



DIAGNÓSTICO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

PROYECTO JERÓNIMO

Informe final
Enero 2011





www.artoisconsulting.cl

30 enero 2011

Señores:

Agua de la Falda S.A.

Cerro Colorado 5240, Piso 9, Oficina A

Las Condes, Santiago

CHILE

Atención: Sr. Oscar Soto

Estimado Oscar,

**Re: Proyecto Jerónimo: Diagnóstico hidrológico e hidrogeológico
Informe final**

A continuación, se presenta el informe final que describe las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas en el área del proyecto Jerónimo.

Sin otro particular, se despide

Atentamente

ARTOIS CONSULTING LIMITADA

Jan J. Van Hooydonck
Consultor Hidrogeólogo (M.Sc., C.Geol., F.G.S.)

EXECUTIVE SUMMARY

The Jerónimo project is located in the Andean Cordillera (Region III) at a high geographic elevation of 3800 mamsl, within the upper part of the Salado river watershed. The gold mineralization is found at a depth of 600 m below the ground surface and is associated with bioclastic limestones.

The area is affected by a cold desert climate with annual precipitations that fluctuate between zero and 159 mm/year. Since the evaporation rate is much higher than the annual precipitation, only limited water resources are available. In addition, the project is located on top of a local water divide which effectively limits the water capture area to 6 km².

As a result, the natural occurrence of surface water and groundwater is highly sporadic. Surface water run-off is only observed after high intensity storms, calculating maximum instantaneous flows of 10 m³/s for a 100-year return period.

With regard to groundwater, piezometric levels are measured at 3700 mamsl but, considering the low permeability of the rock mass and the limited recharge potential, mine water inflows are likely to remain between 2 and 7 L/s. The inflows will be concentrated along fracture zones, rock contacts and dissolution features.

In accordance with these conditions, a simple and conventional water management plan is recommended. This consists of small interception channels around the surface operational areas (dimensions of 1.5 m²), complemented by a mine dewatering system (capacity of 7 L/s) in the underground workings.

The process will be supplied by water from an existing dam located along the La Ola river at a distance of 35 km from the project area. The La Ola river forms part of the Pedernales Salar, a large watershed with major water resources. Extraction will occur at a rate of 2400 m³/day (28 L/s).

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto Jerónimo se ubica en la Cordillera de los Andes (III Región), a gran altura geográfica (3800 msnm) en la cabecera del río Salado. La mineralización de oro se encuentra a una profundidad de 600 m debajo la superficie, emplazada en horizontes de calizas bioclásticas.

El clima corresponde al de un desierto frío de montaña con precipitaciones anuales que fluctúan entre extremos de 0 hasta 159 mm/año. La tasa de evaporación supera ampliamente la precipitación anual, limitando la disponibilidad de los recursos hídricos. Además, el área del proyecto se sitúa por sobre un divisorio local de aguas, reduciendo el área de aporte a unos 6 km².

Como consecuencia de lo anterior, existe sola una presencia esporádica de aguas superficiales y subterráneas en el área del proyecto. Las escorrentías solamente ocurren después de tormentas de alta intensidad, calculando caudales máximas instantáneas de hasta 10 m³/s para periodos de retorno de 100 años.

En tanto, las aguas subterráneas se encuentran a una cota de 3700 msnm pero dado la baja permeabilidad y la limitada recarga, se anticipa caudales entre 2 y 7 L/s que eventualmente pueden infiltrarse hacia las obras subterráneas. Estas infiltraciones se concentrarán a lo largo de zonas de fracturamiento, contactos litológicos y tramos de disolución.

De acuerdo a estas condiciones, se recomienda un plan de manejo de aguas sencillo y convencional que consiste en zanjas de intercepción y desvío (1.5 m²) alrededor de las operaciones, complementado por un sistema de drenaje (hasta 7 L/s) dentro de la mina.

El proceso será abastecido con agua proveniente del tranque existente en el río La Ola, a unos 35 km de distancia. El río La Ola forma parte del Salar de Pedernales, una hoya hidrográfica de mayor aporte de aguas, donde se extraerá 2400 m³/día (28 L/s).

ARTOIS CONSULTING LIMITADA



Jan J. Van Hooydonck
Consultor Hidrogeólogo (M.Sc., C.Geol., F.G.S.)

Informe Electrónico No.: 1 de 1 (versión PDF FINAL)
Fecha: 30 de enero de 2011

TABLA DE CONTENIDOS

Sección	Página
EXECUTIVE SUMMARY	I
RESUMEN EJECUTIVO	II
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del proyecto	1
1.2 Alcance técnico	1
2 REVISIÓN DE ANTECEDENTES.....	3
2.1 Resumen de la geología	3
2.2 Topografía y clima.....	4
2.3 Datos meteorológicos.....	4
2.4 Cuenca hidrográfica (aguas superficiales).....	5
2.5 Datos hidrogeológicos (aguas subterráneas).....	7
2.6 Observaciones en el túnel de exploración	8
2.7 Observaciones iniciales de calidad de aguas	9
3 DIAGNÓSTICO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO	11
3.1 Diagnóstico hidrológico	11
3.1.1 Balance general de aguas naturales	11
3.1.2 Eventos extremos de precipitación e intensidades	12
3.1.3 Caudales máximos instantáneos.....	13
3.1.4 Manejo y mitigación: aguas de escorrentía	15
3.2 Diagnóstico hidrogeológico	16
3.2.1 Dirección de flujos y gradientes hidráulicas	16
3.2.2 Unidades hidrogeológicas	19
3.2.3 Estimación de flujos de aguas subterráneas.....	20
3.2.4 Manejo y mitigación: aguas subterráneas.....	22
3.3 Fuente de abastecimiento	23
4 CONCLUSIONES	24
5 REFERENCIAS	25

TABLAS

<i>Tabla 2-1</i>	<i>Precipitación media mensual</i>	<i>5</i>
<i>Tabla 2-2</i>	<i>Características geomorfológicos de las sub-cuencas</i>	<i>5</i>
<i>Tabla 2-3</i>	<i>Niveles de agua subterránea en sondajes de exploración.....</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 3-1</i>	<i>Precipitaciones máximas en 24 horas.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 3-2</i>	<i>Caudales de diseño (o máximos instantáneos).....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 3-3</i>	<i>Rango de caudales de agua subterránea: balance de aguas.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 3-4</i>	<i>Rango de caudales de agua subterránea: Ley de Darcy</i>	<i>21</i>

FIGURAS

<i>Figura 1-1</i>	<i>Ubicación regional del proyecto</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2-1</i>	<i>Delimitación de las sub-cuencas.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2-2</i>	<i>Puntos de monitoreo hidrogeológico.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2-3</i>	<i>Observaciones en el túnel de exploración (diciembre 2010).....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3-1</i>	<i>Curvas IDF para el proyecto Jerónimo.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3-2</i>	<i>Mapa piezométrico: proyecto Jerónimo.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3-3</i>	<i>Perfiles piezométricos N-S.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3-4</i>	<i>Unidades hidrogeológicas preliminares.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3-5</i>	<i>Fuente de abastecimiento Tranque La Ola</i>	<i>23</i>

ANEXOS

Anexo A:	Cálculos hidrológicos (aguas superficiales)
Anexo B:	Cálculos hidrogeológicos (aguas subterráneas)

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD LIMITADA

El contenido de este informe es una descripción de la opinión profesional de la empresa Artois Consulting Ltda. en base de la información disponible al momento de realizar el trabajo. Está basada en registros históricos proporcionados por Agua de la Falda SA e información recogida por personal de Artois Consulting Ltda. durante una visita a terreno en diciembre 2010. La evaluación fue realizada por un consultor hidrogeólogo con registro profesional de “Chartered Geologist”, acreditado por el instituto geológico británico.

Aunque el trabajo fue realizado con debida diligencia, Artois Consulting Ltda. no se responsabiliza por acciones tomadas por terceros en base de los resultados y opiniones expresados en este documento.

1 INTRODUCCIÓN

En diciembre 2010, Agua de la Falda S.A. contrató a la empresa Artois Consulting Ltda. (Artois) para realizar un diagnóstico de las condiciones hidrológico e hidrogeológico del proyecto Jerónimo.

1.1 Descripción del proyecto

El yacimiento aurífero de Jerónimo se ubica en la provincia de Chañaral, III Región de Atacama de Chile a unos 40 km al sur-este de la ciudad de El Salvador (ver Figura 1.1). El yacimiento forma parte del complejo mineralizado de Agua de la Falda, siendo el manto más profundo de dicho depósito. Actualmente, Yamana Gold está realizando estudios a nivel de pre-factibilidad para una explotación subterránea de hasta 700 m de profundidad, considerando una explotación total de alrededor de 5 Mt de mineral.

Como parte de estos estudios, se requiere un diagnóstico inicial de las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas para evaluar eventuales complicaciones relacionadas con la operación y drenaje de una mina subterránea en este lugar.

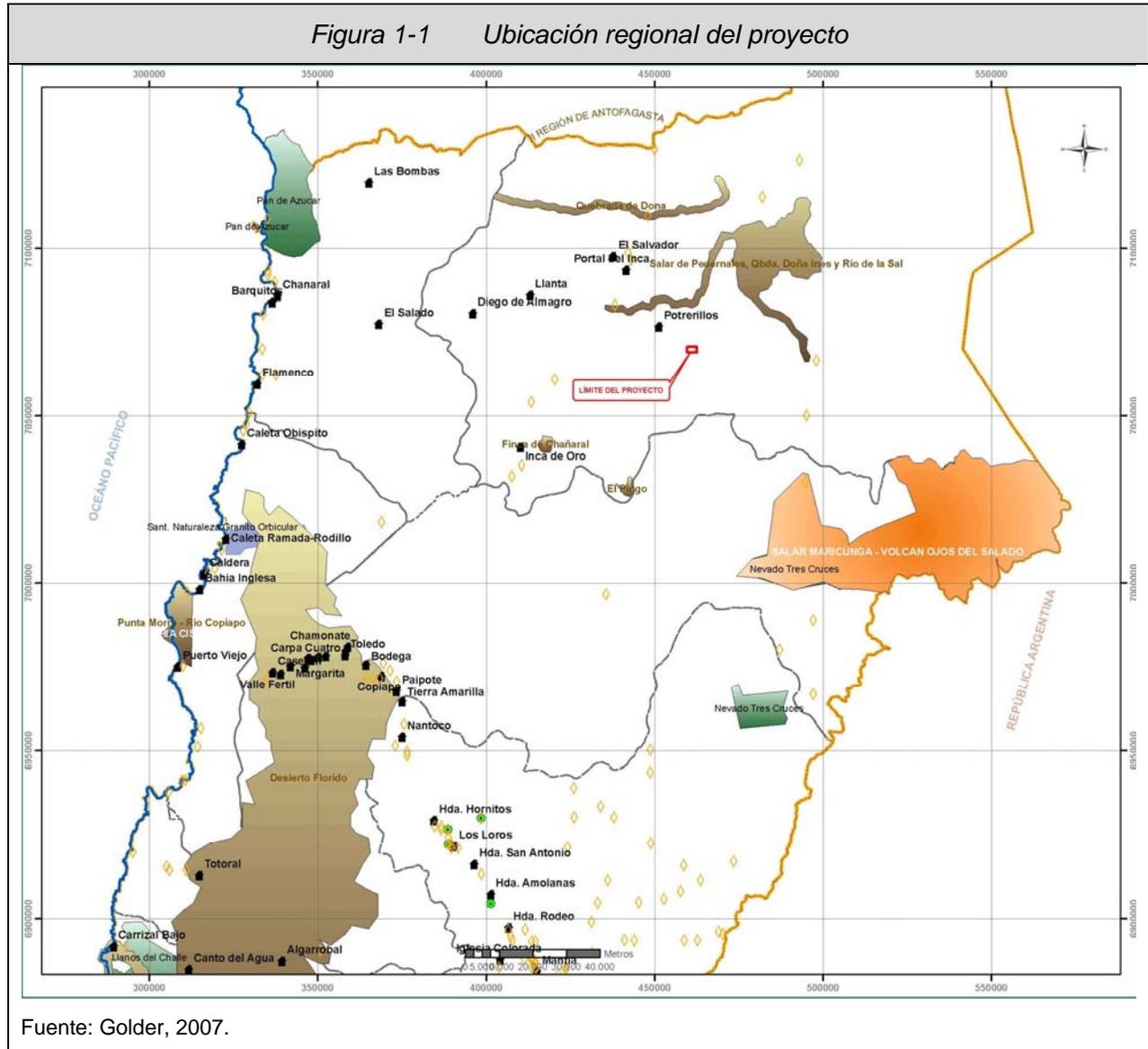
Además, se necesita evaluar la sustentabilidad del recurso hídrico otorgado por Codelco para abastecer la planta (2400 m³/día).

1.2 Alcance técnico

El objetivo principal es presentar un diagnóstico de las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas del depósito Jerónimo para definir como éstas pueden afectar la eventual operación minera. Específicamente, el alcance incluye lo siguiente:

- Revisión e organización de la información existente;
- Diagnóstico hidrológico del área de la mina subterránea;

- Diagnóstico hidrogeológico del área de la mina subterránea y el acuífero de abastecimiento;
- Informe técnico que representa una opinión profesional preliminar.



2 REVISIÓN DE ANTECEDENTES

El trabajo fue realizado en base a datos e informes existentes proporcionados por Agua de la Falda, complementado con mediciones puntuales realizadas durante una visita a terreno durante el mes de diciembre 2010.

2.1 *Resumen de la geología*

La mineralización de oro en Jerónimo se presenta como lentes irregulares en los horizontes de calizas bio-clásticas marinas de la Formación Asientos, edad Jurásica. Dichas calizas se encuentran cubiertas, en contacto disconforme, con una secuencia volcánica compuesta por riolitas y andesitas (Formación Hornitas, edad Terciaria).

La zona mineralizada posee un espesor promedio de 6 m y se extiende sobre un área de 2 por 1.3 km. Se encuentra afectada por un complejo cuadro estructural, siendo el principal sistema compuesto por la falla normal sub-vertical (denominado Falla Mapuche-Polvorines) que divide el yacimiento en dos bloques separados por más de 200 m en la vertical. Además, se identifican numerosas fallas inversas que atraviesan el yacimiento en dirección NE-SW.

Dado el grado de alteración observada en la zona mineralizada (Yamana, 2008), se anticipa que la permeabilidad primaria normalmente asociada con las calizas disminuyó por los efectos de silicificación y argilización. En la actualidad, se anticipa que la permeabilidad secundaria (es decir: diaclasas, fallas y zonas de disolución) forma la mayor vía de filtración de aguas.

Por debajo las calizas, a unos 700 m de profundidad, se encuentran lodolitas y lutitas negras que subyacen el basamento rocoso. Se anticipa que estas últimas unidades forman un límite de muy baja permeabilidad que no permite la filtración de aguas en cantidades significativas.

2.2 Topografía y clima

La propiedad minera cubre un área de unos 23.500 ha, ubicándose en una altura geográfica de 3800 msnm en el borde occidental de la Cordillera de los Andes. Es una zona caracterizada por lomajes y cerros de alturas variables, cortados por quebradas abruptas y profundas que se desarrollaron por la acción hídrica de épocas anteriores.

En general, el área de estudio se encuentra cubierto por arenas y gravas no consolidadas, sin la presencia de vegetación. El clima corresponde al de un desierto frío de montaña, cuya característica más relevante es la gran sequedad del aire y las grandes fluctuaciones en la temperatura (desde -10°C en la noche y $+13.2^{\circ}\text{C}$ durante el día, con un promedio anual de 4.1°C) (Yamana, 2008).

2.3 Datos meteorológicos

Dada la escasez de la información disponible para el área específica, a continuación, se presenta un resumen de los datos meteorológicos publicados en informes realizados para Codelco, División Salvador. Dichos datos se basan en observaciones de dos estaciones ubicadas en Potrerillos, unos 25 km al nor-oeste del área del proyecto.

Generalmente, las precipitaciones en la zona son escasas y menores a 1 mm/mes. Las pocas frecuentes precipitaciones se concentran durante los meses de mayo a agosto y se asocian con sistemas de origen frontal que traen moderadas nevadas a la zona.

La precipitación media anual es del orden de 29 mm aunque se registran fluctuaciones estacionales entre años con poca a nula precipitación, y otros con extremos de hasta 159 mm/año. En tanto, la precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años es de 20 mm (Codelco, sin fecha).

Dado la altura, la radiación solar y el viento, la evapo-transpiración potencial para el área del proyecto es alta. En Potrerillos, se registran valores mensuales entre 66 y 149 mm/mes, acumulando 1262 mm en un año (es decir: 4 veces la precipitación media anual).

Tabla 2-1 Precipitación media mensual

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
	(mm)												
Precip.	0.4	1.5	1.5	1.5	5.2	8.1	5.5	3.8	0.8	1.1	0.1	0.0	29.4
ETP	142	120	119	94	77	62	66	78	98	121	137	149	1262

Fuente: Codelco, sin fecha.

2.4 Cuenca hidrográfica (aguas superficiales)

El proyecto se ubica en la cabecera de la cuenca del río El Salado, al oeste de los salares altiplánicos de Pedernales y Maricunga. Es una cuenca exorreica de unos 7500 km² con una dirección de flujo hacia el oeste, desembocando en el océano Pacífico cerca de la ciudad de Chañaral (DGA, 2009). El río, de origen salobre, fue el cauce de los residuos líquidos industriales provenientes de Potrerillos y El Salvador durante el siglo XX.

No obstante, en el área de estudio, no existen cursos superficiales permanentes, sino escorrentías temporales (o efímeras) asociadas con las precipitaciones esporádicas y el deshielo de las nevadas infrecuentes.

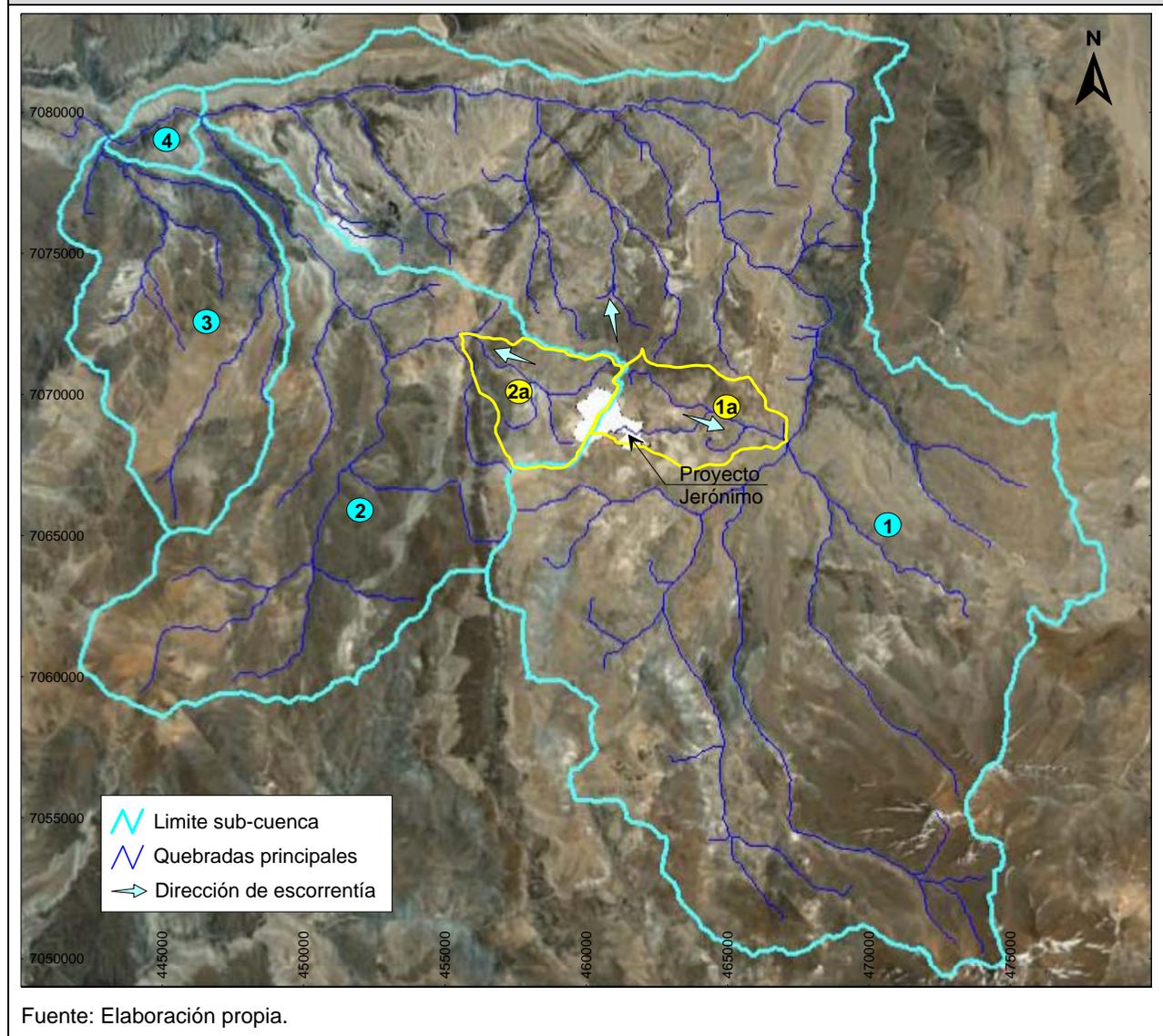
La Figura 2.1 presenta las sub-cuencas relevantes para el proyecto mientras que la Tabla 2.2 resume sus características geomorfológicas.

Tabla 2-2 Características geomorfológicas de las sub-cuencas

Sub-cuenca (no. identificación)	Área (km ²)	Altura máx. (msnm)	Altura min. (msnm)	Diferencia (m)	Largo cauce (km)	Pendiente (%)
Cabecera río Salado						
1	531.1	5250	2045	3205	52.80 ⁽¹⁾	6%
2	172.5	4550	2045	2505	27.54	9%
3	79.8	4350	1925	2425	19.43	12%
4	7.7	2045	1925	120	3.95	3%
Sub-cuenca mina						
1a (cuenca este)	17.70	3950	3195	755	7.01	11%
2a (cuenca oeste)	16.97	3950	3075	875	6.79	13%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-1 Delimitación de las sub-cuencas



2.5 Datos hidrogeológicos (aguas subterráneas)

Los datos hidrogeológicos fueron recogidos durante la visita a terreno e incluyen los niveles de agua subterránea medidos en sondajes existentes, un catastro de manantiales y las observaciones realizadas en el túnel de exploración. Se resumen los resultados en la Tabla 2.3 para aquellos sondajes con niveles de agua confiables. Los puntos de monitoreo se presentan en la Figura 2.2.

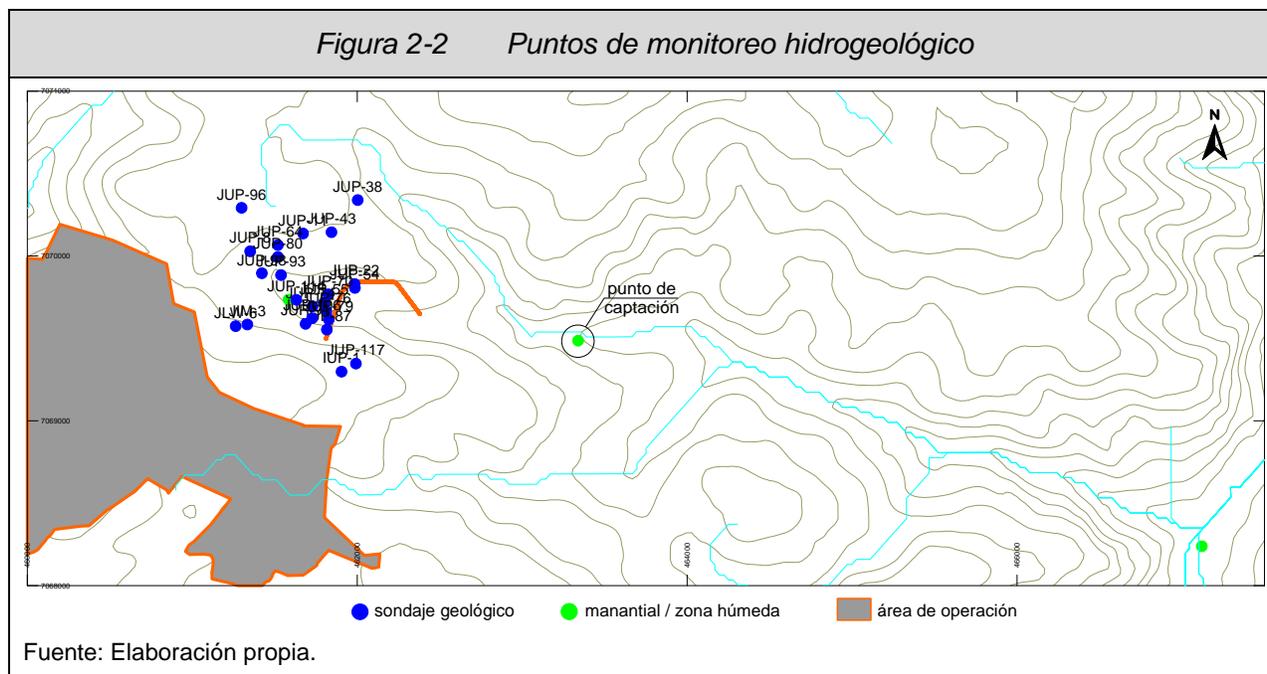
Tabla 2-3 Niveles de agua subterránea en sondajes de exploración

N° de Pozo	E		N		Cota (msnm)	Nivel de Agua Subterránea	
	(UTM)	(UTM)	(UTM)	(UTM)		(m)	(msnm)
IUP-0001	461905	7069298	3733	42.5	3690.5		
JIM-0003	461334	7069584	3748	36.5	3711.5		
JLW-0006	461263	7069574	3818	37.3	3780.7		
JUP-0008	461351	7070028	3744	62.1	3681.9		
JUP-0011	461672	7070136	3801	35.9	3765.1		
JUP-0022	461984	7069830	3739	61.7	3677.4		
JUP-0038	462003	7070339	3804	56.8	3747.2		
JUP-0043	461844	7070144	3789	55.0	3734.0		
JUP-0054	461986	7069806	3733	60.5	3672.5		
JUP-0055	461798	7069715	3732	112.3	3619.7		
JUP-0064	461519	7070066	3790	27.9	3762.1		
JUP-0070	461825	7069767	3740	48.4	3691.6		
JUP-0074	461729	7069694	3731	4.3	3726.7		
JUP-0076	461813	7069665	3726	100.2	3625.8		
JUP-0079	461827	7069615	3740	94.6	3645.4		
JUP-0080	461519	7069994	3778	25.5	3752.6		
JUP-0087	461816	7069553	3760	55.2	3704.8		
JUP-0091	461687	7069588	3770	31.7	3738.3		
JUP-0093	461538	7069884	3755	10.3	3744.8		
JUP-0096	461299	7070292	3755	24.4	3730.7		
JUP-0098	461422	7069895	3764	18.6	3745.4		
JUP-0106	461727	7069622	3749	24.0	3725.0		
JUP-0114	461631	7069734	3738	14.8	3723.2		
JUP-0117	461992	7069347	3846	176.0	3670.0		
Pozo 35 m de vertiente	461573	7069767	3751	4.8	3746.2		
Sin identificación	461959	7069573	3777	80.1	3696.9		

Fuente: Elaboración propia.

Se observa lo siguiente:

- Los niveles de agua se ubican cerca de la superficie en las quebradas (hasta 4.8 m) pero mucho más profundos por debajo las cumbres (hasta 176 m).
- De acuerdo a la cota topográfica, los niveles de agua subterránea se encuentran entre 3620 y 3780 msnm, siendo el promedio 3710 msnm en el área del proyecto.
- Se identificaron tres pequeños manantiales aguas abajo de la actual área de operación, a lo largo de la quebrada. Uno de ellos, aquel manantial ubicado unos 1000 m gradiente abajo del portal del túnel de exploración, se usa actualmente como punto de abastecimiento para la población local.



2.6 Observaciones en el túnel de exploración

Se pudo constatar la presencia de efluentes de agua (en mínimas cantidades) en las paredes internas del túnel de exploración del yacimiento.

Es en estos mismos términos que a partir del kilómetro 0.21 y hasta el kilómetro 0.62 se verificó la presencia de humedad, gotas y en algunos casos agua apozada en los costados del túnel. Dichos puntos concuerdan con las observaciones realizadas en sondajes JUP-22, 54, 79 y 87 que ubican el nivel piezométrico unos 45 m por sobre el túnel.

Tal como se aprecia en la Figura 2.3, las infiltraciones se ubican en los siguientes tramos:

- 0.34 km: una falla inversa (cabalgamiento) dentro de las riolitas / andesitas, cercano al contacto con las rocas calcáreas subyacentes;
- 0.41 km: Zona de plegamiento intensa en de las rocas calcáreas; y
- 0.62 km: Zona de fallas sub-verticales en rocas calcáreas.

Los trabajos de limpieza del túnel no permitieron una inspección más allá del kilómetro 0.63. Este último tramo incluye la Falla Mapuche-Polvorines la cual fue definido como posible portadora de aguas infiltradas en el estudio anterior de alcance (Yamana, 2008).

A pesar de mantener una pendiente negativa (es decir: el portal se ubica a una cota mayor (3675 msnm) que el frente de avance (3601 msnm)), el túnel no requiere ningún tipo de drenaje. Las filtraciones naturales, estimadas en menos de 0.01 L/s, son evacuadas a través de la ventilación y la evaporación.

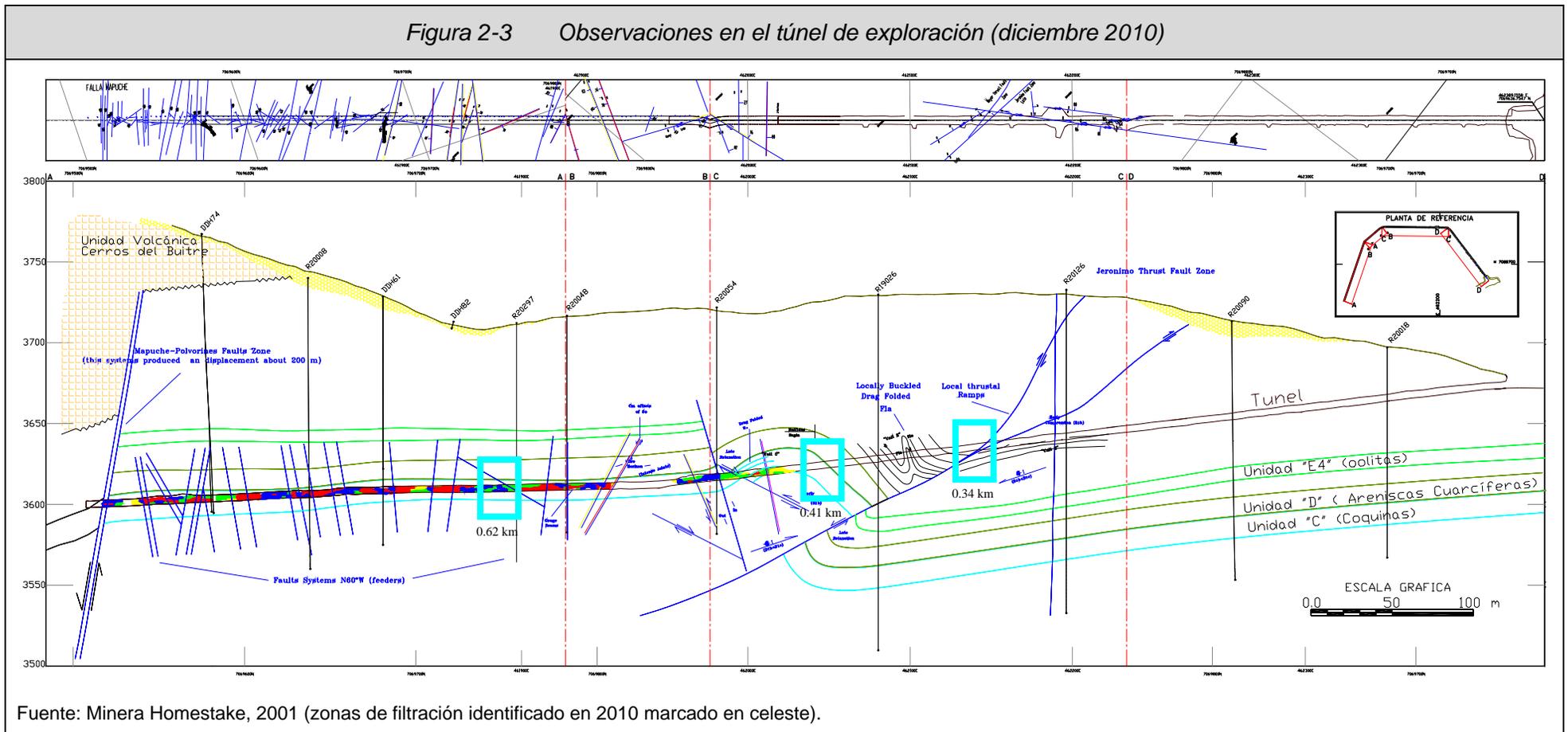
De todos modos, se recomienda una alternativa de drenaje, compuesto por una bomba movable tipo Flygt en caso de infiltraciones mayores.

2.7 Observaciones iniciales de calidad de aguas

Durante la visita a terreno, se midieron el pH, conductividad eléctrica (CE) y la temperatura de las muestras obtenidas en 4 sondajes de exploración y 2 manantiales.

Las aguas se definen como pH neutro (7-8) con una baja CE (0.6-1.5 mS/cm). Las temperaturas varían entre 12 y 22°C.

Figura 2-3 Observaciones en el túnel de exploración (diciembre 2010)



Fuente: Minera Homestake, 2001 (zonas de filtración identificado en 2010 marcado en celeste).

3 DIAGNÓSTICO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

3.1 Diagnóstico hidrológico

La evaluación hidrológica caracteriza el comportamiento de los flujos de aguas superficiales en la cuenca. Las principales variables que determinan los caudales de escorrentía son (1) el área aportante, (2) las características geomorfológicas y (3) las condiciones climáticas que rigen en el sector.

El análisis presentado a continuación consiste, en primera instancia, en un balance de agua para la cabecera del río Salado, cuantificando los recursos hídricos disponibles en la cercanía del proyecto. Este balance presenta el contexto global del estudio. En segunda instancia, fueron calculados los caudales máximos instantáneos para definir las dimensiones de posibles obras de desvío y captación de aguas de escorrentía.

En ambos casos, se usaron estadísticas meteorológicas reconstituidas a través de metodologías sugeridos por la DGA. En tanto, los coeficientes de escorrentía y los caudales de crecidas se definió de acuerdo al criterio propuesto en el Manual de Carreteras (MOP; 2008) y el Manual de Cálculo para cuencas sin información pluviométrica (MOP, 1995).

3.1.1 Balance general de aguas naturales

Tal como fue presentado en la Tabla 2.1, la precipitación media anual en el área del proyecto es de 29.4 mm/año.

Basado en la línea de nieves, que se ubica a una cota de aproximadamente 2800 msnm en la cuenca del río Salado (extrapolado de Peña, 1991), se asume que las precipitaciones entre mayo y agosto son de forma nival¹. Durante este periodo, se acumula en promedio 23 mm de agua (equivalente a unos 23 cm de nieve).

Sin embargo, por el efecto de la sublimación y la evaporación, casi todas las aguas se pierden sin escurrir ni infiltrar. Por lo tanto, para propósitos generales, se propone lo siguiente:

¹ La extrapolación de la línea de nieves coincide con las observaciones históricas de nieve en Potrerillos (cota 2875 msnm).

- Precipitación media anual (PMA): 29.4 mm/año
- Pérdidas de evaporación y sublimación: mínimo 80% PMA (23.5 mm/año)
- Escorrentía: 5 a 15% (1 a 4 mm/año)
- Infiltración (recarga): 5 a 15% (1 a 4 mm/año)

Este balance explica porque las quebradas en la cercanía de la mina, con áreas aportantes de 17 km², no generan una escorrentía visible (0.0005 a 0.002 m³/s). Caudales significativos se asocian solamente con tormentas y eventos extremos de precipitación.

3.1.2 Eventos extremos de precipitación e intensidades

La Tabla 3.1 presenta las precipitaciones máximas en 24 horas de acuerdo a los distintos periodos de retorno. Las precipitaciones extremas varían entre 11 y 40 mm/24 horas para periodos de retorno de 2 y 200 años, respectivamente.

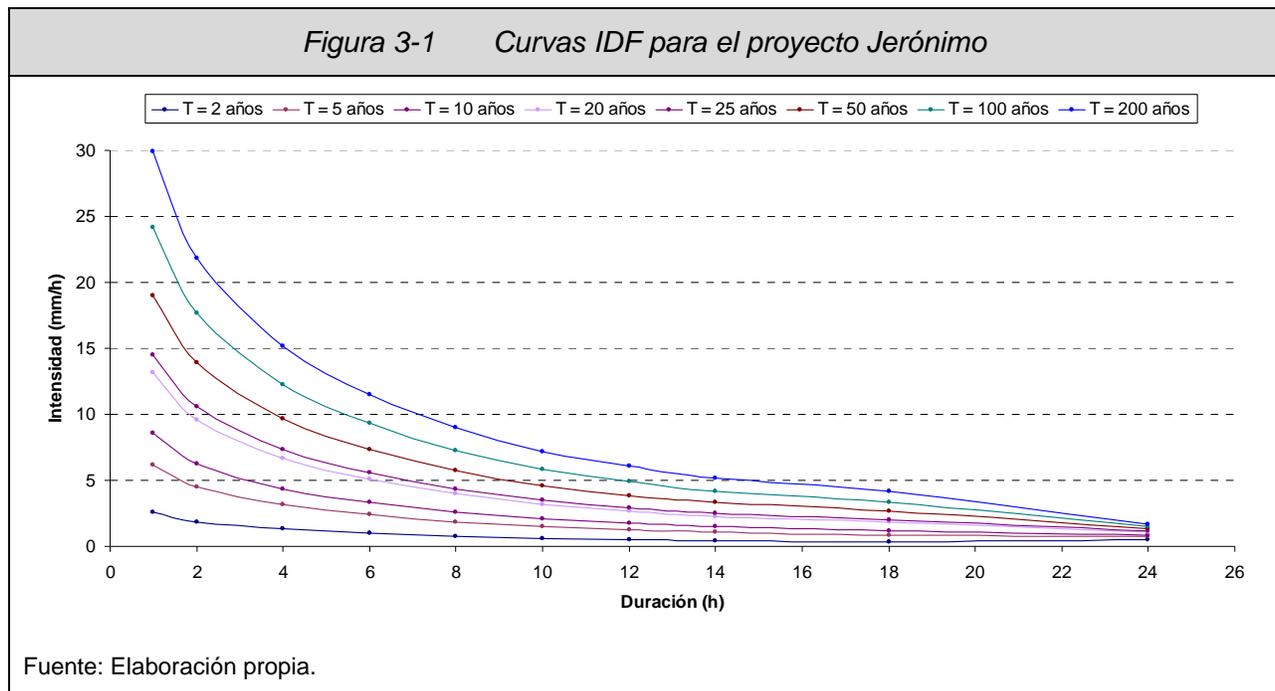
Estos valores fueron reconstituidos conociendo únicamente la precipitación máxima con duración 24 horas y frecuencia de 10 años (20 mm), aplicando la metodología descrita en el Manual de Carreteras (MOP, 2008). Los cálculos detallados se presentan en el Anexo A.

Tabla 3-1 Precipitaciones máximas en 24 horas

Periodo de retorno (años)	Precipitación máxima (mm/24 horas)
2	11.4
5	17.8
10	20.0
20	26.0
25	27.3
50	31.2
100	35.2
200	39.2

Fuente: Elaboración propia en base a la metodología propuesta por la DGA.

Conocidas las precipitaciones de distinta duración y para diferentes periodos de retorno, es factible determinar la intensidad de la precipitación asociada a cada una de estas duraciones. Los resultados se presentan en curvas IDF (intensidad – duración – frecuencia), tal como se indica en la Figura 3.1.



Son estas curvas que permiten determinar las precipitaciones asociadas con los tiempos de concentración en cada cuenca.

3.1.3 Caudales máximos instantáneos

Los caudales de diseño fueron calculados mediante el método Racional, la cual es ampliamente utilizada por su simplicidad y evidente lógica. La fórmula establece que el caudal máximo instantáneo es proporcional a la intensidad de diseño (obtenida para el tiempo de concentración) y al tamaño de la cuenca aportante (ver Ecuación 1):

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6} \tag{Ecuación 1}$$

Donde Q = caudal (m^3/s);
 C = coeficiente de escorrentía;
 i = intensidad de la lluvia de diseño (mm/hr);
 A = área aportante (km^2).

Los caudales máximos instantáneos se resumen en la Tabla 3.2. Para las sub-cuencas en la cercanía del proyecto (1a y 2a), se calculan caudales máximos instantáneos de 3 a 12 m^3/s asociados con periodos de retorno de 2 y 200 años, respectivamente.

Tabla 3-2 Caudales de diseño (o máximos instantáneos)

Sub-cuenca	1	2	3	4	1a (este)	2a (oeste)	
Área (km^2)	531.1	172.5	79.8	7.7	17.70	16.97	
t_c (horas)	2.69	2.15	1.45	0.74	0.64	0.70	
C (sin unidades)	0.59	0.59	0.61	0.52	0.60	0.61	
Periodo retorno (años)	P_{max} (mm/24horas)	Q_{max} (m^3/s)					
2	11.4	122	45	25	1	2.9	3.0
5	17.8	298	122	68	2	4.1	4.4
10	20.0	502	183	102	2	5.2	5.5
20	26.0	796	294	167	3	6.5	6.8
25	27.3	895	330	188	3	6.9	7.2
50	31.2	1281	473	270	3	8.4	8.8
100	35.2	1693	625	356	4	9.7	10.2
200	39.2	2243	828	472	4	11.4	12.0

Fuente: Elaboración propia.

1. El coeficiente C se define para un periodo de retornos de 10 años. Para periodos de retorno mayores, se aplican el siguiente factor de corrección: T=25 años, Cx1.1; T=50 años, Cx1.2; T=100 años, Cx1.25.

Los caudales máximos instantáneos presentados en la tabla precedente son los determinados a partir de crecidas de precipitaciones pluviales y, por lo tanto, representan la condición más desfavorable de porteo.

3.1.4 Manejo y mitigación: aguas de escorrentía

Los caudales anteriormente mencionados forman la base para dimensionar las obras de captación, desvío y conducción de aguas de escorrentía. No obstante, dado que el proyecto se sitúa por sobre el divisorio de aguas (es decir: el límite entre la sub-cuenca 1 y 2), el área aportante real será aún menor, no superando los 6 km².

Se recomienda lo siguiente:

- Mantener todos los accesos a las obras subterráneas por sobre el fondo de las quebradas, para evitar la posible infiltración de aguas de escorrentía durante los tiempos de crecidas.
- Las obras de captación y desvío alrededor de las infraestructuras superficiales serán habilitados para controlar hasta 10 m³/s, lo cual supera ampliamente las necesidades². De acuerdo a la ecuación de Manning, se requiere zanjas con dimensiones de 1.5 m².
- Las aguas lluvias, que no entrarán en contacto con las operaciones, serán descargadas a su cauce natural.

Los cálculos se encuentran detallados en el Anexo A.

² Los 10 m³/s se asocian con caudal instantáneo con periodo de retorno de 100 años en una cuenca aportante de unos 17 km² (ver Tabla 3.2). El área del proyecto cubre un área mucho menor, del orden de 6 km².

3.2 *Diagnóstico hidrogeológico*

La evaluación hidrogeológica describe el comportamiento de los flujos de aguas subterráneas en la cabecera del río Salado. Las principales variables que determinan los caudales de agua subterránea son (1) el área de la cuenca y sus tasas de recarga, (2) las propiedades hidráulicas de las unidades geológicas, y (3) las gradientes hidráulicas.

El rango de flujos obtenidos debe ser compatible con el balance de agua calculado para la misma cuenca hidrográfica.

3.2.1 *Dirección de flujos y gradientes hidráulicas*

La Figura 3.2 presenta un mapa piezométrico construido en base a las primeras mediciones tomadas en los sondajes geológicos. A medida que se continúa el monitoreo, se anticipa un ajuste en la interpretación piezométrica. Mientras tanto, se observa lo siguiente:

- El área de operaciones se ubica en una divisoria local de aguas. En dirección este y oeste, los niveles disminuyen desde una cota central de 3750 msnm a menos de 3200 msnm en ambos lados. Es equivalente a un gradiente hidráulico de unos 10% lo cual refleja la baja permeabilidad de la roca.
- La dirección de flujo coincide, en términos generales, con la red de drenaje conformada por las quebradas. Los vectores de flujo convergen hacia el centro de las cuencas, indicando que las quebradas actúan como drenes para evacuar las aguas subterráneas.
- Sin embargo, a profundidad, es probable que el cuadro estructural controle las vías de migración principales. Esto generará una infiltración puntual y concentrada a medida que avanzan las labores subterráneas y atraviesan las principales estructuras.

La Figura 3.3 presenta los perfiles A (oeste), B (centro) y C (este) a través del centro del yacimiento. Se observa una zona no saturada de más de 100 m debajo las cumbres.

Figura 3-2 Mapa piezométrico: proyecto Jerónimo

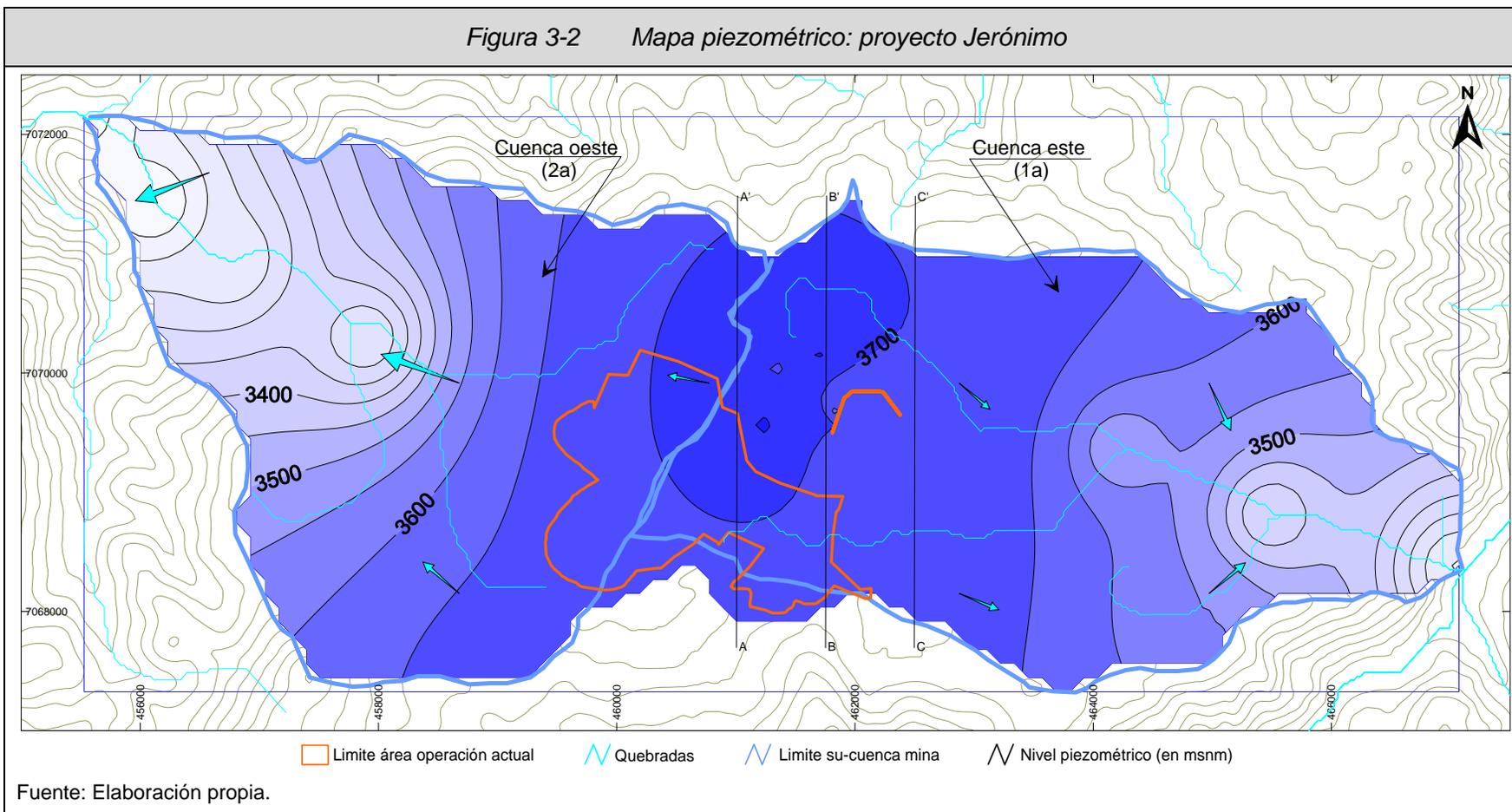
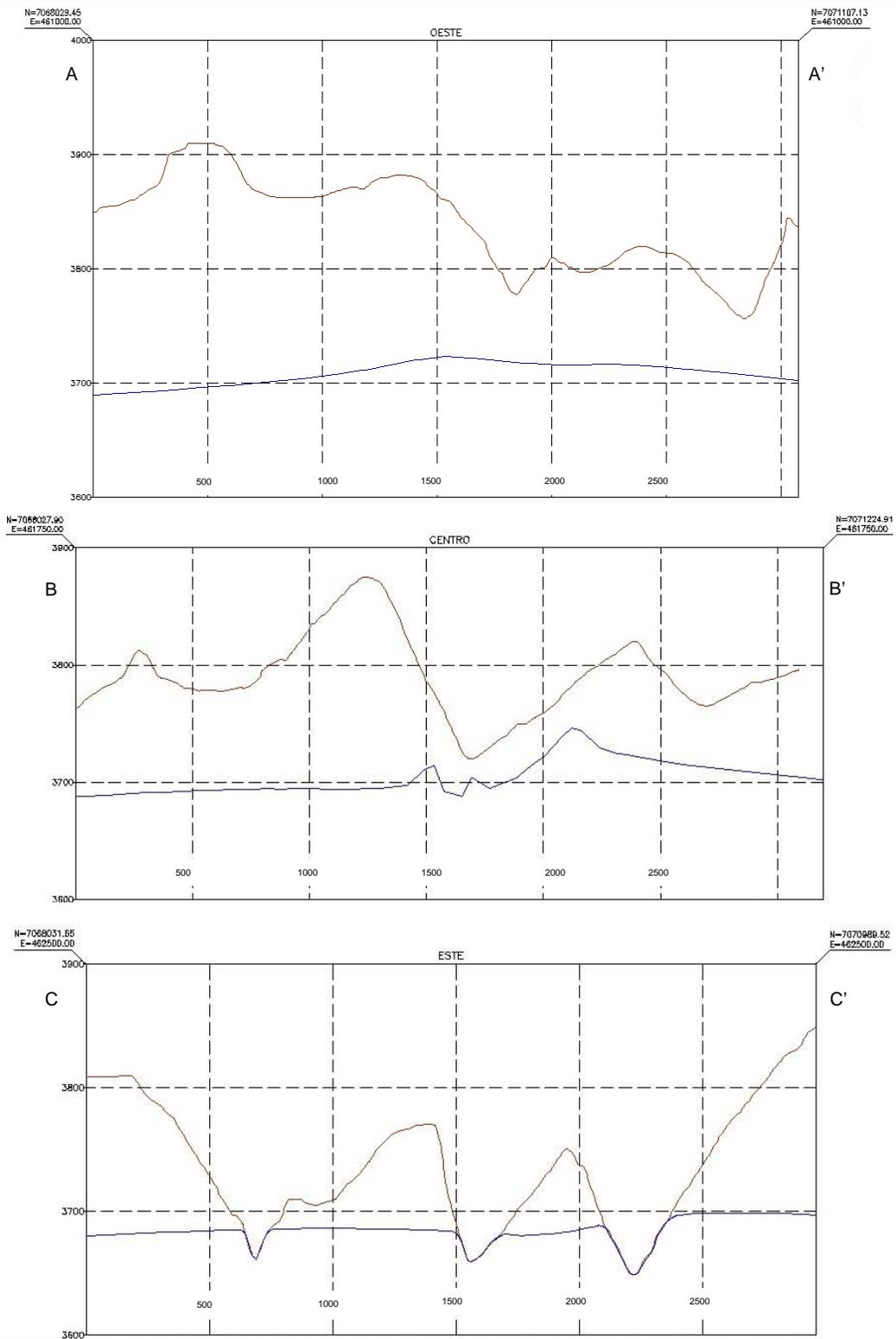


Figura 3-3 Perfiles piezométricos N-S



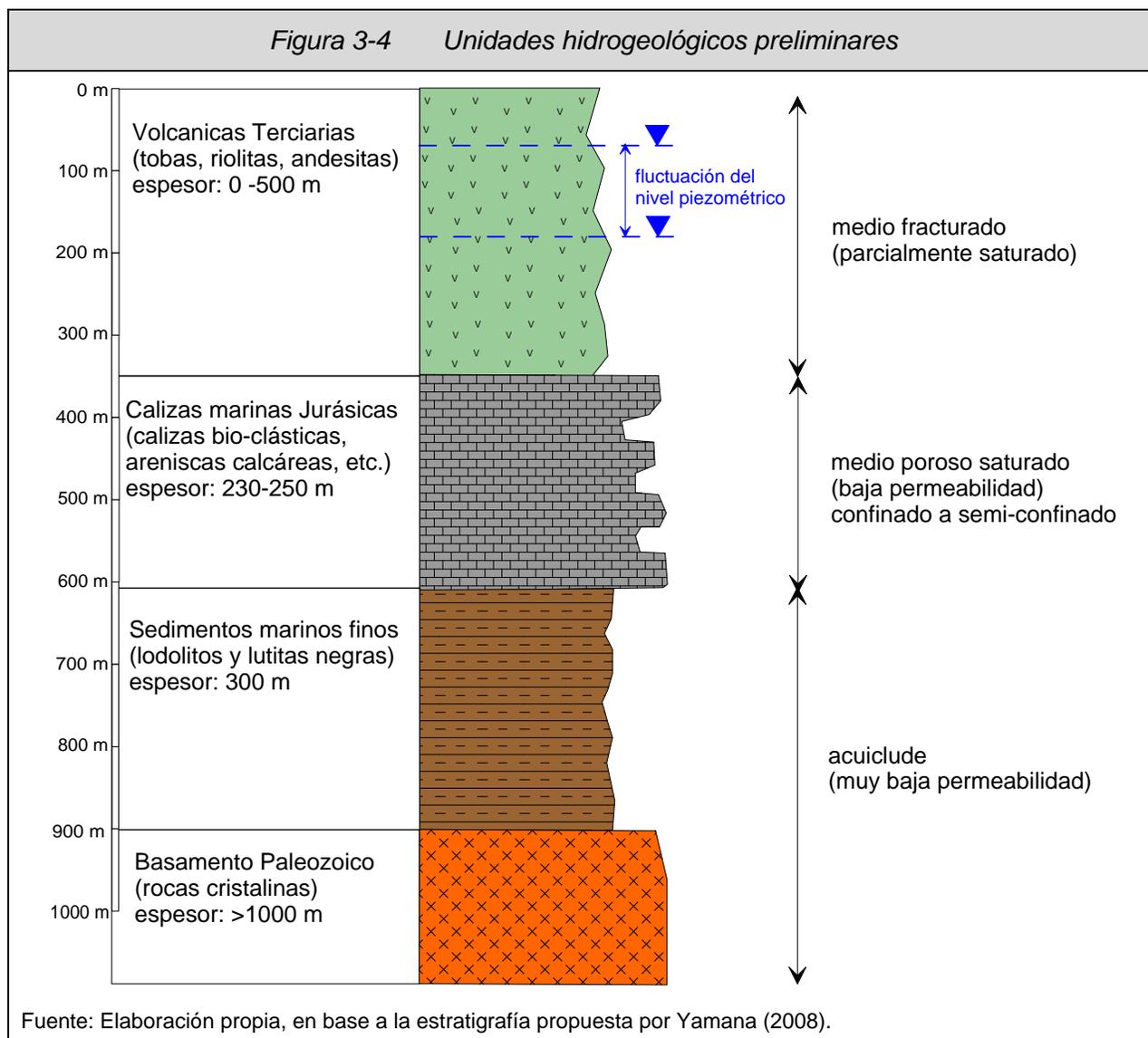
Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Unidades hidrogeológicas

En base a observaciones preliminares, se definen las siguientes unidades hidrogeológicas con relevancia para el proyecto minero (ver Figura 3.4):

1. Las unidades volcánicas compuestas por riolitas y andesitas de baja permeabilidad que controlan la infiltración (recarga) de aguas superficiales: Se anticipan valores de conductividad hidráulica de 10^{-6} a 10^{-8} m/s, principalmente asociados con zonas de fracturamiento. Asumiendo un máximo espesor saturado de 200 m, se calculan valores de transmisividad menores a $20 \text{ m}^2/\text{día}$.
2. Las calizas mineralizadas de baja permeabilidad (debido a la silicificación e argilización): Se suponen valores de 10^{-6} a 10^{-8} m/s lo cual equivale a valores de transmisividad menores de $25 \text{ m}^2/\text{día}$ (asumiendo un espesor saturado de 250 m). Dichas unidades probablemente se comportan como unidades semi-confinadas.
3. Las unidades de fondo (lodositas, lutitas y basamento rocoso) de muy baja permeabilidad, clasificadas como acuicludes.

La zona mineralizada se encuentra emplazada en las calizas bio-clásticas. Asumiendo una profundidad de 600 m debajo la superficie, o 500 m debajo el nivel piezométrico, se calculan presiones de hasta 50 bar (50 kg/cm^2 o 5 MPa) en las paredes de los túneles en caso que la roca no sea drenada.



3.2.3 Estimación de flujos de aguas subterráneas

El flujo de agua subterránea se calcula en base a la tasa de recarga y las propiedades hidrogeológicas asumidas para las distintas unidades hidrogeológicas. Las Tablas 3.3 y 3.4 presentan los respectivos resultados.

Tabla 3-3 Rango de caudales de agua subterránea: balance de aguas

Cuenca	PMA (mm/año)	Área (km ²)	Tasa recarga (%)	Q (L/s)
Este (1a)	29	17.70	5 – 15% PMA	0.8 – 2.5
Oeste (2a)	29	16.97	5 – 15% PMA	0.8 – 2.4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-4 Rango de caudales de agua subterránea: Ley de Darcy

Cuenca	Unidad	b (m)	L (m)	i (%)	Rango K (m/s)	Q (L/s)
Este (1a)	volcánicos	200	3000	9%	$10^{-7} - 10^{-8}$	0.6 – 5.5
	calizas	250	3000	9%	$10^{-7} - 10^{-8}$	0.7 – 6.9
Total este		450				1.3 – 12.4
Oeste (2a)	volcánicos	200	3000	10%	$10^{-7} - 10^{-8}$	0.6 – 6.3
	calizas	250	3000	10%	$10^{-7} - 10^{-8}$	0.8 – 7.9
Total oeste		450				1.4 – 14.2

Fuente: Elaboración propia.

1. b: espesor saturado, L: ancho de la cuenca, i: gradiente hidráulica, K: valor de conductividad hidráulica.
2. Para calcular el flujo a través de toda la unidad, se redujo el valor de la conductividad hidráulica. En realidad, el flujo se concentrará en aquellos sectores más permeables tales como zonas de fracturamiento y disolución.

Basado en las propiedades hidráulicas, la Ley de Darcy indica flujos de agua subterránea entre 1 y 14 L/s en cada cuenca. A pesar que las características de la roca permiten este rango de flujos, el límite real está impuesto por la reducida recarga anual. Por lo tanto, a largo plazo, se anticipan caudales de agua subterránea menores a 3 L/s.

Al realizar obras mineras subterráneas, se drenará el agua almacenada y se captará parte de la recarga anual. En base al rango de valores presentados en las tablas anteriores, se anticipan valores de 7 L/s en zonas puntuales, disminuyendo a 2 L/s una vez drenado la roca³.

³ Estos valores coinciden, en términos generales, con el rango de 5 a 10 L/s estimado en el estudio de alcance (Yamana, 2008).

3.2.4 Manejo y mitigación: aguas subterráneas

Las aguas interceptadas por concepto de drenaje pueden ser utilizadas en la mina. Dado su limitada volumen a largo plazo (2 L/s o 173 m³/día), será más factible usarlas en procesos no-metalúrgicos tales como la regadía de caminos y el abastecimiento de aguas para la perforación. Además, la ventilación brinda un efecto complementario de drenaje a través de la evacuación de aire húmedo desde el interior de la mina, reduciendo aún más el agua manejado directamente en las operaciones.

De todos modos, considerando el aumento en presión hidráulica actuando en las paredes a medida que la mina se va profundizando, se recomienda el siguiente plan de drenaje:

- Perforación de sondajes o tiros de avance, para identificar las zonas de contacto y alto fracturamiento detrás el frente de avance. Estas zonas concentran la mayor cantidad de aguas y pueden exhibir presiones entre 10 y 50 bar.
- La colección de aguas en zanjas laterales y su conducción por gravedad hacia puntos de colección (por ejemplo: piscinas construidas en estocadas). Asumiendo caudales de 2 a 7 L/s, las dimensiones de las piscinas serán del orden de 20 a 100 m³. Desde este punto, se bombea hacia la superficie, agregando sub-estaciones adicionales a medida que se profundiza la mina.
- Para frentes de trabajo con pendiente negativa, se recomienda el uso de bombas movibles, tipo Flygt, serie 2600. Esta recomendación también aplica para las obras de limpieza en el actual túnel de exploración.

El drenaje de la mina generará una zona de depresión de niveles de agua, lo cual se estima será limitado a un radio de unos 300 m alrededor de las galerías subterráneas⁴. Sin embargo, la captación de las aguas reducirá el flujo base que actualmente descarga hacia los dos manantiales en el sector.

⁴ La estimación se base en la fórmula empírica donde el radio de influencia es el producto de un constante (1500) por la depresión generado (600 m) y la raíz cuadrada de la permeabilidad (1×10^{-7} m/s).

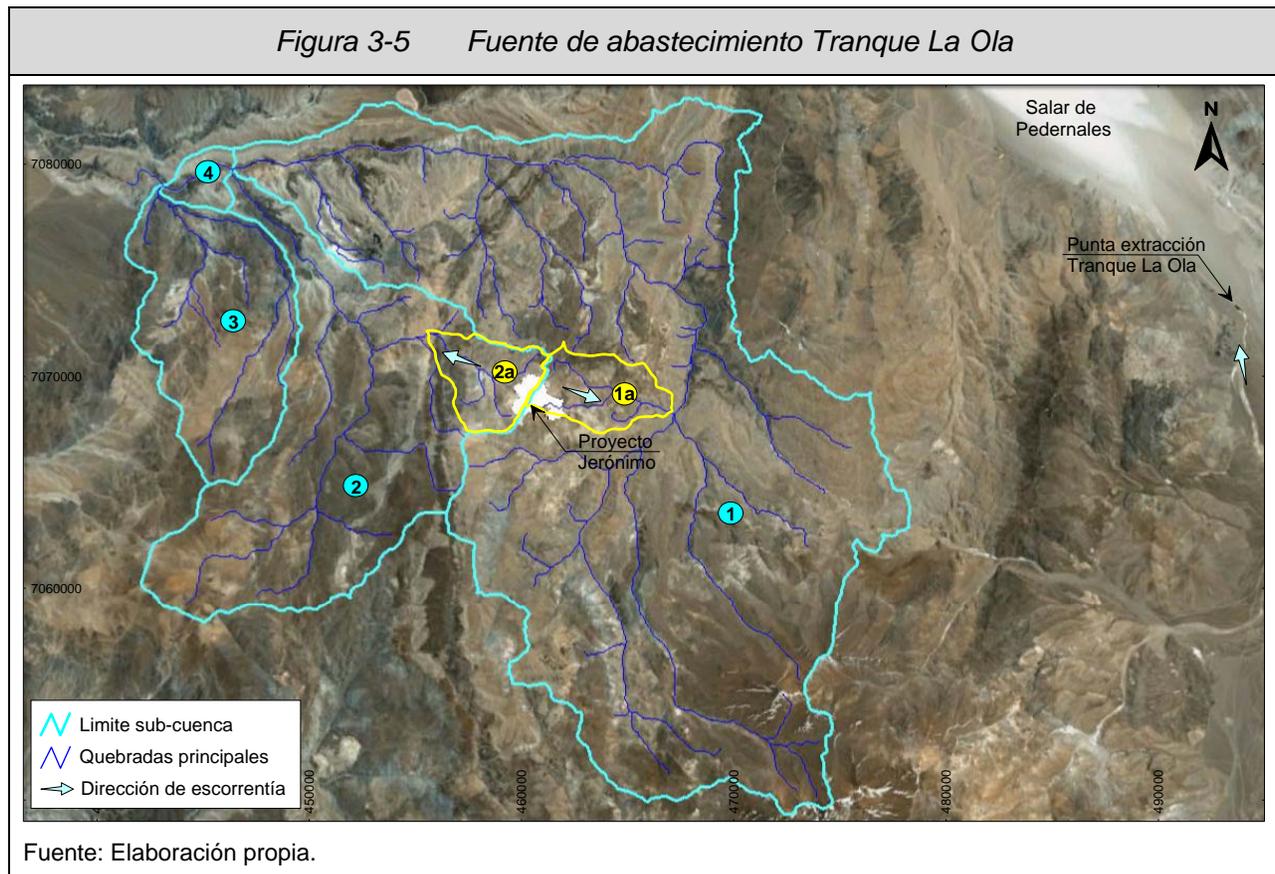
3.3 Fuente de abastecimiento

Las aguas para el proceso minero-metalúrgico serán extraídas desde el Tranque La Ola, ubicado en la cuenca hidrográfica del Salar de Pedernales a unos 35 km al este del proyecto (ver Figura 3.5). El tranque capta aguas industriales para las operaciones de Codelco y se permitirá la extracción de 2400 m³/día (28 L/s) para el proyecto Jerónimo.

El Salar de Pedernales es un acuífero reconocido y forma parte de las cuencas endorreicas del altiplano andino que, anualmente, reciben aportes de precipitaciones pluviales y nivales. Según el balance hídrico (DGA, 1987), el río La Ola (en el vertedero) registra un caudal medio anual de 0.893 m³/s y un rendimiento específico de 0.47 L/s/km². Su cuenca hidrográfica cubre un área de 1906 km².

En base a estos antecedentes generales, y sin emitir un juicio en términos legales, la extracción equivale al 3% del caudal medio anual lo cual se considera sostenible a largo plazo.

Figura 3-5 Fuente de abastecimiento Tranque La Ola



4 CONCLUSIONES

En base a los datos meteorológicos regionales y mediciones hidrogeológicas en el área del proyecto, se concluye lo siguiente:

- El yacimiento Jerónimo se ubica en la Cordillera de los Andes (III Región) a gran altura geográfica (3800 msnm) en la cabecera del río Salado. El clima es árido, con precipitaciones anuales que varían entre extremos con nula precipitación y otros de hasta 159 mm/año, siendo 29 mm/año el promedio. Las precipitaciones se registran durante el periodo de invierno y se asocian con sistemas de origen frontal que traen moderadas nevadas a la zona.
- El área de operación se sitúa en un divisorio local de aguas con profundas quebradas que drenan hacia el este y oeste. Debido a esta singularidad, el área aportante es mínimo (6 km²) lo cual mantiene reducido los flujos de agua superficial y subterránea en el área del proyecto. De hecho, las quebradas se mantienen secas durante la mayoría del año.
- Por lo tanto, aún considerando eventos extremos con periodos de retorno de 100 años que generarán 35 mm de precipitación en 24 horas, las canales de desvío serán del orden de 1.5 m². Asimismo, los requerimientos de drenaje para las obras subterráneas consideran máximos de 7 L/s, disminuyendo a 2 L/s a largo plazo.
- En tanto, la fuente de abastecimiento de aguas para el proceso se ubica en el Salar de Pedernales, una hoya hidrográfica de mayor aporte de aguas, donde se extraerá 2400 m³/día.

ARTOIS CONSULTING LIMITADA



Jan J. Van Hooydonck
Consultor Hidrogeólogo (M.Sc., C.Geol., F.G.S.)

5 REFERENCIAS

- Codelco, División Salvador: *“Proyecto San Antonio, Permiso ambiental sectorial, Antecedentes en anexo 4.2”*, sin fecha.
- Dirección General de Aguas: *“Balance hídrico de Chile”*, 1987.
- Dirección General de Aguas: *“Evaluación de los recursos hídricos subterráneos en cuencas de la región de Atacama, ubicadas entre el río Copiapo y la región de Antofagasta”*, informe técnico, agosto 2009.
- Golder Associates: *“Declaración de impacto ambiental, Proyecto de prospección, Atacama, III Región, Agua de la Falda SA”*, noviembre 2007.
- Minera Homestake, Mina Manto Agua de la Falda: *“Secciones compuestas túnel Jerónimo”*, enero 2001, presentación PPT.
- Ministerio de Obras Públicas, DGA: *“Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica”*, agosto 1995.
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad: *“Manual de carreteras”*, marzo 2008.
- Peña H., Vidal H.: *“Estimación estadística de la línea de nieves durante los eventos de precipitación entre las latitudes 28 y 38 grados sur”*, XI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, Valparaíso, Chile, 1991.
- Yamana Gold, Servicios Técnicos Chile: *“Scoping study Jerónimo Project, Copiapo – Tercera región Chile”*, diciembre 2008.

ANEXO A

ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Sub-cuenca Nº identificación	Área			Altura max	Altura min	Diferencia	Largo	pendiente
	ha	km ²	m ²	(msnm)	(msnm)	(m)	(m)	(%)
1	53.110	531,1	531.099.245	5250	2.045	3.205	36.360	9%
2	17.253	172,5	172.528.577	4550	2.045	2.605	27.540	9%
3	7.984	79,8	79.843.558	4350	1.925	2.425	19.430	12%
4	770	7,7	7.703.913	2045	1.925	120	3.950	3%

Coefficiente de escorrentía
Manual de Carreteras Volumen 3 (2002)

TABLA 3.702.503.B
COEFICIENTES DE ESCORRENTIA (C) PARA T = 10 AÑOS

Factor	Extremo	Alto	Normal	Bajo
Relieve	0,25-0,35 Escarpado con pendientes mayores que 30%	0,20-0,28 Montañoso con pendientes entre 10 y 30%	0,14-0,20 Con cerros y pendientes entre 5 y 10%	0,08-0,14 Relativamente plano con pendientes menores al 5%
Infiltración	0,12-0,16 Suelo rocoso, o arcilloso con capacidad de infiltración despreciable	0,08-0,12 Suelos arcillosos o limosos con baja capacidad de infiltración, mal drenados	0,06-0,08 Normales, bien drenados, textura mediana, limos arenosos, suelos arenosos	0,04-0,06 Suelos profundos de arena u otros suelos bien drenados con alta capacidad de infiltración
Cobertura vegetal	0,12-0,16 Cobertura escasa, terreno sin vegetación o escasa cobertura	0,08-0,12 Poca vegetación, terrenos cultivados o naturales, menos del 20% del área con buena cobertura vegetal	0,06-0,08 Regular a buena, 50% del área con praderas o bosques, no más del 50% cultivado	0,04-0,06 Buena a excelente; 90% del área con praderas, bosques o cobertura equivalente
Almacenamiento Superficial	0,10-0,12 Despreciable, pocas depresiones superficiales, sin zonas húmedas	0,08-0,10 Baja, sistema de cauces superficiales pequeños bien definidos, sin zonas húmedas	0,06-0,08 Normal, posibilidad de almacenamiento buena, zonas húmedas, pantanos, lagunas y iagos	0,04-0,06 Capacidad alta, sistema hidrográfico poco definido, buenas planicies de inundación o gran cantidad de zonas húmedas, lagunas o pantanos.

Si T > 10 años Amplificar Resultado por:
T = 25 , C x 1,10 T = 50 , C x 1,20 T = 100 , C x 1,25

Coefficiente de escorrentía

Hoya hidrográfica Río Salado.

Sub-cuenca Nº identificación	Factor				Coefficiente de escorrentía (1)
	Relieve	Infiltración	Cobertura vegetal	Almacenamiento superficial	
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	
1	0.19	0.12	0.16	0.12	0.59
2	0.19	0.12	0.16	0.12	0.59
3	0.21	0.12	0.16	0.12	0.61
4	0.12	0.12	0.16	0.12	0.52

Nota: (1) Los valores deben ser amplificados según se indica en la Tabla de coeficientes de escorrentía del Manual de Carreteras indicada en forma precedente.

Coefficiente de duración T = 10 años

Estación pluviométrica de Toconce

Estación Pluviométrica	Duración (horas)									
	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Toconce	0.39	0.57	0.79	0.90	0.94	0.94	0.95	0.95	0.97	1.00

Coefficiente de frecuencia

Estación pluviométrica de Toconce

Estación Pluviométrica	Periodo de retorno (años)							
	2	5	10	20	25	50	100	200
Toconce	0.52	0.81	1.00	1.18	1.24	1.42	1.60	1.78

Tabla Precipitaciones

Hoya hidrográfica Río Salado - Yacimiento Jeronimo

Estación Pluviométrica	Periodo de Retorno (años)	Duración (horas)									
		1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Hoya hidrográfica Río Salado	2	2.55	3.73	5.17	5.89	6.15	6.15	6.22	6.22	6.35	11.44
	5	6.19	9.05	12.54	14.29	14.92	14.92	15.08	15.08	15.40	17.82
	10	8.58	12.54	17.38	19.80	20.68	20.68	20.90	20.90	21.34	20.00
	20	13.14	19.21	26.62	30.33	31.67	31.67	32.01	32.01	32.69	25.96
	25	14.51	21.21	29.40	33.49	34.98	34.98	35.35	35.35	36.09	27.28
	50	19.03	27.81	38.55	43.92	45.87	45.87	46.36	46.36	47.33	31.24
	100	24.16	35.31	48.94	55.76	58.23	58.23	58.85	58.85	60.09	35.20
	200	29.90	43.70	60.57	69.01	72.07	72.07	72.84	72.84	74.38	39.16

Tabla Intensidad - Duración - Frecuencia

Hoya hidrográfica Río Salado - Yacimiento Jeronimo

Estación Pluviométrica	Periodo de Retorno (años)	Duración (horas)									
		1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Hoya hidrográfica Río Salado	2	2.55	1.86	1.29	0.98	0.77	0.62	0.52	0.44	0.35	0.48
	5	6.19	4.53	3.14	2.38	1.87	1.49	1.26	1.08	0.86	0.74
	10	8.58	6.27	4.35	3.30	2.59	2.07	1.74	1.49	1.19	0.83
	20	13.14	9.60	6.65	5.05	3.96	3.17	2.67	2.29	1.82	1.08
	25	14.51	10.60	7.35	5.58	4.37	3.50	2.95	2.52	2.01	1.14
	50	19.03	13.91	9.64	7.32	5.73	4.59	3.86	3.31	2.63	1.30
	100	24.16	17.66	12.24	9.29	7.28	5.82	4.90	4.20	3.34	1.47
	200	29.90	21.85	15.14	11.50	9.01	7.21	6.07	5.20	4.13	1.63

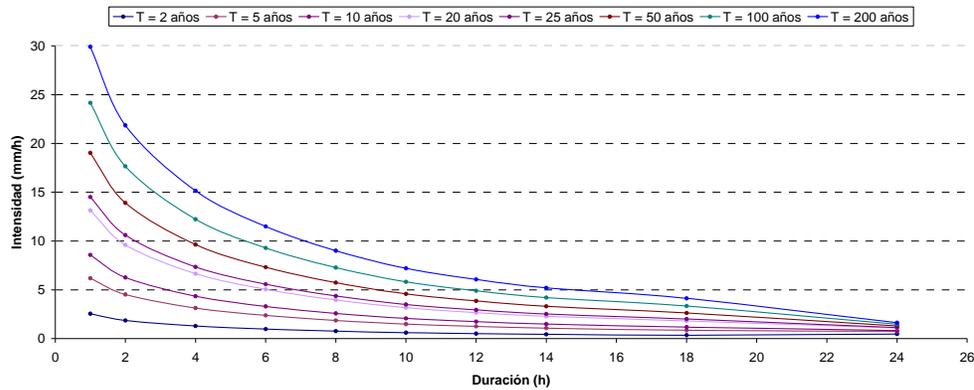


Tabla de parametrización de curvas IDF
Hoya hidrográfica Río Salado

T (años)	Ecuación Curvas IDF	Correlación (R ²)
2	$i = 0,00006 t^2 - 0,0034 t^2 + 0,0701 t^2 - 0,6683t + 3,0669$	0,9935
5	$i = 0,0001 t^2 - 0,0077 t^2 + 0,1646 t^2 - 1,5992 t + 7,4193$	0,9934
10	$i = 0,0002 t^2 - 0,0104 t^2 + 0,2255 t^2 - 2,2053 t + 10,27$	0,9934
20	$i = -0,00004 t^2 + 0,0026 t^2 - 0,0645 t^2 + 0,7759 t^2 - 4,8767 t + 17,105$	0,9934
25	$i = -0,00004 t^2 + 0,0029 t^2 - 0,0714 t^2 + 0,8574 t^2 - 5,3869 t + 18,89$	0,9978
50	$i = -0,00006 t^2 + 0,0038 t^2 - 0,0939 t^2 + 1,1264 t^2 - 7,0697 t + 24,777$	0,9978
100	$i = -0,00007 t^2 + 0,0048 t^2 - 0,1195 t^2 + 1,4321 t^2 - 8,981 t + 31,46$	0,9978
200	$i = -0,00009 t^2 + 0,006 t^2 - 0,1482 t^2 + 1,7743 t^2 - 11,121 t + 38,941$	0,9979

$$i_t^T = \frac{P_t^T}{t_c} [mm / hr]$$

$$P_t^T = (0,54 \cdot t^{0,25} - 0,50) \cdot (0,21 \cdot \ln(T) + 0,52) \cdot P_1^{10} [mm]$$

$$i_t^T = \frac{P_1^{10}}{24} \cdot \sqrt{\frac{24}{t_c}} [mm / hora]$$

Tabla de intensidad de precipitación
Hoya hidrográfica Río Salado

Sub-cuenca	t _c (hr)	T (años)	P (mm)	i (mm/hr)
1	2,69	2	4,61	1,71
		5	11,21	4,16
		10	15,55	5,77
		20	22,82	8,47
		25	25,20	9,35
		50	33,04	12,26
		100	41,94	15,56
		200	51,90	19,26
2	2,15	2	4,13	1,92
		5	10,03	4,67
		10	13,91	6,47
		20	20,68	9,62
		25	22,83	10,62
		50	29,94	13,93
		100	38,01	17,68
		200	47,05	21,89
3	1,45	2	3,25	2,23
		5	7,88	5,42
		10	10,92	7,51
		20	16,68	11,47
		25	18,42	12,66
		50	24,15	16,60
		100	30,66	21,08
		200	37,95	26,09
4	0,74	2	5,09	1,21
		5	6,56	1,56
		10	7,68	1,83
		20	8,79	2,09
		25	9,15	2,18
		50	10,26	2,44
		100	11,38	2,71
		200	12,49	2,97

Tabla de caudales máximos instantáneos
Sub-cuencas de la hoya Río Salado

Sub-cuenca	T (años)	C (T)	i _c ^T (mm/hr)	A (km ²)	Q (T) (m ³ /s)
1	2	0,49	1,71	531,1	122
	5	0,55	4,16		298
	10	0,59	5,77		502
	20	0,64	8,47		796
	25	0,65	9,35		895
	50	0,71	12,26		1,281
	100	0,74	15,56		1,693
	200	0,79	19,26		2,243
2	2	0,49	1,92	172,5	45
	5	0,55	4,67		122
	10	0,59	6,47		183
	20	0,64	9,62		294
	25	0,65	10,62		330
	50	0,71	13,93		473
	100	0,74	17,68		625
	200	0,79	21,89		828
3	2	0,50	2,23	79,8	25
	5	0,56	5,42		68
	10	0,61	7,51		102
	20	0,66	11,47		167
	25	0,67	12,66		188
	50	0,73	16,60		270
	100	0,76	21,08		356
	200	0,82	26,09		472
4	2	0,43	1,21	7,7	1
	5	0,48	1,56		2
	10	0,52	1,83		2
	20	0,56	2,09		3
	25	0,57	2,18		3
	50	0,62	2,44		3
	100	0,65	2,71		4
	200	0,69	2,97		4

Nota: Los valores de coeficiente de escorrentía corresponden a estimaciones obtenidas a partir de un ajuste (en base a escala de logaritmo natural y correlación sobre el 99%) y extrapolación para cada cuenca.

$$Q = \frac{C(T) \cdot i_{tc}^T \cdot A}{3,6} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

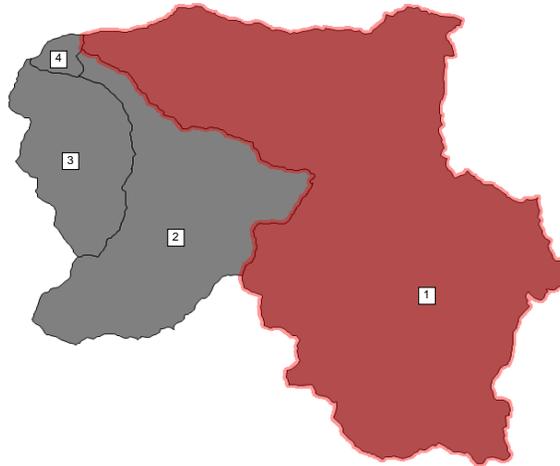
Tabla de caudales máximos instantáneos
Hoya Río Salado - Yacimiento Jerónimo

Hoya Hidrográfica	T (años)	Q _{max} (m ³ /s)
Río Salado	2	193
	5	489
	10	789
	20	1,260
	25	1,417
	50	2,026
	100	2,679
200	3,548	

Tabla de caudales máximos instantaneos
Sub-cuencas de la hoya Rio Salado

Sub-cuenca	1	2	3	4
t_c (horas)	2.69	2.15	1.45	0.74
$C_{10 años}$	0.59	0.59	0.61	0.52
T	P	Q (T)	Q (T)	Q (T)
(años)	(mm)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
2	11.4	122	45	25
5	17.8	298	122	68
10	20.0	502	183	102
20	26.0	796	294	167
25	27.3	895	330	188
50	31.2	1281	473	270
100	35.2	1693	625	356
200	39.2	2243	828	472

Nota: ⁽¹⁾ Si T > 10 años, entonces el coeficiente de escorrentía debe ser amplificado por:
 - T = 25 años; $C_{10 años} \times 1,10$
 - T = 50 años; $C_{10 años} \times 1,20$
 - T = 100 años; $C_{10 años} \times 1,25$



	Área		Altura max	Altura min	diferencia	Largo	pendiente	
	ha	km2	m	(msnm)	(msnm)	(m)	(%)	
Cuenca 2a	1697	16.97	16970000	3950	3075	875	6790	13%
Cuenca 1a	1770	17.7	17700000	3950	3195	755	7010	11%

Sub-cuenca	Factor				Coeficiente de escorrentía ⁽¹⁾
	Relieve	Infiltración	Cobertura vegetal	Almacenamiento superficial	
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	
Cuenca 2a	0.20	0.12	0.16	0.12	0.60
Cuenca 1a	0.21	0.12	0.16	0.12	0.61

Sub-cuenca	Área	t_c	T	P	i	C	Q
Nº identificación	(km ²)	(hr)	(años)	(mm)	(mm/hr)		
2a	16.97	0.64	2	4.8	1.23	0.49	2.9
			5	6.2	1.59	0.55	4.1
			10	7.3	1.85	0.60	5.2
			20	8.3	2.12	0.65	6.5
			25	8.7	2.21	0.66	6.9
			50	9.7	2.48	0.72	8.4
			100	10.8	2.75	0.75	9.7
1a	17.70	0.70	2	5.0	1.22	0.50	3.0
			5	6.4	1.57	0.56	4.4
			10	7.5	1.84	0.61	5.5
			20	8.6	2.10	0.66	6.8
			25	9.0	2.19	0.67	7.2
			50	10.1	2.46	0.73	8.8
			100	11.2	2.72	0.76	10.2
200	12.3	2.99	0.82	12.0			

$$P_t^T = (0.54 \cdot t^{0.25} - 0.50) \cdot (0.21 \cdot Lr(T) + 0.52) \cdot P_1^{10} [mm]$$

$$i_{t,T} = \frac{P_1^{10}}{24} \cdot \sqrt{\frac{24}{t_c}} [mm / hora]$$

Tabla de caudales máximos instantaneos
Sub-cuencas de la hoya 1 - Yacimiento Jeronimo

Sub-cuenca	2a	1a
t_c (horas)	0.64	0.70
$C_{10 años}$	0.60	0.61
T	P	Q (T)
(años)	(mm)	(m ³ /s)
2	11.4	2.9
5	17.8	4.1
10	20.0	5.2
20	26.0	6.5
25	27.3	6.9
50	31.2	8.4
100	35.2	9.7
200	39.2	11.4

Nota: ⁽¹⁾ Si T > 10 años, entonces el coeficiente de escorrentía debe ser amplificado por:
 - T = 25 años; $C_{10 años} \times 1,10$
 - T = 50 años; $C_{10 años} \times 1,20$
 - T = 100 años; $C_{10 años} \times 1,25$

Precipitación media mensual

Mes	Precipitación media mensual (mm)
enero	0.4
febrero	1.5
marzo	1.5
abril	1.5
mayo	5.2
junio	8.1
julio	5.5
agosto	3.8
septiembre	0.8
octubre	1.1
noviembre	0.1
diciembre	0

Total nival	22.6	mm
Total estival-lluvia	6.9	mm
Total anual	29.5	mm

MÉTODO DGA-AC PARA CRECIDAS DE DESHIELO
CAUDAL MEDIO DIARIO

Latitud media de la cuenca	Lat.	27	°
Área nival de la cuenca	A =	791.2	km ²
Caudal medio diario, T=10 años	Q ₁₀ =	0.067	m ³ /s
Factor de conversión		1.120	-

Curva de frecuencia regional de caudales medios diarios máximos.

Zona homogénea	Qn - Log Normal - Rio Salado		
	Q(T)/Q(10)		
T	Media	Máximo	Mínimo
2	0.41	0.50	0.33
5	0.73	0.79	0.68
10	1.00	1.00	1.00
20	1.29	1.37	1.21
25	1.40	1.50	1.29
50	1.73	1.94	1.51
75	1.95	2.23	1.65
100	2.11	2.45	1.75

Caudal medio diario máximo de deshielo para diferentes periodos de retorno.

Zona homogénea	Qn - Log Normal - Rio Salado		
	Q(T) (m ³ /s)		
T	Media	Máximo	Mínimo
2	2.75E-02	3.36E-02	2.22E-02
5	4.90E-02	5.31E-02	4.57E-02
10	6.72E-02	6.72E-02	6.72E-02
20	8.67E-02	9.20E-02	8.13E-02
25	9.41E-02	1.01E-01	8.67E-02
50	1.16E-01	1.30E-01	1.01E-01
75	1.31E-01	1.50E-01	1.11E-01
100	1.42E-01	1.65E-01	1.18E-01

Q (m³/día)	2,380	2,902	1,915
------------------------------	--------------	--------------	--------------

MÉTODO DGA-AC PARA CRECIDAS DE DESHIELO
CAUDAL MÍNIMO DIARIO

Precipitación media anual	P _{ms} =	22.6	mm
Área nival de la cuenca	A =	791.2	km ²
Caudal diario mínimo, 30 días consecutivos y prob. excedencia 50%	Q ₃₀ ^{50%} =	5.52E-03	m ³ /s

Curva de frecuencia regional - caudales medios mensuales.

Probabilidad de excedencia %	Zona homogénea A - Log Normal - III y IV región		
	Q ₃₀ ^{P%} / Q ₃₀ ^{50%}		
	Media	Máximo	Mínimo
20	1.66	1.98	1.44
50	1.00	1.00	1.00
80	0.60	0.70	0.50
90	0.43	0.57	0.31
95	0.28	0.49	0.00

Curva de frecuencia regional - caudales medios diarios mínimos en 30 días consecutivos.

Probabilidad de excedencia %	Zona homogénea A - Log Normal - III y IV región		
	Q ₃₀ ^{P%}		
	Media	Máximo	Mínimo
20	9.16E-03	1.09E-02	7.95E-03
50	5.52E-03	5.52E-03	5.52E-03
80	3.31E-03	3.86E-03	2.76E-03
90	2.37E-03	3.15E-03	1.71E-03
95	1.55E-03	2.70E-03	0.00E+00

Q (m³/día)	134	234	0
------------------------------	------------	------------	----------

Preliminary Design of Surface Water Drainage Infrastructure

Design for open channel flow (Manning Equation)

$$Q = AV = A \left(\frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \right)$$

Q= flow rate (m3/sec)
 A= area (m2)
 V= velocity (m/s)
 n= roughness coefficient (s/ft^{1/3})
 S= gradient (no units)
 R= area (m2) / wetted perimeter (m)

Typical Diversion Channel in concrete: 1 m wide

Water Depth (m)	Channel width (m)	Area (m2)	Typical roughness (n value)	S value (no units)	R value (m)	Velocity (m/s)	Estimated Q	
							(m3/s)	(m3/hr)
0.5	1.0	0.50	0.018	0.05	0.25	4.93	2.5	8874
1.0	1.0	1.00	0.018	0.05	0.33	5.97	6.0	21500
1.5	1.0	1.50	0.018	0.05	0.38	6.46	9.7	34884
2.0	1.0	2.00	0.018	0.05	0.40	6.74	13.5	48557

(1) roughness value based on value for concrete open channel (0.013-0.022)

(2) S value based on the topographic gradient along the foot of the hill

(3) Velocities of a storm water drain are ideally in the order of 0.6 to 3 m/s to maintain self-cleansing properties.

ANEXO B

ANÁLISIS HIDROLOGEOLÓGICO

1. Descripción regimen de flujo

Cuenca Este (1a)

Nivel agua		distancia	i	
max	min			
(msnm)	(msnm)	(m)	(%)	
3750	3200	6000	0.09	9%

Cuenca Oeste (2a)

Nivel agua		distancia	i	
max	min			
(msnm)	(msnm)	(m)	(%)	
3750	3100	6200	0.10	10%

2. Balance de aguas

Area (km2)	PMA (mm/año)	Re (%)	Q (m3/año)	(m3/día)	(L/s)
17.7	29.4	5%	26019	71	0.8
		10%	52038	143	1.7
		15%	78057	214	2.5
			promedio		1.7

Area (km2)	PMA (mm/año)	Re (%)	Q (m3/año)	(m3/día)	(L/s)
16.97	29.4	5%	24945.9	68	0.8
		10%	49891.8	137	1.6
		15%	74837.7	205	2.4
			promedio		1.6

3. Ley de darcy

Unidad	K (m/s)	i (%)	ancho (m)	b (m2)	Q (m3/día)	(L/s)
volcanicos	1.00E-07	9%	3000	200	475	5.5
	5.00E-08	9%	3000	200	238	2.8
	1.00E-08	9%	3000	200	48	0.6
	5.00E-09	9%	3000	200	24	0.3
calizas	1.00E-07	9%	3000	250	594	6.9
	5.00E-08	9%	3000	250	297	3.4
	1.00E-08	9%	3000	250	59	0.7
	5.00E-09	9%	3000	250	30	0.3
total					max	12.4
					min	1.2

Unidad	K (m/s)	i (%)	ancho (m)	b (m2)	Q (m3/día)	(L/s)
volcanicos	1.00E-07	10%	3000	200	543	6.3
	5.00E-08	10%	3000	200	272	3.1
	1.00E-08	10%	3000	200	54	0.6
	5.00E-09	10%	3000	200	27	0.3
calizas	1.00E-07	10%	3000	250	679	7.9
	5.00E-08	10%	3000	250	340	3.9
	1.00E-08	10%	3000	250	68	0.8
	5.00E-09	10%	3000	250	34	0.4
total					max	14.2
					min	1.4