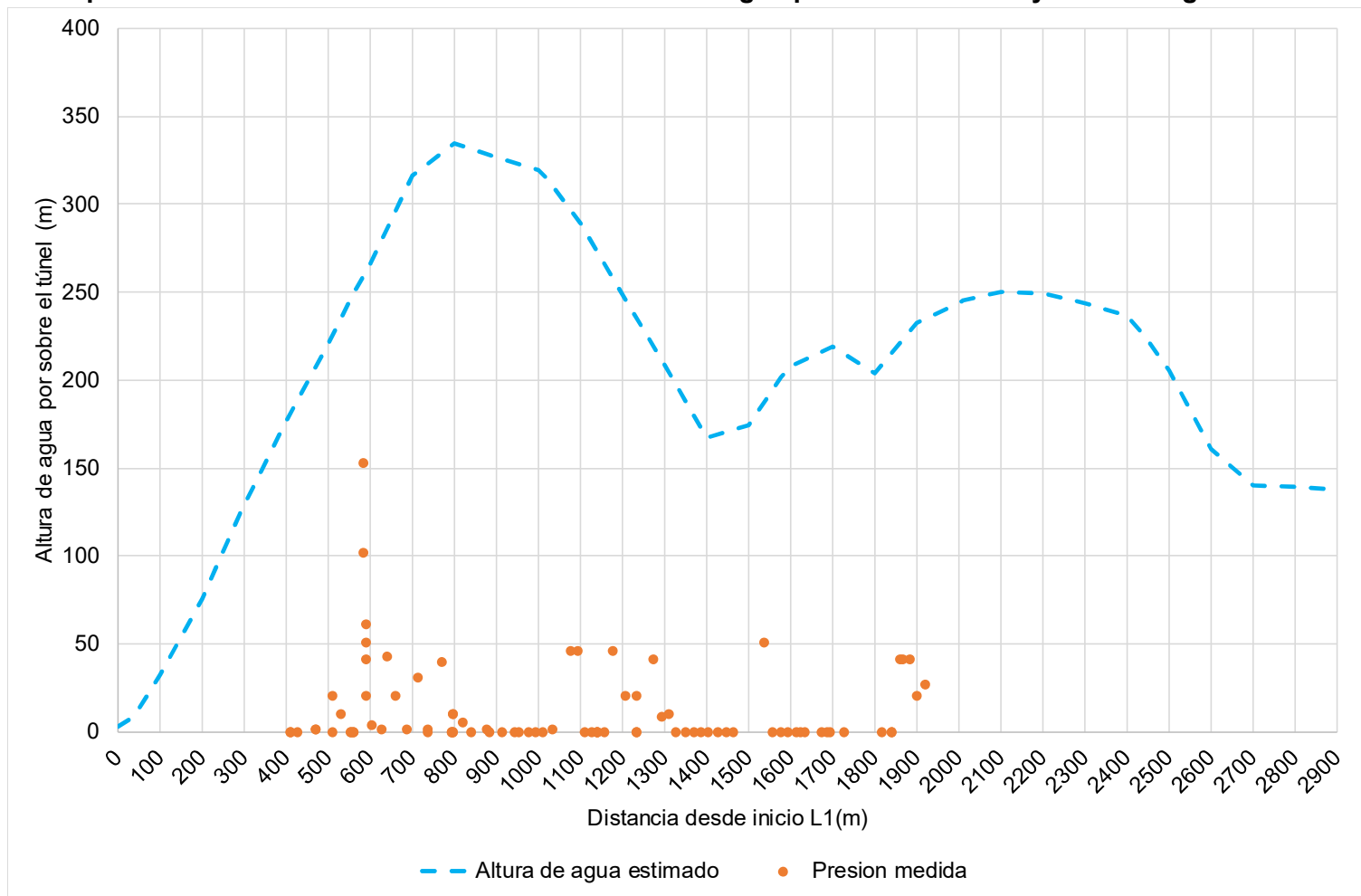
**Figura 5-4**  
**Nivel piezométrico supuesto en sector L1 de túnel Las Lajas**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 5-1**

**Comparación entre Medición de Altura de Columna de Agua por sobre el Túnel y Nivel de Agua Estimado**



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 5-5, el mayor valor de altura de columna de agua por sobre el túnel registrada es de 150 m, y se midió aproximadamente a 600 m desde el inicio del túnel, por otra parte, se puede apreciar que el nivel supuesto para este análisis se encuentra sobrestimando durante todo el rango de mediciones.

Debido a que el nivel de agua proyectado sobrestima los valores de presión registrados, la estimación del radio de influencia entregará magnitudes mayores a las reales, lo que significa, que el nivel de aguas supuesto representa una condición más desfavorable para el sistema.

#### 5.4 Cálculo del Radio de Influencia

Para cada una de las 39 secciones definidas en el acápite 5.2, se utilizará la ecuación 1 (acápite 5.1) de manera de determinar el radio de influencia a lo largo del túnel Las Lajas en el sector de L1.

El término “t” de la ecuación 1 asociado al tiempo, se determina a partir del inicio de operación de los túneles. Esto se debe a que una vez se comiencen a operar los túneles, estos conducirán agua en presión, lo que provocará que deje de existir el gradiente de presiones desde el sistema rocoso al interior del túnel, lo que se traduce en que ya no existirá drenaje por parte del túnel.

El tiempo estimado para la finalización de la construcción de los túneles es de tres años, es decir que en enero de 2021 se deberá dar inicio a la operación de estos. De esta forma el tiempo considerado para el análisis es de tres años.

El coeficiente de almacenamiento “S” de la expresión (1), se define a partir de lo descrito en el acápite 4.2. El valor asumido corresponde a un  $S=2\%$  que se considera conservador para caracterizar el sistema rocoso en estudio. En este caso, mientras menor sea el valor del coeficiente de almacenamiento, mayor es el radio de influencia.

Finalmente, el término de transmisividad “T” de la expresión (1), se estima como el producto entre la conductividad hidráulica y el espesor saturado del acuífero. La expresión es la siguiente:

$$T = K \cdot b$$

El término K de la expresión anterior corresponde a la conductividad hidráulica, el cual se determina según lo descrito en el acápite 4.1. El valor considerado es el del valor medio de todas las pruebas de Lugeon, es decir  $K = 8,86 \cdot 10^{-8}$  (m/s).

El término “b” de la expresión de la transmisividad corresponde al espesor saturado del acuífero, que en este caso se considera como la altura de agua por sobre la cota del túnel. Este valor se obtiene a partir de lo descrito en el acápite anterior (Figura 5-4).

En la Tabla 5-1 se presenta un resumen de los valores adoptados para cada parámetro de la expresión para el cálculo de radio de influencia.



**Tabla 5-1**  
**Resumen de Parámetros para el cálculo del Radio de Influencia**

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Tiempo	t	3	años
Almacenamiento	S	2	%
Transmisividad	T	K*b	m <sup>2</sup> /s
Conductividad hidráulica	K	8.86E-08	m/s
Espesor de acuífero	b	Variable	m

Fuente: Elaboración Propia

## 6 ANALISIS Y RESULTADOS

Debido a que el objetivo de este análisis radica en determinar o descartar la posible afectación de los caudales de drenaje en el proceso constructivo del tramo L1 sobre los pozos con derechos de aprovechamiento constituidos de la zona, en primer lugar, se analiza aquellos pozos que se encuentran cerca del radio de influencia calculado a partir de lo descrito en el capítulo 5.

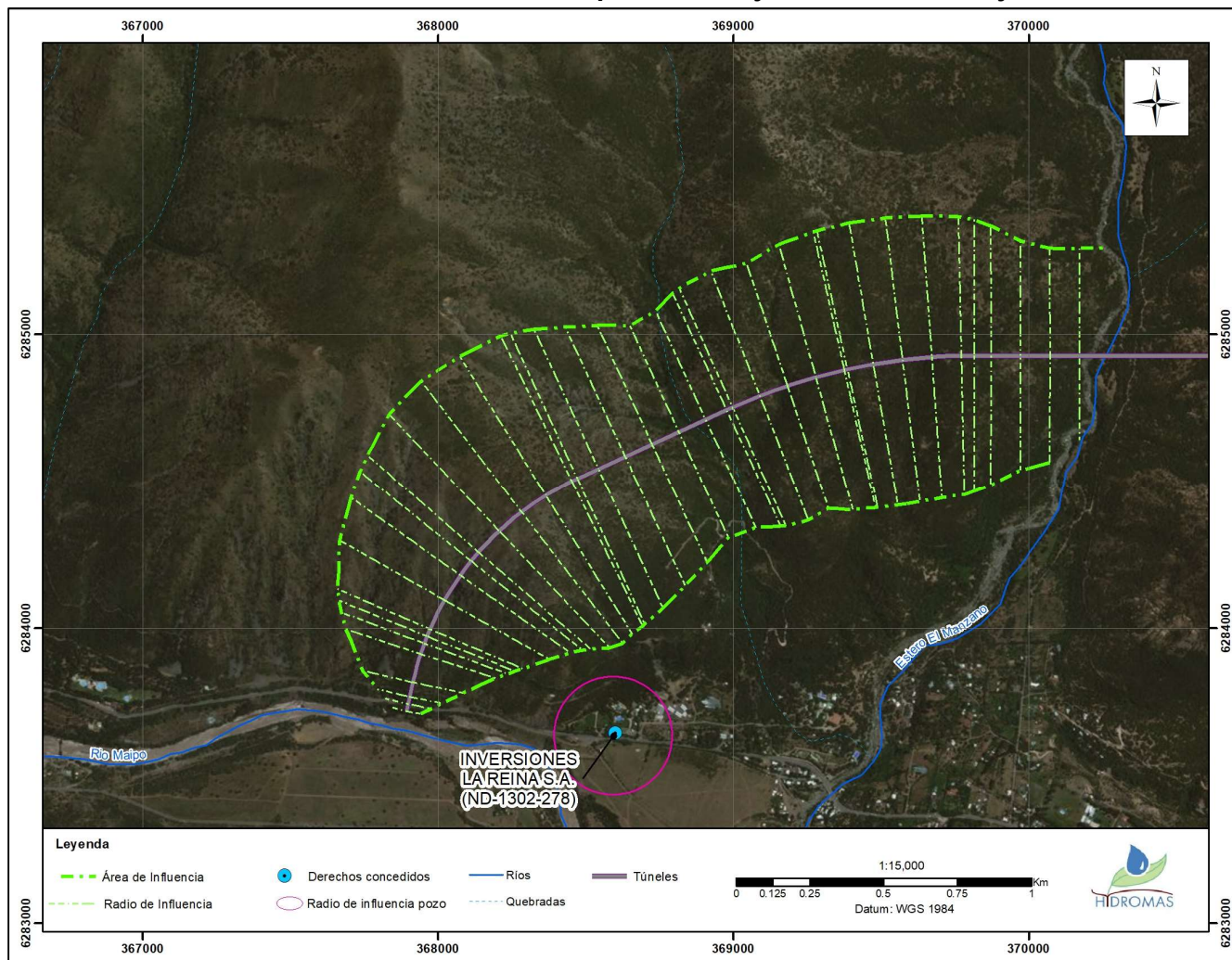
Cabe mencionar que para la determinación del radio de influencia se han utilizado parámetros conservadores, por cuanto se ha utilizado un espesor saturado en el tramo L1 mayor a la altura de presión medida a lo largo de la perforación; se ha usado un coeficiente de almacenamiento de 1%, menor al recomendado para este tipo de sistemas rocosos por la literatura; y se ha considerado la expresión (1), que considera que el radio de influencia se propaga durante todo el periodo de construcción, sin considerar una posible estabilización por recarga superficial a través del sistema de roca. Todos los supuestos anteriores maximizan la estimación del radio de influencia.

En la Figura 6-1 se presentan los radios de influencia calculados para cada sección a lo largo del túnel en el sector de L1, además se muestra una zona de envolvente que incluye el borde de cada radio calculado. Como se observa en la figura, el único pozo con derecho constituido que se encuentra cerca de la zona de interés es el de “Inversiones La Reina S.A”, que se encuentra a una distancia de más de 300 m fuera de la zona de influencia estimada.

Además, en la figura se presenta el radio de influencia de 200 m del pozo de “Inversiones La Reina S.A”, y como se observa, el área de influencia del pozo con el del túnel se encuentran separados a una distancia mínima de más de 100 m, mientras que entre el radio de influencia del pozo y el área de influencia de la entrada del túnel L1, existen más de 400 m de distancia.

El resto de los pozos con derecho de aprovechamiento de agua subterránea constituidos de la zona, se encuentran a distancias en escala de kilómetros con respecto al eje del túnel, de esta forma se descarta cualquier tipo de afectación posible producida por el túnel Las Lajas.

**Figura 6-1**  
**Radio de Influencia Inducido por el Drenaje del Túnel Las Lajas**



Fuente: Elaboración Propia

## 7 CONCLUSIONES

A partir de los resultados del cálculo de radio de influencia, se puede concluir que ninguno de los pozos con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, constituidos en el área de interés, se vería afectado ante el drenaje producido por el túnel Las Lajas.

El derecho asociado a “Inversiones la Reina S.A.” es el pozo ubicado a menor distancia del borde del radio de influencia calculado. Dicho pozo se encuentra a más de 300 m fuera de la zona de afectación. Del mismo modo, al considerar un radio de 200 m desde el pozo, este se encuentra a más de 100 m como distancia mínima del área de influencia del túnel, y a más de 400 m hasta la zona de influencia de la entrada al túnel Las Lajas, en el sector L1.

Es importante señalar que los pozos con derechos constituidos extraen agua directamente del relleno sedimentario del río Maipo, y debido a las bajas permeabilidades del sistema rocoso en el cual se encuentra el túnel Las Lajas, hidrogeológicamente no es factible que el efecto del drenaje del túnel se propague hasta el relleno sedimentario.

Del mismo modo, se debe mencionar que los pozos con derecho de aprovechamiento de agua subterránea en el sector, se encuentran a una cota más baja que el eje del túnel. De esta forma, el drenaje producido por la perforación físicamente no captará aguas a un menor nivel de presión, es decir a una cota más baja.

## 8 REFERENCIAS

- GEOAV, 2017. Revisión y Actualización del Modelo Geológico Proyecto Hidrológico Alto Maipo
- EIA, 2008. Evaluación de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo. Anexo 25, Mapa de Zonas Acuíferas en el Río Maipo.
- DGA, 2018. Base de datos en línea de expedientes de derechos de agua.
- Plano N° 6355-TU-PLA-004. Perfil Longitudinal. Ingeniería de detalle del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo.
- Plano N° 6355-TU-PLA-006. Planta y trazado horizontal. Ingeniería de detalle del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo.
- Ensayos hidráulicos tipo Lugeon realizados en diciembre de 2016. Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo.
- Singhal BBS, Gupta RP, 1999. Applied hydrogeology of fractured rocks. Kluwer Academic Publishers. 400 pp.