




**Hidroar S.A.**  
SERVICIOS HIDROGEOLÓGICOS Y AMBIENTALES



EVALUACIÓN Y CÁLCULO DEL BALANCE  
HÍDRICO EN LA UNIDAD MINERA SAN JOSÉ.  
EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE  
MEDICIÓN DE CAUDALES SOBRE EL CAUCE  
DEL RÍO DESEADO Y RÍO PINTURAS

Mina San José  
Provincia de Santa Cruz

 Para: Minera Santa Cruz S.A.

HSA-H1-SJ-INF-009-04

Julio 2021

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>- 3 -</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS Y ALCANCES</b> .....	<b>- 3 -</b>
<b>3</b>	<b>UBICACIÓN</b> .....	<b>- 4 -</b>
<b>4</b>	<b>MEDIO FÍSICO</b> .....	<b>- 4 -</b>
4.1	<b>GEOLOGÍA</b> .....	<b>- 4 -</b>
4.2	<b>GEOMORFOLOGÍA</b> .....	<b>- 5 -</b>
4.3	<b>HIDROLOGÍA</b> .....	<b>- 5 -</b>
4.4	<b>HIDROGEOLOGÍA</b> .....	<b>- 6 -</b>
<b>5</b>	<b>CARACTERIZACIÓN METEOROLÓGICA</b> .....	<b>- 6 -</b>
5.1	<b>ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA UMSJ</b> .....	<b>- 6 -</b>
5.1.1	Precipitación .....	<b>- 7 -</b>
5.1.2	Temperatura .....	<b>- 8 -</b>
5.1.3	Humedad relativa.....	<b>- 9 -</b>
5.1.4	Evaporación.....	<b>- 9 -</b>
<b>6</b>	<b>COMPONENTES DEL BALANCE DE AGUAS</b> .....	<b>- 13 -</b>
6.1	<b>DISPONIBILIDAD DE AGUA (FUENTES EXISTENTES Y CONSUMOS)</b> .....	<b>- 13 -</b>
6.1.1	Agua de desagüe de labores mineras .....	<b>- 14 -</b>
6.1.2	Agua de campo de pozos .....	<b>- 18 -</b>
6.1.3	Agua de proceso industrial del sistema .....	<b>- 19 -</b>
6.2	<b>RESERVORIO LAGUNA 4 (LG4)</b> .....	<b>- 21 -</b>
6.2.1	Batimetría reservorio LG4 .....	<b>- 21 -</b>
6.2.2	Infiltración reservorio LG4 .....	<b>- 23 -</b>
6.3	<b>CONSUMO DE AGUA DE LA UMSJ</b> .....	<b>- 25 -</b>
6.3.1	Planta de Procesos .....	<b>- 25 -</b>
6.3.2	Campamentos .....	<b>- 25 -</b>
<b>7</b>	<b>CIRCUITO DEL AGUA</b> .....	<b>- 27 -</b>
7.1	<b>DIAGRAMA DE FLUJO: INGRESOS Y EGRESOS</b> .....	<b>- 29 -</b>
7.2	<b>BALANCE HÍDRICO DE LA UNIDAD MINERA SAN JOSÉ.</b> .....	<b>- 31 -</b>
<b>8</b>	<b>HIDRODINÁMICA</b> .....	<b>- 34 -</b>
8.1	<b>CENSO DE NIVELES DE POZOS</b> .....	<b>- 34 -</b>
8.2	<b>COMPORTAMIENTO EQUIPOTENCIAL Y SENTIDO DEL DESPLAZAMIENTO DEL AGUA</b> .....	<b>- 35 -</b>
<b>9</b>	<b>CAPACIDAD DE REVANCHA DE LOS DIQUES DE RELAVES Y CIANURACIÓN</b> .....	<b>- 37 -</b>
9.1	<b>LAGUNA DE RELAVE</b> .....	<b>- 37 -</b>
9.2	<b>LAGUNA DE CIANURACIÓN</b> .....	<b>- 40 -</b>
<b>10</b>	<b>EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE CAUDALES</b> .....	<b>- 44 -</b>
10.1	<b>RÍO DESEADO</b> .....	<b>- 44 -</b>

---

<b>10.2</b>	<b>RÍO PINTURAS .....</b>	<b>- 45 -</b>
<b>10.3</b>	<b>RECOMENDACIÓN.....</b>	<b>- 46 -</b>
<b>11</b>	<b>ACTUALIZACIÓN DE MEDICIONES DE CAUDALES - CÁLCULO DE CURVAS DE DESCARGAS EXPEDITIVAS.....</b>	<b>- 47 -</b>
<b>11.1</b>	<b>AFOROS .....</b>	<b>- 47 -</b>
<b>11.2</b>	<b>RELEVAMIENTOS TOPOGRÁFICOS.....</b>	<b>- 47 -</b>
<b>11.3</b>	<b>ESTIMACIÓN DE LA CURVA DE AFOROS TEÓRICA.....</b>	<b>- 49 -</b>
<b>12</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>- 52 -</b>

Mapa 1 Mapa de Ubicación Regional

Mapa 2 Mapa Equipotencial

Anexo I Memoria Fotográfica

Anexo II Aforos, estimación de secciones y curvas teóricas.

Anexo III Estimación de superficies de máxima inundación Reservoirio LG1 con Imágenes Sentinel 2A.

# **“EVALUACIÓN Y CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO DE LA UNIDAD MINERA SAN JOSÉ. EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE CAUDALES SOBRE EL CAUCE DEL RÍO DESEADO Y RÍO PINTURAS”**

**MINERA SANTA CRUZ – PROVINCIA DE SANTA CRUZ.**

**JULIO 2021**

## **1 INTRODUCCIÓN**

El presente informe ha sido elaborado con el objeto de hacer una descripción general del manejo de agua de la Unidad Minera San José, la evaluación y calibración del sistema de medición de caudal sobre los cauces del Río Deseado y Pinturas; y la determinación de la capacidad de revancha de los diques de cyanuración y relaves ante avenidas extremas.

El trabajo se focaliza en la descripción general del circuito del agua, incluyendo caudales y/o volúmenes consumidos, circulación / recirculación, distribución del agua dentro de las instalaciones como necesidad de los procesos industriales y básicos de la actividad minera; y la evaluación de capacidad de revancha en diques de relaves existentes ante avenidas extremas.

La Dirección Ejecutiva del estudio fue ejercida por el Hidrogeólogo Senior Carlos Scatizza, con participación del Ing. Hidráulico Sergio Preiato y del Ing. Geól. Ricardo Gutiérrez.

## **2 OBJETIVOS Y ALCANCES**

Dentro de los objetivos del trabajo, se contemplan los siguientes ítems:

- Realizar una caracterización climática general enfocada en el comportamiento de la precipitación y evaporación del medio físico.
- Identificar aquellas instalaciones involucradas en el circuito del agua del proyecto (agua fresca, agua de mina, agua captada en zonas de infraestructura minera, agua de recirculación del sistema, agua de efluentes y consumos), representando mediante un flujograma el balance de aguas generalizado, con descripción de volúmenes involucrados durante el intervalo de tiempo anual comprendido por marzo 2020 hasta febrero 2021.
- Presentar el resultado de la batimetría realizada en el reservorio Laguna 4 (LG4), y la evaluación de revancha de los diques de relaves existentes ante avenidas extremas.
- Determinación de los parámetros hidráulicos del acuífero libre con la determinación del sentido de desplazamiento del agua del acuífero libre, y la confección del mapa piezométrico del mismo para la unidad minera.
- Actualización de sistema de medición de nivel mediante regla limnimétrica en el reservorio LG4, y la evaluación actual de hidrómetros en los cauces de los ríos indicados y su reubicación de ser necesario.

### 3 UBICACIÓN

La Unidad Minera San José se encuentra ubicado al NW de la provincia de Santa Cruz, radicado en el Departamento Lago Buenos Aires, aproximadamente a unos 50 km hacia el E de la localidad de Perito Moreno (Figura 3.1)

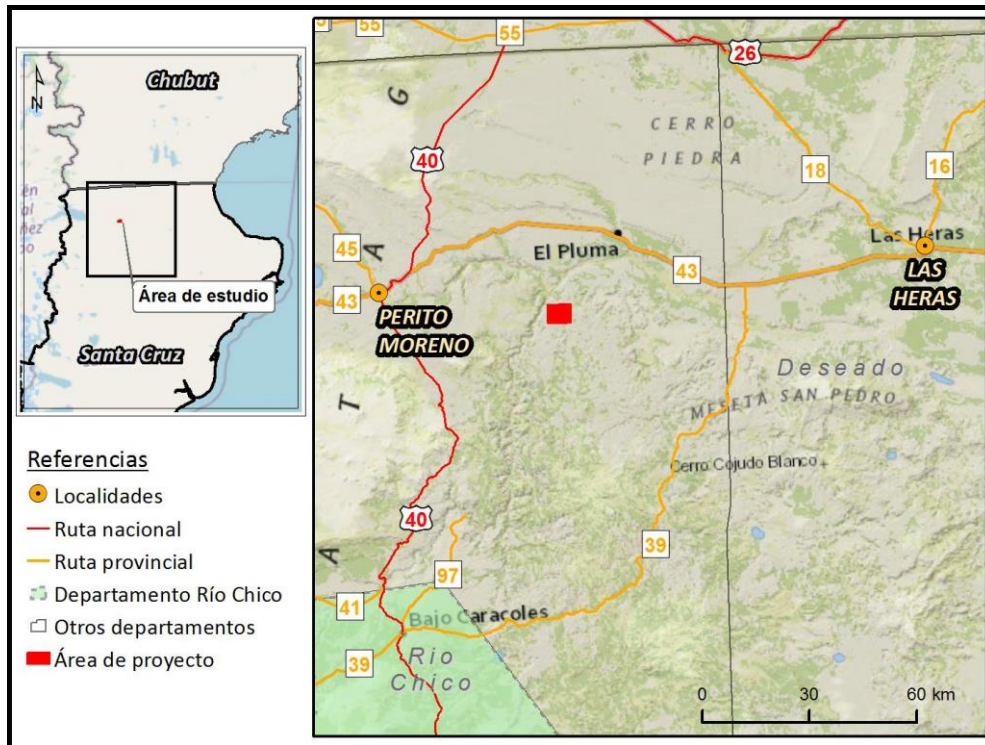


Figura 3.1 Ubicación regional de la Unidad Minera San José.

Como se observa en la figura, se accede al proyecto desde la localidad de Perito Moreno recorriendo unos 70 km en dirección al E por la RP Nº 43, hasta el km 65; y desde allí se circulan unos 25 km hacia el Sur cruzando el Rio Deseado hasta llegar a las instalaciones de la mina.

## 4 MEDIO FÍSICO

### 4.1 Geología

Geológicamente el área de UM San José se encuentra situado al noreste del Macizo del Deseado, constituyendo una plataforma “Neso-Cratónica”, la cual ha sido estable desde el período Cretácico superior y cuya litología predominante son rocas volcánicas del período Jurásico medio a superior.

Los afloramientos más antiguos dentro del área de estudio corresponden a las rocas andesíticas de la Formación Bajo Pobre del periodo Jurásico superior, la cual se encuentra conformada por andesitas inferiores (volcano-clásticas) y superiores (flujos de lava andesítica). En el sitio de estudio, se estiman espesores de hasta 20 m. Apoyándose en discordancia sobre las rocas andesíticas, se observa a la Formación Chon Aike del Jurásico Superior, conformada por flujos de ignimbritas riolíticas y tobas, y tobas finas de La Formación La Matilde. El límite superior es paraconcordante con las rocas cretácicas y es discordante si las cubren los basaltos de la Formación Alma Gaucha. En discordancia se apoya las unidades del Grupo Chubut, conformada de base a techo por tres secuencias; tobas finas y areniscas tobáceas intercaladas, una secuencia fluvial conformada por areniscas y conglomerados fluviales, y una secuencia superior lacustre con sedimentos finos y tobas.

Los flujos basálticos del Terciario (Oligoceno) de la Formación Alma Gaucha, presentan texturas vesiculares, formando una extensa cubierta sobre gran parte del sector noroeste del Macizo Deseado y del área de estudio. En área de interés, presentan espesor de hasta 40m.

Por último, se observan sedimentos fluvio-glaciales del cuaternario, principalmente dentro de las cuencas deflacionarias, donde se han depositado sedimentos finos limosos a arcillosos.

## 4.2 Geomorfología

El área de interés está caracterizada por presentar un paisaje dominado principalmente por procesos geomorfológicos eólicos y fluviales, donde se observan mesetas y altiplanos (con altitudes de 550 a los 600 msnm) volcánicos cubiertas por basaltos del periodo Cuaternario-Terciario. Otro paisaje característico de la zona son las cuencas denominadas de deflación o de evaporación, cuyas profundidades y extensiones alcanzan los 60 m y 400 Ha, respectivamente. Debido al agente responsable de la generación de estas cuencas (eólico), por lo general presentan una orientación característica, como consecuencia de la dirección del viento predominante, en este caso Nor-Noreste.

La topografía del área de estudio se encuentra comprendida entre las cotas de 330 msnm hacia el oeste (aledaño al Río Pinturas) y 635 msnm (área Saavedra). En relación con las cuencas de deflación presentan cotas de entre 490 hasta los 535 msnm.

## 4.3 Hidrología

El área de estudio se encuentra ubicada próximo a dos importantes ríos. El más cercano es el río Pinturas, a unos 3 km al noroeste, y a unos 5 km hacia el norte, el Río Deseado. Ver Figura 4.1.

El sitio de interés se ubica dentro de la subcuenca del río Pinturas, el cual presenta una longitud total de 126 km con un rumbo Nor-Noreste, siendo además tributario del río Deseado. El río Pinturas está conformado por varios cursos tributarios efímeros/transitorios, constituyendo un área de drenaje de aproximadamente 6.000 km<sup>2</sup>. En los alrededores de la UM, no se observan cursos perenes y el drenaje actual se halla pobremente desarrollado, vinculado a quebradas que, en periodos de lluvia o deshielo importantes, favorecen el escurrimiento superficial.

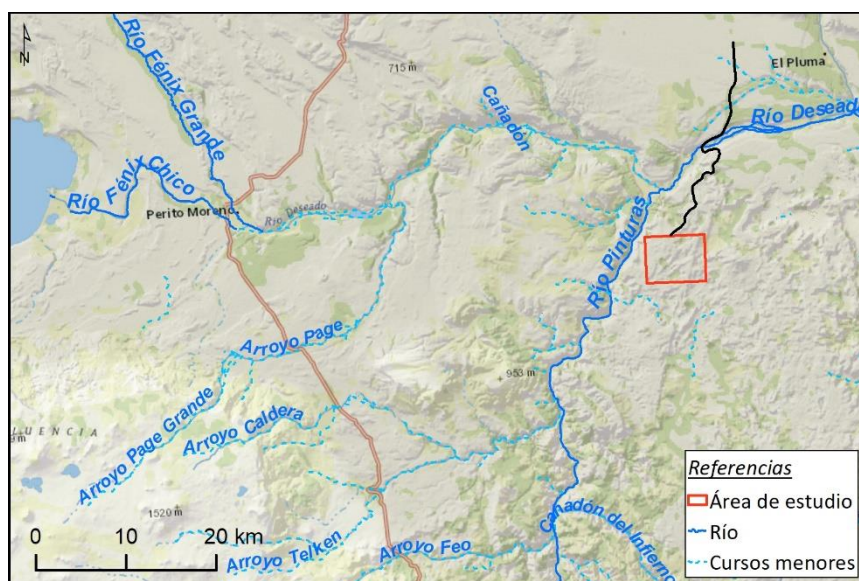


Figura 4.1 Hidrología regional y área de estudio. Provincia de Santa Cruz.

El río Deseado presenta un rumbo Oeste-Noroeste, recorriendo aproximadamente 615 km desde su nacimiento en el río Fénix Grande, hasta su desembocadura en el Océano Atlántico, dando como

resultado la formación del Río Deseado, un estuario con gran importancia biológica declarado Reserva Natural Provincial. En su trayecto colecta varios tributarios, entre ellos; río Fénix Grande, río Pinturas, arroyo Page y arroyo Pirámides. La cuenca del río Deseado presenta una superficie de 14.450 km<sup>2</sup> aproximadamente.

#### 4.4 Hidrogeología

La secuencia hidrogeológica que caracteriza la región se encuentra integrada por una serie de unidades que se detallan a continuación siguiendo un orden de tipo secuencial, desde las más recientes a las más antiguas.

- **Acuífero Colgado:** desarrollados en sedimentos fluvio-glaciales del cuaternario, principalmente limo-arenosos valores de K:  $2 \times 10^{-5}$  m/s, cuyo comportamiento hidráulico sería como acuífero de porosidad primaria.
- **Acuífero Libre/Semilibre:** acuífero secundario muy pobre a acuitardo, alojados en litologías andesíticas de la Fm Chon Aike con escaso grado de fracturación, y valores de K en el orden de  $9 \times 10^{-9}$  m/s. Los aportes son discontinuos en profundidad y de bajos caudales.
- **Acuífero Confinado:** acuífero secundario principal, alojadas en las andesitas y venillas de cuarzo escasamente fracturadas de la Fm. Bajo Pobre, con valores de K:  $5 \times 10^{-8}$  m/s. Este acuífero se encuentra a profundidades mayores a los 150 mbnt.

## 5 CARACTERIZACIÓN METEOROLÓGICA

El comportamiento climático de la cuenca de interés está clasificado dentro de la eco región Estepa Patagónica, con características de clima frío y seco, semidesértico con precipitaciones menores a los 250 mm de promedio anual en casi toda la región, con vientos característicos fuertes del oeste, con lluvias y nevadas de invierno, veranos secos y heladas durante casi todo el año. Presenta temperaturas medias anuales en el orden de los 5 a 8 °C en el sur de la eco región, provincia de Santa Cruz (Burkart et al 1999).

Por otro lado, Pereira 2003, clasifica la región del Macizo del Deseado (entre los paralelos 46° y 48° S) entre los ríos Deseado y Coyle, por medio la clasificación climática de Koeppen modificada como una unidad transicional entre semiárido y árido de estepa Bskw (a) y árido o desértico BWK; con temperaturas medias anuales inferiores a los 10 °C, con precipitaciones que alcanzan en promedio 200 a 100 mm anuales. De tormentas poco frecuentes, humedad relativa ambiente generalmente inferior al 50% y evapotranspiración potencial en el orden de los 500 mm, siendo una unidad con fuerte déficit hídrico anual. De heladas frecuentes en todo el año, y nevadas frecuentes en invierno, para un clima marcadamente estacional y continental, con disminución de temperaturas en zonas montañosas.

### 5.1 Estaciones meteorológicas de la UMSJ

Los datos meteorológicos son aportados por MSC, cuya estación meteorológica (EM) opera dentro del área de la UMSJ. Para el desarrollo del presente estudio se tomará en cuenta los datos climáticos correspondientes al período desde 23/3/2016 hasta 17/3/2021, que contemplan un conjunto de datos climáticos entre los se presentan temperatura mínima, máxima y promedio ambiental, humedad relativa, altura del sensor de nieve (ASN), velocidad y dirección del viento, lluvia total durante el día, presión barométrica y evaporación de referencia (Eto diario).

Estación Meteorológica	Coordenadas Geográficas		Datum
	Latitud	Longitud	
MSC S.A	46°40'26" S	70°18'11.6" W	WGS84

Cuadro 5.1 Ubicación geográfica Estación Meteorológica UMSJ/ MSC S.A

De las variables mencionadas, el principal interés del estudio se encuentra en los registros de temperatura, humedad relativa y precipitaciones (pluvial, pues los registros de precipitación nival presentan datos inconsistentes). Se ha observado algunos intervalos de tiempo con valores sin registro en algunos parámetros que, para los cálculos anualizados, no se toma en cuenta dentro de los análisis los datos pertenecientes de meses incompletos.

### 5.1.1 Precipitación

- Precipitación Pluvial

De acuerdo a los registros de la EM perteneciente a la UMSJ, el área se encuentra asociada a una precipitación media de 110 mm anuales, con un registro máximo de 149 mm para el año 2017 (Figura 5.1 y Cuadro 5.2).

Año / Mes	Precipitación total (mm)												Total Anual
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
2016			0	43,7	4,3	0,6	1,1	12,6	2,9	1,2	3,2	10	
2017	0,1	5,2	8,5	52,1	18,3	23,1	2,1	20	5	4,9	6,6	3,2	149,1
2018	2,6	1,2	2,2	5,7		7	4,6	0,7	35,1	4,7	6	6,1	75,9
2019	0,6	2,3	4,6	10,3	2,3	25	20,8	11,6	0,8	9,3	0,5	4,6	92,7
2020	0,2	14,2	1,1	12,5	12,7	14	28,4	5,7	4,4	1,4	1,3	4,7	100,6
2021	11,5	16,5	22,8										
<b>Promedio</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>25</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>110</b>

Cuadro 5.2 Precipitación Promedio Mensual para EM UMSJ.

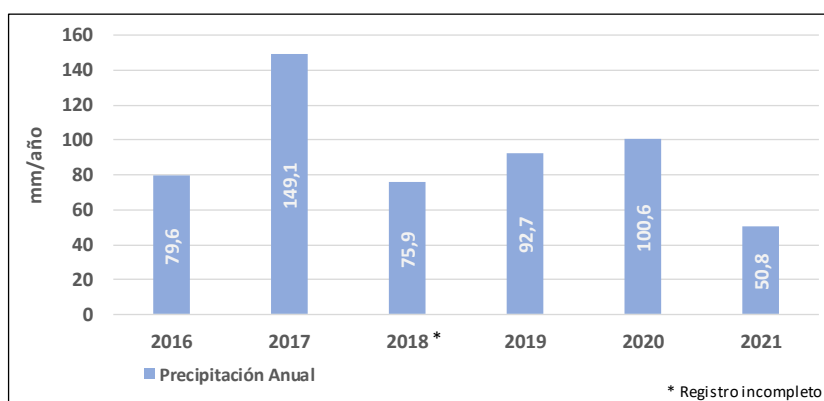


Figura 5.1. Precipitación promedio anual en EM UMSJ.

En promedio, más del 60% de la precipitación se produce entre los meses de abril y agosto, siendo abril y julio los meses en que, en general, se produce la mayor acumulación de precipitación. En el otro extremo, enero y noviembre son los meses que registran menor cantidad de precipitación caída. La Figura 5.2 muestra los valores de precipitación mensual para cada año, y la precipitación promedio de cada mes para el período de registro que, al ser relativamente corto, registros aislados de precipitación generan una importante influencia en los valores medios, como la precipitación de 35 mm de sep.18, la cual produce un aumento de la media de ese mes, cuando en el resto de los años, este registro no superó los 5 mm.



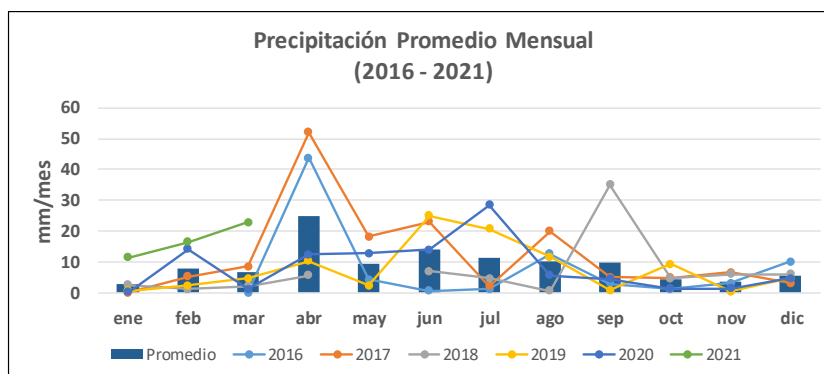


Figura 5.2 Precipitación promedio mensual.

### 5.1.2 Temperatura

Con los datos evaluados de las EM dentro del área de UMSJ se representan comportamientos correspondientes de las isotermas puntuales del área de interés. Para ello, la Figura 5.3 presenta un gráfico de caja y bigote, que permiten evaluar la población de datos por rangos característicos de percentiles y de esta forman observar valores extremos máximos y mínimos, mostrados en el Cuadro 5.3.

Temperatura Promedio °C												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Tmin</b>	2,3	0,6	0,5	-3,6	-8,4	-11,9	-14,8	-7,4	-6,0	-6,3	0,8	3,2
<b>Tmax</b>	30,7	35,4	29,6	25,3	19,3	15,9	12,9	16,0	19,5	24,6	29,9	31,1
<b>Tpm</b>	15,2	16,0	14,0	9,1	6,2	2,1	1,3	4,3	6,4	9,4	12,7	14,2
<b>M Tpm</b>	15,0	15,6	13,8	8,9	6,4	2,6	1,4	4,3	6,3	9,0	12,3	13,9
<b>M Tmax</b>	20,2	20,9	19,0	14,2	10,7	5,7	5,3	8,6	11,7	14,8	18,4	19,6
<b>M Tmin</b>	9,1	9,4	8,7	3,9	2,0	-1,0	-1,8	-0,1	1,0	3,9	6,4	8,2
<b>Mediana (M)</b>	<b>Tpm: Temperatura promedio</b>											

Cuadro 5.3 Temperatura Promedio, máxima y mínimo mensual para UMSJ.

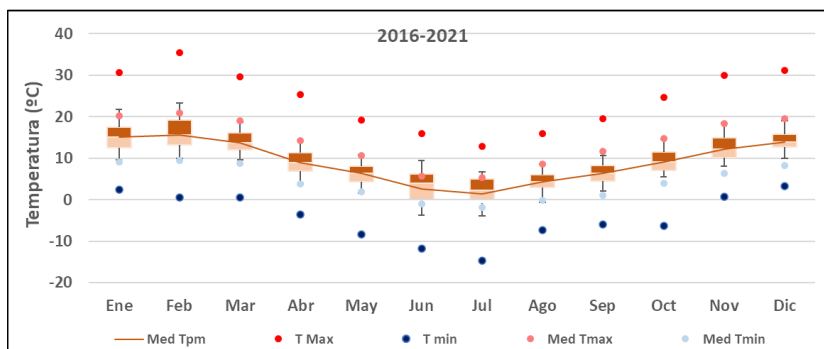


Figura 5.3 – Variación de Temperatura promedio Mensual UMSJ.

Las características de amplitudes térmicas existentes son dinámicas en cuanto a los horarios diurnos y nocturnos, existiendo amplias variaciones de temperatura durante todo el año. Gráficamente el comportamiento armónico de las curvas representadas por los datos, reflejan una variación paulatina y homogénea, presentando los valores inferiores en los meses de jun/jul y notando el incremento de las isotermas en los meses de verano, con registros máximos en febrero.

Es apreciable una variación en los valores extremos tanto en máximos (índices rojos) como en mínimos (azules oscuros) reflejando los extremos del comportamiento de la temperatura. No obstante, la mediana de la población para estas medidas se encuentra enmarcadas dentro de los rangos de percentiles Q25 y Q75, es decir, el comportamiento de las medianas de los registros mínimos se encuentran cercanas a 0 °C, observándose temperaturas extremas inferiores a los -10 °C y, de igual forma,

las medianas de la temperatura máxima se encuentran inferiores a 20 °C, sin descartar eventos extremos superiores a los 30 °C.

### 5.1.3 Humedad relativa

Los valores promedios y mínimos de Humedad Relativa tienen un notable incremento durante los meses invernales, con porcentajes que superan el 60% de Humedad coincidente con las estaciones donde se presentan las precipitaciones nivales. Se observa, además, una disminución brusca y paulatina a partir del mes de julio, hasta descender a intervalos inferiores a los 50%, durante los periodos primaverales y estivales.

Mes	Humedad Relativa (%)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
HR min	6,2	7,6	8,3	11,1	21,6	18,8	21,6	14,3	4,4	7,5	7,9	8,1
HR max	90,1	97,1	97,8	98,1	98,9	99,5	99,4	98,9	99,5	97,6	94,4	93,7
HR pm	44,2	45,9	51,3	58,7	67,7	72,7	74,8	63,6	49,5	49,7	45,4	45,1
M HR pm	44,8	46,1	50,7	57,4	67,9	71,9	74,8	62,4	53,2	50,6	45,9	44,4
M Hr max	67,5	70,2	74,5	80,5	89,4	92,0	92,2	85,0	76,0	75,3	69,4	66,9
M HR min	22,1	21,6	26,3	33,7	47,3	52,4	54,6	41,1	28,3	24,1	21,2	22,8
Mediana (M)	HR pm: Humedad Relativa promedio											

Cuadro 5.4 Humedad relativa promedio, máxima y mínimo mensual para UMSJ.

De igual forma que en el análisis de la temperatura, los valores máximos de humedad relativa tienden a ser superiores al 90%, pero la mediana de la población de datos máximos oscila entre 60 a 90%. En cuanto a sus menores expresiones, se mantienen en rangos de 6 a 21% como comportamiento extremo, pero la mediana de su población mina se encuentra entre rangos mayores a 20%, fuera del rango del percentil Q25.

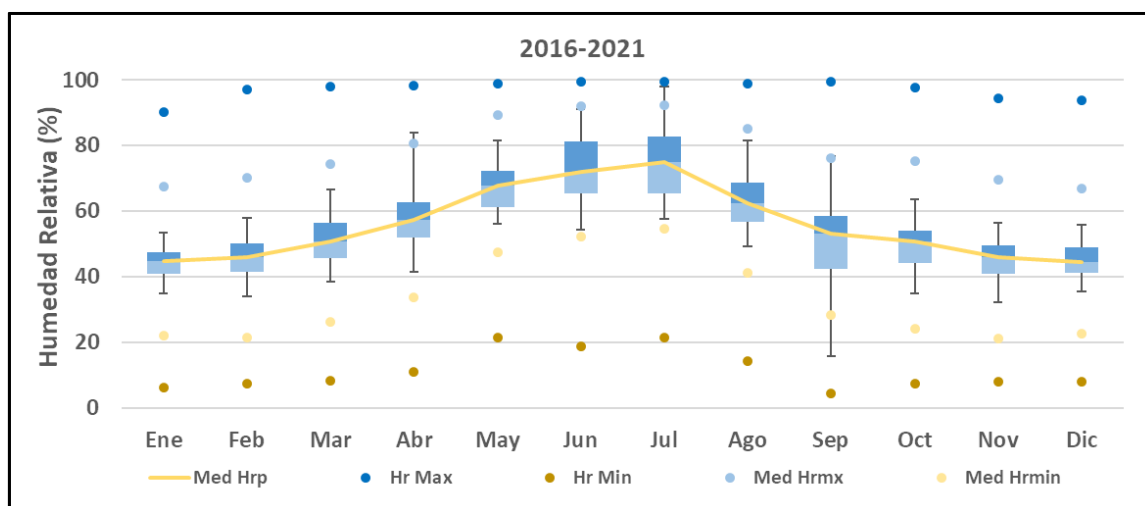


Figura 5.4– Variación de Humedad Relativa promedio Mensual UMSJ.

### 5.1.4 Evaporación

#### ➤ Evaporación de referencia (Eto)

Los registros muestran los valores de evaporación de referencia (Eto) estimada por la estación meteorológica del proyecto, arrojando un valor medio de 596 mm/año, con un máximo de 619 mm para

el año 2020 (Cuadro 5.5), y promedios mensuales que van desde los 11 mm (jun.17 y jun.19) hasta los 114 mm (feb.21).

Año / Mes	Evaporación (Eto mm)												Total Anual
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
2016							12	20	51	71	84	77	
2017	72	52	26	36	19	11	14	22	33	43	77	88	494
2018	90	80	46	30		13	15	23	33	67	77	102	578
2019	79	90	76	36	22	11	15	24	35	58	74	78	599
2020	97	79	70	35	20	12	13	19	38	58	93	85	619
2021	93	114	83										
<b>Promedio</b>	<b>86</b>	<b>83</b>	<b>60</b>	<b>34</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>22</b>	<b>38</b>	<b>59</b>	<b>81</b>	<b>86</b>	<b>596</b>

Cuadro 5.5 - Evaporación promedio.

En la Figura 5.5 puede observarse un marcado comportamiento estacional, con un mínimo de Eto en el periodo invernal, con valores medios de entre 12 y 14 mm mensuales, y un máximo en verano, con valores medios que superan los 80 mm/mes.

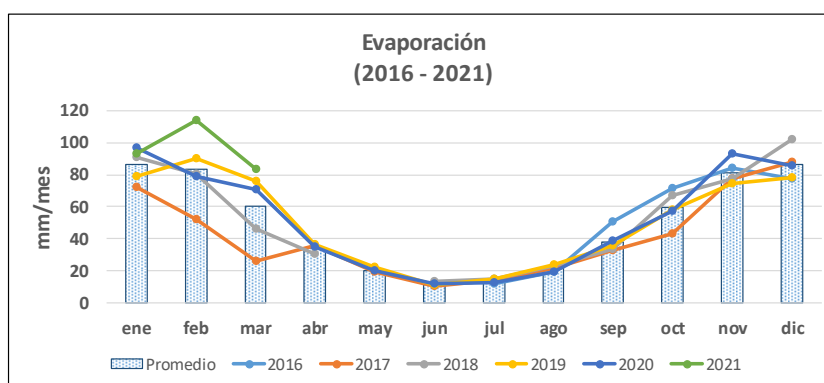


Figura 5.5 Comportamiento de la ETo según promedio mensual.

### ➤ Evaporación Potencial (EVp)

Tomando en cuenta los registros de temperatura, se ha procedido a calcular la evaporación potencial mediante la fórmula de Hargreaves, para tener un referente estimado de la pérdida indirecta por este proceso climático. Se ha realizado la simplificación de la ecuación de la siguiente forma:

$$ETO = 0.0135 * (t_{med} + 17.78) * (R_0m * kt * (t_{max} - t_{min}))^{0.5}$$

Donde:

$ET_0$  = evapotranspiración potencial diaria, mm/día

$t_{med}$  = temperatura media, °C

$R_0$  = Radiación solar extraterrestre

$KT$  = coeficiente

$t_{max}$  = temperatura diaria máxima

$t_{min}$  = temperatura diaria mínima

La fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la Evapotranspiración Potencial necesita solamente datos de temperaturas y de Radiación Solar, siendo la radiación solar incidente,  $R_s$  (ya contemplada dentro de la ecuación simplificada) se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre que llega a la parte exterior de la atmósfera (que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera); tomada

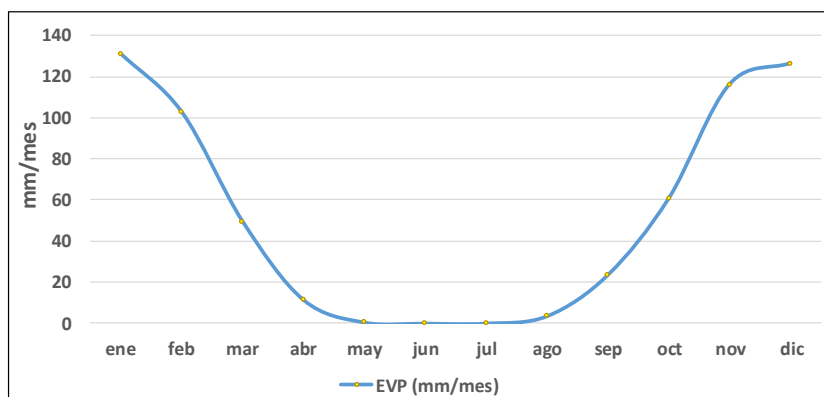
de tablas en función de la latitud del lugar y del mes. En este documento nos referiremos a ella como  $R_{0m}$ , dicha información la tenemos representada en mm/día.

Por otra parte, el coeficiente  $kt$  de la expresión, es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves (citado en Samani, 2000) recomienda  $KT = 0,162$  para regiones del interior y  $kt = 0,19$  para regiones costeras.

En base a esta metodología, y tomando los parámetros medidos por la estación del proyecto para el período de análisis, el Cuadro 5.6 (y Figura 5.6) presenta los valores de evaporación potencial calculados.

Mes	Tmin °C	Tpm °C	Tmax °C	$R_{0m}$	RS	EVP (mm/d)	EVP (mm/mes)
Ene	2,3	15,2	30,7	6,4	5,5	4,2	131,0
Feb	0,6	16,0	35,4	2,0	1,9	3,4	102,7
Mar	0,5	14,0	29,6	0,1	0,1	1,6	49,6
Abr	-3,6	9,1	25,3	0,0	0,0	0,4	11,5
May	-8,4	6,2	19,3	0,0	0,0	0,0	0,5
Jun	-11,9	2,1	15,9	0,9	0,8	0,0	0,0
Jul	-14,8	1,3	12,9	4,4	3,8	0,0	0,0
Ago	-7,4	4,3	16,0	9,6	7,5	0,1	3,5
Sep	-6,0	6,4	19,5	15,2	12,4	0,8	23,5
Oct	-6,3	9,4	24,6	18,5	16,7	2,0	60,7
Nov	0,8	12,7	29,9	16,9	14,8	3,7	116,2
Dic	3,2	14,2	31,1	11,7	10,0	4,4	126,4
						<i>EPV anual (mm)</i>	<i>625,7</i>

**Cuadro 5.6** Evaporación potencial media calculada por el método de Hargreaves.



**Figura 5.6** Comportamiento de la EVP promedio para el período 2016-2021.

De esta forma, los meses estivales cuentan con los mayores rangos de evaporación potencial para el periodo evaluado, y de modo inverso, los rangos más bajos se observan en los meses invernales. Con una media anual de 625,7 mm/año.

### ➤ **Comparación de metodologías**

Analizando ambas metodologías de estimación de la evaporación, se observan tendencias similares tanto del dato adquirido por la estación meteorológica (ETo) como de la curva teórica calculada (EVP), siendo esta última más afectada por el dato de radiación teórica para el hemisferio sur latitud 70 en los meses mar-jun-jul, en donde se alcanzan valores nulos de evaporación, situación que es representada en la Figura 5.7.

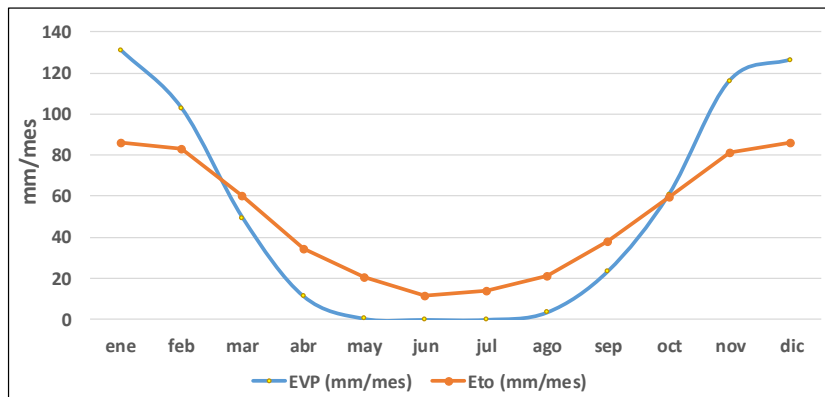


Figura 5.7 Comportamiento de la evaporación según promedio mensual Curvas de EVP y Eto (2016-2021).

Para el período de análisis (mar.20 a feb.21), la Figura 5.8 muestra la representación de ambos cálculos y una curva promedio.

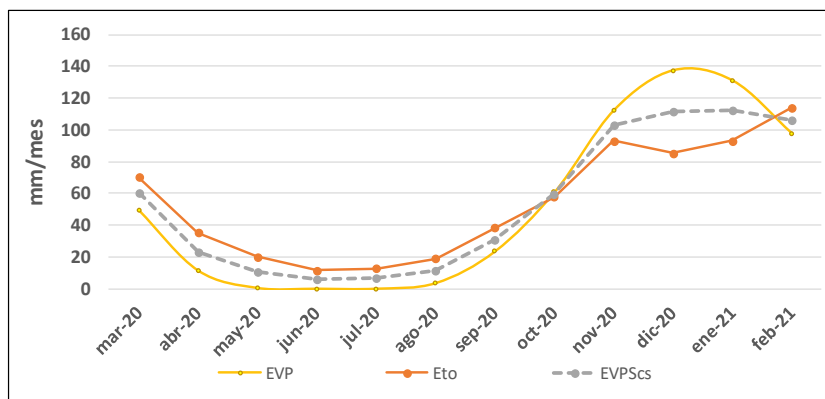


Figura 5.8 Comportamiento de la Evaporación Potencial para el periodo evaluado marz-20 a feb-21.

Finalmente, como ambos métodos de cálculo de la evaporación son indirectos, para el balance del circuito de agua de la unidad minera, se utilizará un promedio de ambas metodologías, para el período considerado, dando como resultado una evaporación de 639 mm/año.

## 6 COMPONENTES DEL BALANCE DE AGUAS

A continuación, se describen los componentes del flujograma de balance de aguas, el cual incluye las principales necesidades de agua y las fuentes disponibles, utilizando para la descripción del funcionamiento de la Unidad Minera San José (UMSJ), u período de tiempo anual, es decir, contemplando las etapas de operación de la Unidad Minera a partir de la cuantificación de consumos de sus procesos durante un año (mar.20 a feb.21).

### 6.1 Disponibilidad de agua (fuentes existentes y consumos)

Los requerimientos de agua de la UMSJ son cubiertos a partir de tres fuentes, las cuales abastecen a las diferentes áreas operativas (Figura 6.1):

- Agua de Campo de pozos, ubicado al sureste de la planta.
- Agua de desagüe de bocamina, almacenada en el reservorio LG4.
- Agua de proceso, recuperada por recirculación de agua dentro del sistema.

Siendo distribuidas para uso industrial de los dos últimos orígenes, y agua potable principalmente obtenida por la extracción de agua subterránea (agua fresca) a partir del campo de pozos, compensando la demanda de esta desde el reservorio LG4 a través de una planta de osmosis inversa.

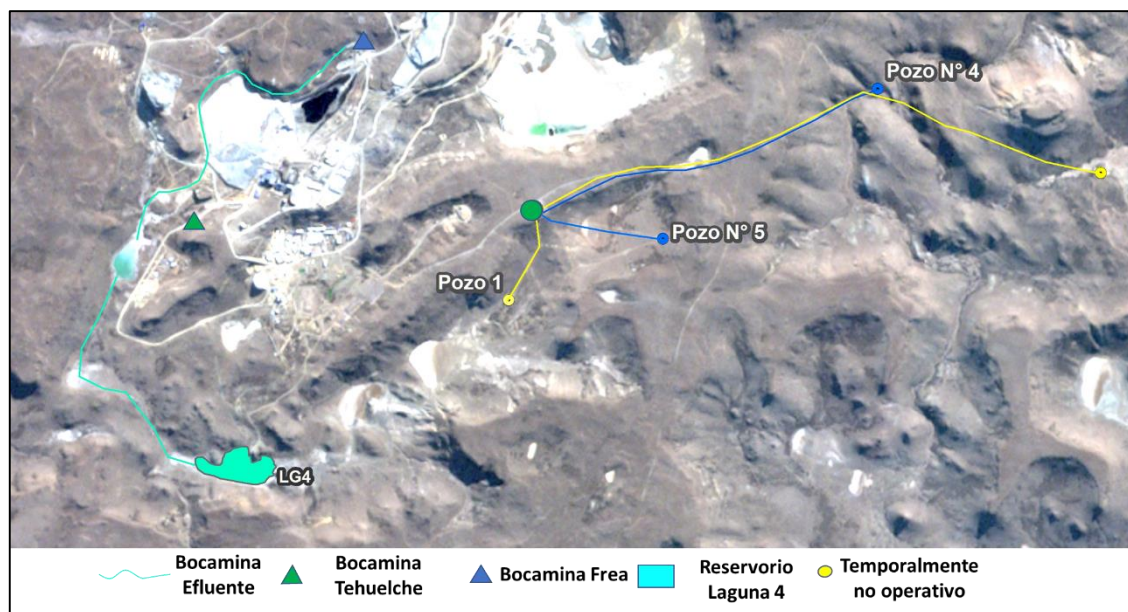


Figura 6.1 Fuente de abastecimiento de agua para operaciones UMSJ.

La fuente de agua para uso industrial deriva de la reutilización de un porcentaje del agua obtenida por la extracción directa del reservorio LG4 y otra parte proveniente de la planta de recuperación de agua (PRA). Esta última se abastece con el flujo recirculado del procesamiento mineral y recuperación del agua dispuesta en el dique de colas, es decir, comprende el reingreso al sistema de aquel porcentaje de agua de proceso que no sea consumido en los procesos industriales ni quede retenida en las colas. El uso de esta fuente permite entonces que se optimice el recurso hídrico maximizando su reúso, y que la tasa de renovación en el sistema por extracción de agua fresca se reduzca al máximo posible.

La recarga del reservorio LG4, es principalmente agua proveniente del desagüe de bocamina, a continuación, se describen con mayor detalle cada una de las fuentes de agua mencionadas y los caudales disponibles consumidos para el periodo evaluado.

### 6.1.1 Agua de desagüe de labores mineras

Se ha realizado el análisis de los caudales erogados en las vetas en base al plan de explotación ejecutado desde mar.20 a feb.21. Por razones hidráulicas, físicas y operativas, la salida de los efluentes de las vetas Kospi y Frea han sido unificados por medio de un canal subterráneo. De esta forma, el caudal de mina Kospi se canaliza subterráneamente hacia mina Frea. Este flujo (Kospi + Frea), es cuantificado a la salida de Frea y conducido hacia el reservorio Laguna (LG4). A esta descarga total, se la conoce como “Descarga Kospi”.

Se dividió el análisis según los caudales erogados por los caudalímetros Frea 1 y Frea 2 (este último incluye Kospi), con posterior deducción del caudal de recirculación que es tomado nuevamente para operaciones. De esta forma, el caudal erogado de la veta Frea 1 oscila entre 23.000 y 60.000 m<sup>3</sup>/mes, para generar una salida durante el periodo evaluado de 544.739 m<sup>3</sup>/año. Por su parte, Frea 2 aporta en rangos de 17.000 a 91.000 m<sup>3</sup>/mes, totalizando 542.967 m<sup>3</sup>/año.

La bocamina Tehuelche (veta Huevos Verdes, actualmente sin explotarse) también aporta agua al reservorio LG4, en un volumen un orden de magnitud menor que las anteriores, totalizando para el período en análisis la cantidad de 58.901 m<sup>3</sup>/año. Todo este detalle, puede apreciarse en el Cuadro 6.1 y la Figura 6.2.

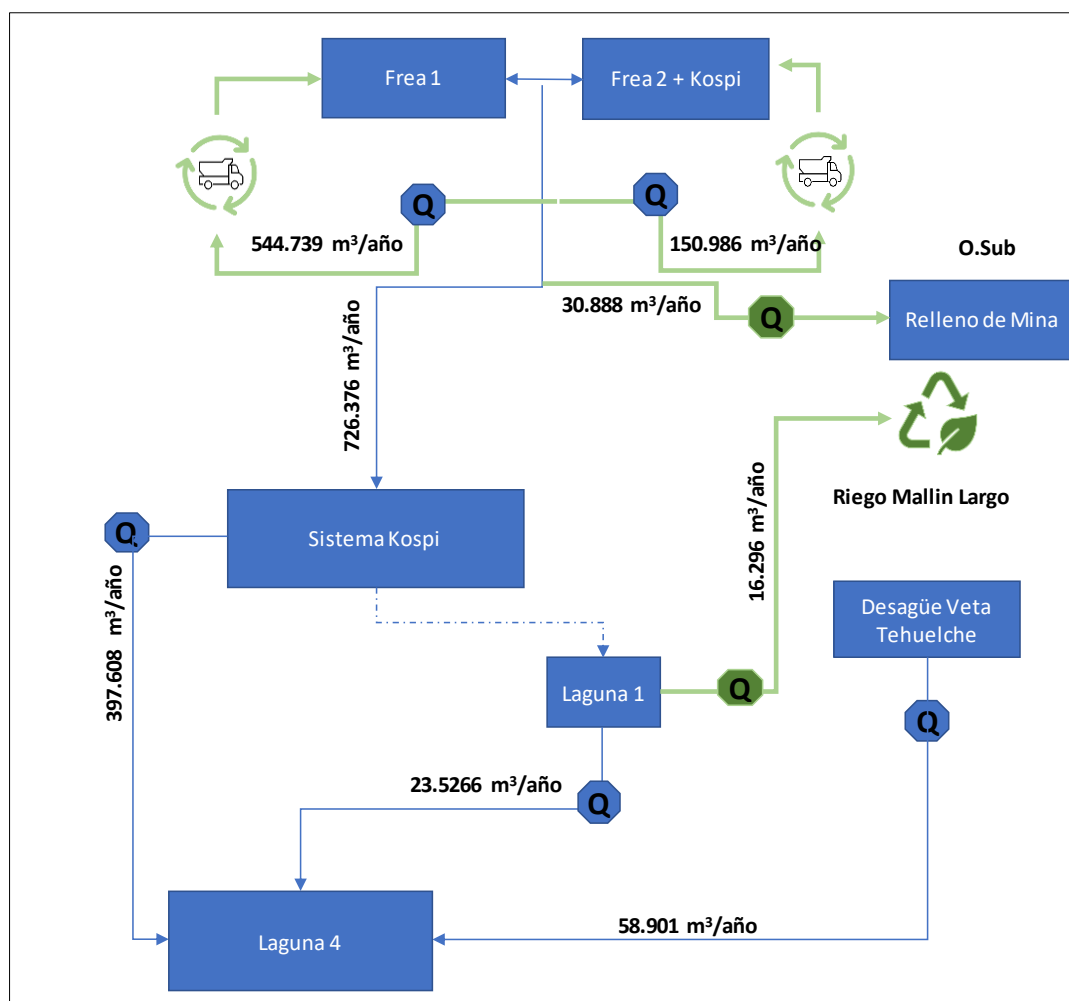
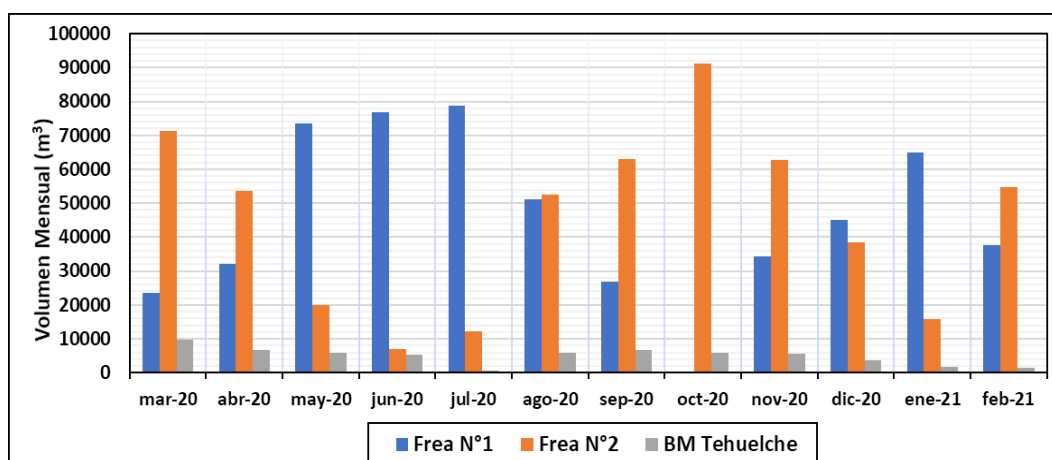


Figura 6.2 Esquema de agua de mina. Balance anual.

Proceso	2020											2021		Anual
	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	ago-20	sep-20	oct-20	nov-20	dic-20	ene-21	feb-21		
Frea N°1	23.585	32.245	73.382	76.811	78.649	51.060	26.862	91	34.262	44.992	65.066	37.734	544.739	
Frea N°2	71.196	53.643	20.047	7.050	12.336	52.628	62.938	91.204	62.782	38.334	15.943	54.866	542.967	
Recirculación Frea	13.170	10.491	11.714	12.496	48.994	12.242	10.257	11.342	9.658	13.223	13.025	13.539	180.151	
Recirculación Kospi	14.022	15.605	16.875	13.319	11.675	7.556	13.395	4.227	15.884	10.672	14.613	13.143	150.986	
Recirculación Relleno Mina	10.787	1.770	1.862	2.134	3.005		1.214	192		5.158	2.884	1.882	30.888	
Descarga sistema Kospi	56.802	58.021	62.979	55.912	27.312	84.584	64.934	75.534	71.502	54.273	50.487	64.036	726.376	
BM Tehuelche	9.726	6.637	6.001	5.262	606	5.915	6.799	5.894	5.530	3.553	1.635	1.343	58.901	
Laguna N° 1 Egreso	15.815	23.673	19.421	13.352	13.519	33.262	4.412	18.874	24.916	13.907	36.751	17.364	235.266	
Laguna N°4 Ingreso	37.736	38.156	38.271	38.114	41.493	40.128	34.141	31.393	34.340	27.549	11.796	24.491	397.608	
Riego Mallín Largo	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	16.296	
<b>Descarga global a LG4</b>	<b>63.277</b>	<b>68.466</b>	<b>63.693</b>	<b>56.728</b>	<b>55.618</b>	<b>79.305</b>	<b>45.352</b>	<b>56.161</b>	<b>64.786</b>	<b>45.009</b>	<b>50.182</b>	<b>43.198</b>	<b>691.775</b>	

**Cuadro 6.1** Procesos de desagote y recirculación de efluentes con posterior aporte a reservorio LG4.

Pero de estos caudales erogados, debe tomarse en cuenta, el caudal que es utilizado para abastecer las operaciones de laboreo subterráneo, perforación de sondeo entre otros, contemplando rangos que se mantienen entre 10.000 y 15.000 m<sup>3</sup>/mes, con un máximo de 49.000 m<sup>3</sup>/mes (jul.20) en la recirculación de la veta Frea; a manera global, Frea recircula 180.151 m<sup>3</sup>/año, Kospi cuenta con un valor de 150.986 m<sup>3</sup>/año, y en la recirculación de relleno de mina se observan valores de que han variado entre 2 y 21 % (1.214 a 10.800 m<sup>3</sup>/mes), para el global en el año evaluado de 30.888 m<sup>3</sup>/año, muy inferior a lo consumido por las recirculaciones del conjunto Frea + Kospi.



**Figura 6.3** Caudal erogado de las vetas Frea + Kospi y Tehuelche.

De esta forma, conociendo el caudal de recirculación que es asumido por dichas operaciones, y restándolo al caudal erogado de Frea, se cuenta con el aporte que genera el sistema Kospi en 722.608 m<sup>3</sup>/año que es dirigido por canales impermeabilizados, pasan por un sistema de lagunas de decantación, y posteriormente son conducidos al reservorio LG4. Debe mencionarse que en la laguna de sedimentación del sistema Kospi, se realiza una nueva toma para satisfacer las necesidades de agua industrial de las operaciones de sondeos de perforación y de control de polvo. Finalmente, el caudal que ingresa a LG4 proveniente del sistema Kospi (con la deducción antes mencionada), ascendió a 397.608 m<sup>3</sup> en el período analizado.



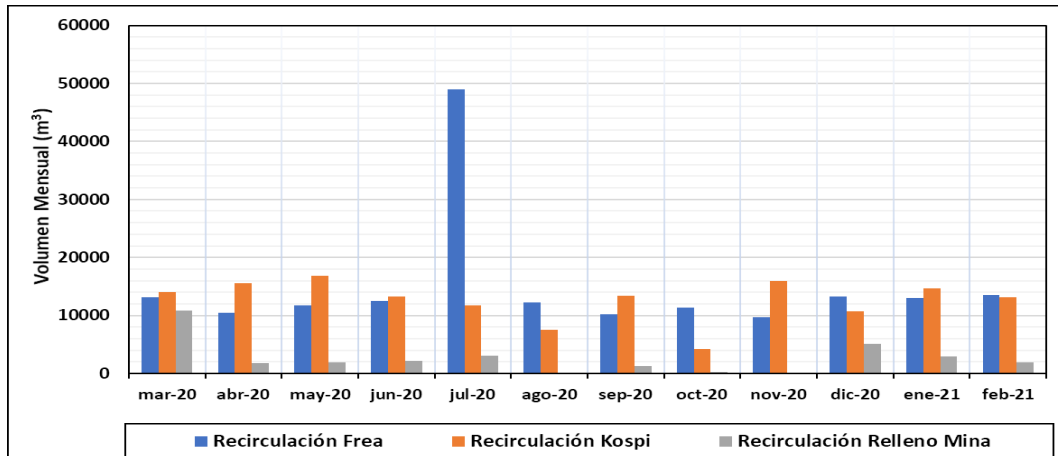


Figura 6.4 Recirculación de caudales erogados por operaciones de laboreo minero en las vetas.

Cuando las caudales erogados superan la capacidad de la bomba de desagote, estos pasan por rebalse hacia la laguna 1 (LG1), reservorio de transición, que colecta pluvial al ser un bajo topográfico y conjuntamente es redireccionado nuevamente al reservorio LG4 (nótese que siempre quedará un remanente entre el reservorio LG1 y las lagunas de sedimentación) con un aporte de 233.678 m<sup>3</sup>/año ver Figura 6.5, de manera general se observan que el aporte de los efluentes erogados de las bocamina, mantienen un valores superiores a los 50.000 m<sup>3</sup>/mes, y que para el periodo a evaluar han totalizado un aporte al reservorio LG4 cercano a los 691.775 m<sup>3</sup>/año, pudiendo observar que entre agosto y septiembre se tienen los mayores caudales erogados del periodo.

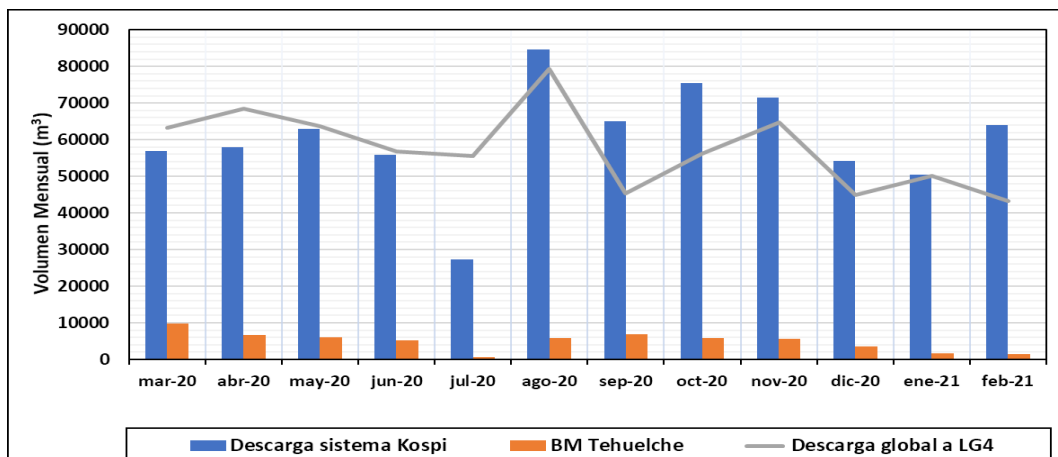


Figura 6.5 Descarga del sistema Kospi (efluentes erogados de Frea) hacia el reservorio LG4.

En este orden de ideas, entre los días 17 y 18 de abril del 2021 se ha realizado una cuantificación puntual por medición de caudales (Aforo) de la conducción de agua de las bocamina, por medio de un ADV (Acoustic Doppler Velocimeter). Los resultados, mostrados en el Cuadro 6.2 y Cuadro 6.3, presentan una caudal de 44,8 l/s para el canal de la bocamina Frea (sistema Kospi) y 1,0 l/s para la bocamina Tehuelche. La Figura 6.6 y Figura 6.7 presentan imágenes de las tareas realizadas.

<b>Canal Boca de Mina</b>													
<b>Resumen de aforo</b>										Datos generados: Wed May 12 2021			
<b>Información de fichero</b>					<b>Detalles del punto de aforo</b>								
Nombre del fichero		20210417.001.wad			Nom. del punto de aforo			Operadores					
Fecha y hora de inicio		2021/04/17 18:01:05											
<b>Información del sistema</b>					<b>Unidades técnicas</b>			<b>Incertidumbre del aforo</b>					
Tipo de sensor		FlowTracker			<b>(Metrico)</b>			<b>Categoría</b>		<b>ISO</b>		<b>Estadística</b>	
Número de serie #		p71			Distancia			m		Precisión		1.0% 1.0%	
Versión de CPU		2.3			Velocidad			m/s		Calado		0.6% 0.0%	
Versión de software		2.30			Área			m <sup>2</sup>		Velocidad		1.9% 7.2%	
Factor de corrección montaje		0.0%			Caudal			m <sup>3</sup> /s		Ancho		0.2% 0.2%	
<b>Resumen</b>													
Int. de promediado		60			# Estaciones			10					
Margen de inicio		Mizq			Ancho total			0.680					
SNR promedio		26.7 dB			Área total			0.080					
Temp promedio		20.77 °C			Calado medido			0.117					
Ecuac. Caudal		Área central			Velocidad media			0.5622					
					<b>Caudal total</b>			<b>0.0448</b>					
<b>Resultados de la medida</b>													
St	Reloj	PtoAfo	Metodo	Calado	%Calado	CalMed	V	FactCorr	Vmedia	Area	Caudal	%Q	
0	18:01	0.00	Ninguno	0.000	0.0	0.000	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0	
1	18:01	0.01	0.6	0.120	0.6	0.048	0.6257	1.00	0.6257	0.006	0.0038	8.4	
2	18:02	0.10	0.6	0.120	0.6	0.048	0.6540	1.00	0.6540	0.011	0.0074	16.6	
3	18:03	0.20	0.6	0.120	0.6	0.048	0.6405	1.00	0.6405	0.012	0.0077	17.1	
4	18:07	0.30	0.6	0.120	0.6	0.048	0.7034	1.00	0.7034	0.012	0.0084	18.8	
5	18:08	0.40	0.6	0.120	0.6	0.048	0.6782	1.00	0.6782	0.012	0.0081	18.1	
6	18:09	0.50	0.6	0.120	0.6	0.048	0.6895	1.00	0.6895	0.012	0.0083	18.4	
7	18:10	0.60	0.6	0.120	0.6	0.048	0.1174	1.00	0.1174	0.010	0.0011	2.5	
8	18:16	0.66	0.6	0.120	0.6	0.048	-0.0030	1.00	-0.0030	0.005	0.0000	0.0	
9	18:16	0.68	Ninguno	0.000	0.0	0.000	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0	

Filas en caracteres itálicos indica aviso de control de calidad. Consulta la información de control de calidad.

**Cuadro 6.2** Aforo de caudales a la salida de la Bocamina Frea.



**Figura 6.6** Sección aforada y procedimiento de aforo a la salida de la Bocamina Frea.

Resumen de aforo													
Información de fichero										Detalles del punto de aforo			
Nombre del fichero		20210418.002.wad								Nom. del punto de aforo			
Fecha y hora de inicio		2021/04/18 11:45:40								Operadores			
Información del sistema				Unidades técnicas (Métrico)				Incertidumbre del aforo					
Tipo de sensor		FlowTracker		Distancia		m		Categoria		ISO		Estadística	
Numero de serie #		p71		Velocidad		m/s		Precision		1.0%		1.0%	
Version de CPU		2.3		Area		m^2		Calado		2.3%		12.1%	
Version de software		2.30		Caudal		m^3/s		Velocidad		94.2%		258.3%	
Factor de corrección montaje		0.0%						Ancho		0.8%		0.8%	
								Metodo		11.5%			
								# Estaciones		9.4%			
								<b>Total</b>		<b>95.4%</b>		<b>258.5%</b>	
Resumen													
Int. de promediado		60		# Estaciones		6							
Margen de inicio		Mizq		Ancho total		0.250							
SNR promedio		19.3 dB		Area total		0.015							
Temp promedio		10.76 °C		Calado medido		0.060							
Ecuac. Caudal		Area central		Velocidad media		0.0595							
				<b>Caudal total</b>		<b>0.0010</b>							
Resultados de la medida													
St	Reloj	PtoAfo	Metodo	Calado	%Calado	CalMed	V	FactCorr	Vmedia	Area	Caudal	%Q	
0	11:43	0.00	Ningunc	0.000	0.0	0.000	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0	
1	11:45	0.05	0.6	0.080	0.6	0.032	0.0001	1.00	0.0001	0.004	0.0000	0.0	
2	11:47	0.10	0.6	0.080	0.6	0.032	0.2436	1.00	-0.2436	0.004	0.0010	109.1	
3	11:48	0.15	0.6	0.080	0.6	0.032	0.1811	1.00	0.1811	0.004	0.0007	-81.1	
4	11:50	0.20	0.6	0.060	0.6	0.024	0.2148	1.00	-0.2148	0.003	0.0006	72.0	
5	11:50	0.25	Ningunc	0.000	0.0	0.000	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0	
Filas en caracteres italicos indica aviso de control de calidad. Consulta la información de control de calidad.													

Cuadro 6.3 Aforo de caudales a la salida del canal Bocamina Frea e ingreso a reservorio LG4.



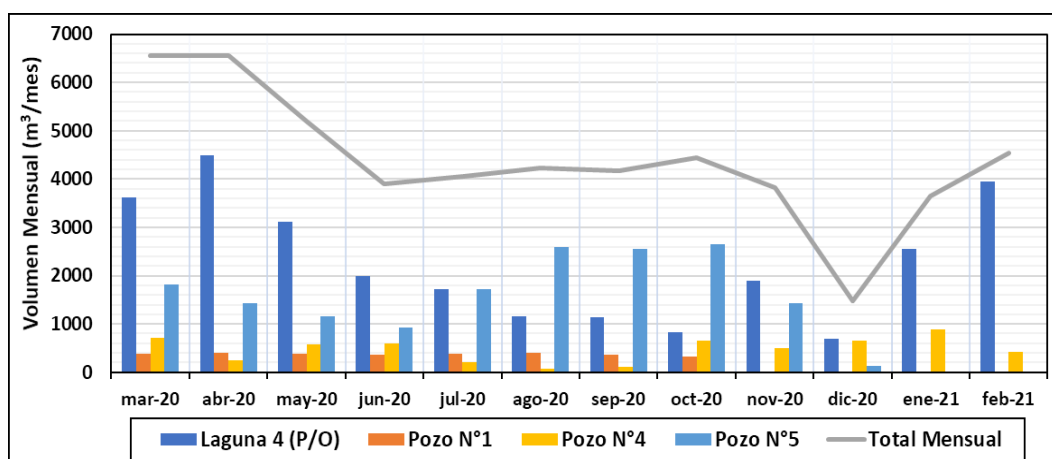
Figura 6.7 Sección aforada, salida del canal de Bocamina Tehuelche en la entrada a reservorio LG4.

### 6.1.2 Agua de campo de pozos

El abastecimiento de agua para consumo humano proviene del campo de pozos, ubicado al Sureste de la planta, estando actualmente en producción Pozos N° 4 y N° 5, y en mantenimiento el Pozo N° 1. Para el período analizado, se registraron los siguientes volúmenes: Pozo N° 5, 16.389 m<sup>3</sup>/año (en mantenimiento durante ene y feb 21); Pozo N° 4, 5.671 m<sup>3</sup>/año; y el Pozo N° 1, 3.011 m<sup>3</sup>/año (activo hasta oct.20). El agua es bombeada y almacenada en un tanque (TK verde), a partir del cual se abastece a la planta potabilizadora que, ente necesidades, recibe agua del reservorio de LG4 (previamente tratada en planta de ósmosis inversa). Desde el TK verde, el agua es distribuida según necesidad de consumo entre campamento, comedor, laboratorios, oficinas y toda la red de agua de consumo del resto de las instalaciones (Cuadro 6.4 y Figura 6.8).

Abastecimiento	2020										2021		Total año (m <sup>3</sup> /año)
	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	ago-20	sep-20	oct-20	nov-20	dic-20	ene-21	feb-21	
Laguna 4 (P/O)	3626.3	4482.5	3106.9	1995.9	1720.7	1164.8	1143.4	822.2	1900.6	697.7	2557.0	3956.0	27174.0
Pozo N°1	387.4	396.3	374.9	371.0	389.7	403.3	371.4	317.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3011.1
Pozo N°4	721.8	250.6	572.3	600.1	215.1	72.8	117.7	656.2	498.4	655.1	891.0	420.0	5671.2
Pozo N°5	1826.5	1421.3	1150.1	928.7	1722.6	2588.0	2544.4	2643.5	1431.3	132.9	0.0	0.0	16389.4
<b>Total Mensual (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>6562.0</b>	<b>6550.7</b>	<b>5204.3</b>	<b>3895.7</b>	<b>4048.0</b>	<b>4228.9</b>	<b>4177.0</b>	<b>4438.9</b>	<b>3830.3</b>	<b>1485.8</b>	<b>3651.0</b>	<b>4537.0</b>	<b>52245.6</b>

**Cuadro 6.4** Consumo de agua campo de pozo para potabilización.



**Figura 6.8** Consumo de agua por fuentes de aporte para potabilización UMSJ.

La información analizada, permite observar la compensación que se realiza al consumo de agua potable entre los campos de pozos y el agua proveniente de LG4. Cuando por diversas condiciones se reduce el caudal de aporte de los pozos, pasa a jugar un rol importante el aporte de la planta de ósmosis, alcanzando más del 80% de volumen requerido (feb.21). Globalmente, para el año evaluado, se presenta un consumo total de 52.246 m<sup>3</sup>/año, con un aporte de agua subterránea por explotación de pozos de 25.072 m<sup>3</sup>/año (48%) y una compensación del reservorio LG4 de 27.174 m<sup>3</sup>/año (52%).

### 6.1.3 Agua de proceso industrial del sistema

La fuente vinculada con la recirculación de agua del sistema comprende principalmente el agua de proceso que es recuperada del espesador de relaves “EDR” (primera recuperación) del dique de colas y finalmente de la planta de recuperación de aguas “PRA”. Esta última, con sistema de recuperación centrifuga, generando dos productos: un relave con 30% de humedad que termina en el dique, y agua limpia que se reincorpora al sistema.

Asimismo, dentro del dique de relaves existe una laguna de acumulación, donde la planta tiene una bomba que es usada para satisfacer procesos de planta, ingresando nuevamente al sistema como agua recuperada.

El agua procedente del tratamiento de efluentes domésticos de campamentos es tratada en la planta depuradora, con descarga a un tanque australiano, y posteriormente es bombeada a la laguna de acumulación del dique de relaves, para complementar el proceso de recuperación ver Cuadro 6.5 y Figura 6.9.

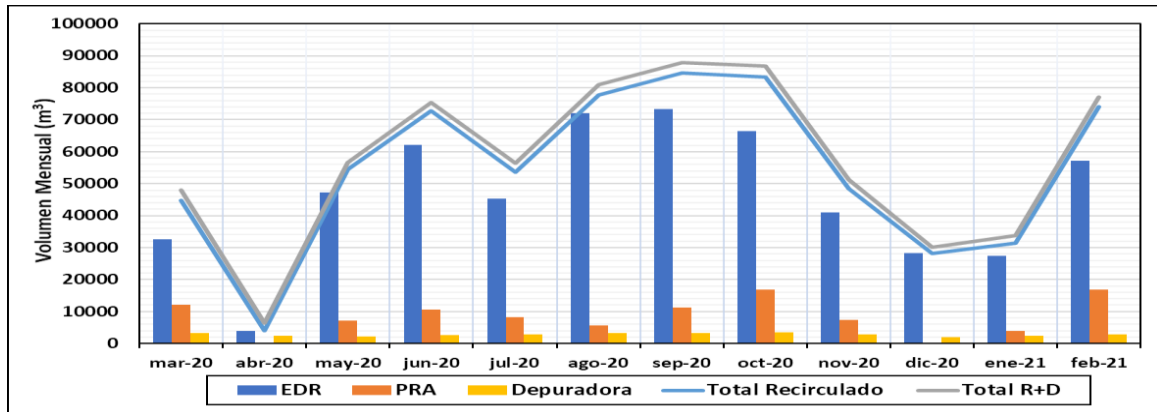
Proceso	2020											2021		Total general (m <sup>3</sup> /año)
	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	ago-20	sep-20	oct-20	nov-20	dic-20	ene-21	feb-21		
EDR	32.660	3.961	47.321	62.218	45.398	71.951	73.431	66.493	41.040	28.179	27.484	57.203	716.107	
PRA	12.171	11	7.130	10.611	8.171	5.715	11.249	16.923	7.438	8	3.859	16.948	144.785	
<b>Total Reciclado</b>	<b>44.831</b>	<b>3.972</b>	<b>54.451</b>	<b>72.829</b>	<b>53.569</b>	<b>77.666</b>	<b>84.680</b>	<b>83.416</b>	<b>48.478</b>	<b>28.187</b>	<b>31.343</b>	<b>74.151</b>	<b>860.892</b>	
Depuradora	3.209	2.331	2.248	2.572	2.893	3.232	3.241	3.441	2.846	1.978	2.363	2.910	33.264	
<b>Total R+D</b>	<b>48.040</b>	<b>6.303</b>	<b>56.699</b>	<b>75.401</b>	<b>56.462</b>	<b>80.898</b>	<b>87.921</b>	<b>86.857</b>	<b>51.324</b>	<b>30.165</b>	<b>33.706</b>	<b>77.061</b>	<b>894.156</b>	

EDR: Espesador de relaves PRA: Planta Recuperación de agua R+D: Reciclado + Depuradora

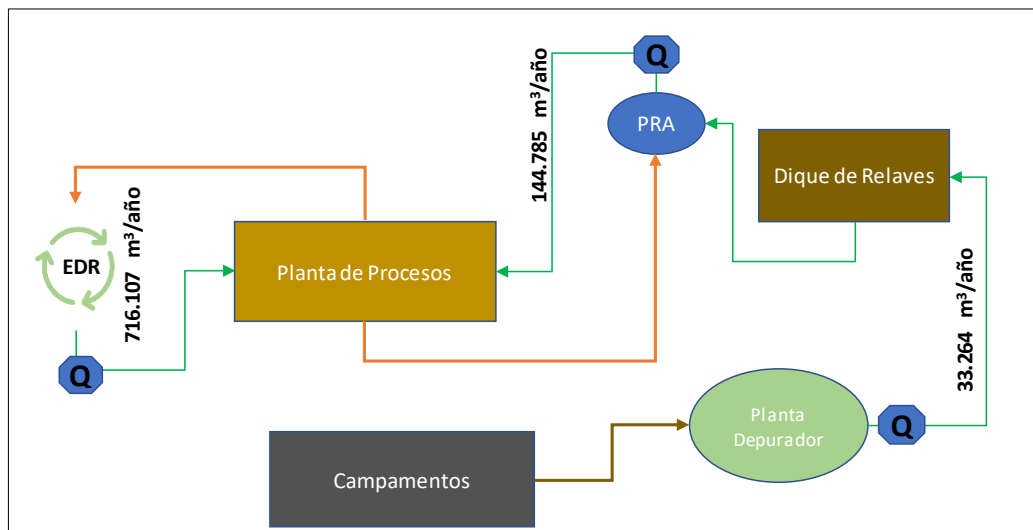
**Cuadro 6.5** Recirculación de agua en el proceso de planta contemplando el aporte de la planta depuradora.

De esta forma, durante el procesamiento mineral, se recupera en el espesador de relaves 716.107 m<sup>3</sup>/año; que es usada como agua de proceso. En cuanto a la recuperación de PRA, cuenta con 144.785 m<sup>3</sup>/año, y desde el dique de relaves, se estima una recuperación aportada por la planta depuradora de 33.264 m<sup>3</sup>/año, esta última agua es reciclada y enviada a través de una bomba al circuito de agua de proceso.

El porcentaje de recuperación de agua en la planta al año se encuentran entre máximos de 92,1 %, mínimos de 40 % (valores que coinciden con las paradas de planta para servicio y mantenimiento) generando un promedio de 71.4 % para una recirculación de aguas durante el periodo evaluado de 894.156 m<sup>3</sup>/año.



**Figura 6.9** Recirculación de agua de procesos y aporte de planta depuradora a dique de relaves.



**Figura 6.10** Esquema de agua de proceso. Balance anual.

## 6.2 Reservoirio Laguna 4 (LG4)

Descrito dentro de los incisos anteriores, el reservorio LG4 cuenta con el objetivo de acumular el agua de las salidas de las bocamina, como también aportar agua para los diversos procesos que se generan dentro de la UMSJ, estando todos ellos (entradas y salidas del sistema) cuantificados por medio de caudalímetros. Por su parte, existen otros procesos naturales que también intervienen en el sistema LG4, como lo son el ingreso de agua de lluvia y la salida por evaporación e infiltración. Estas últimas cuantías, fueron inferidas indirectamente a través de análisis de registros meteorológicos y ensayos de infiltración realizados sobre el lecho.

### 6.2.1 Batimetría reservorio LG4

Se realizó el diagrama de trayectorias de la embarcación a fin de obtener la cantidad de puntos suficientes que permita su posterior procesamiento de forma correcta y tomando como base el sistema de referencia POSGAR 2007, faja 2 y GEOIDE AR-16 (IGN), con el cual se representan los relevamientos fotogramétricos del reservorio LG4, adicional a esto se tomó un punto de referencia en la boca de toma de LG4.



**Figura 6.11** Punto de referencia topográfico en la boca de toma del reservorio LG4.

El inicio de actividades se dio con el relevamiento topobatimétrico en el área del reservorio LG4, el día 17/04/21, con GPRS Trimble Rs9 y Rs2 diferencial en forma dinámica, utilizando como base fija el SARM ubicado en la ciudad de Sarmiento-Chubut. Las actividades continuaron con la medición de profundidades del cuerpo de agua navegando sobre trazas predefinidas, con ADCP, y relevando el perilago de la laguna y un contorno externo a esta donde se encontraron rastros de máxima cota del nivel de aguas ver Figura 6.12.



Figura 6.12. Relevamiento topobatimétrico reservorio LG4.

De esta forma, se obtuvieron datos para generar curvas de nivel cada medio metro, desarrollando un modelo de elevación del terreno (MDT), y posteriormente, integrándolo con la información del relevamiento fotogramétrico (MSC-004-LG4-002) para comprobar la integridad y su correcta correspondencia entre curvas de nivel, siendo la mínima 511 m (IGN). De esta forma se generó la curva Cota-Volumen hasta 511 m, con una cota de pelo de agua al momento del relevamiento de 510,116 m (curva color cian de la Figura 6.13). La ecuación generada, con un ajuste  $R^2=1$ , se presenta a continuación, dando como resultados valores dentro del dominio de la ecuación volumétrica según lo expresado en Figura 6.14.

$$\text{Vol.} = 266,58048112 * \text{cota}^4 - 542.274,46321243 * \text{cota}^3 + 413.661.182,447891 * \text{cota}^2 - 140.246.252.194,822 * \text{cota} + 17.830.859.674.082,4$$

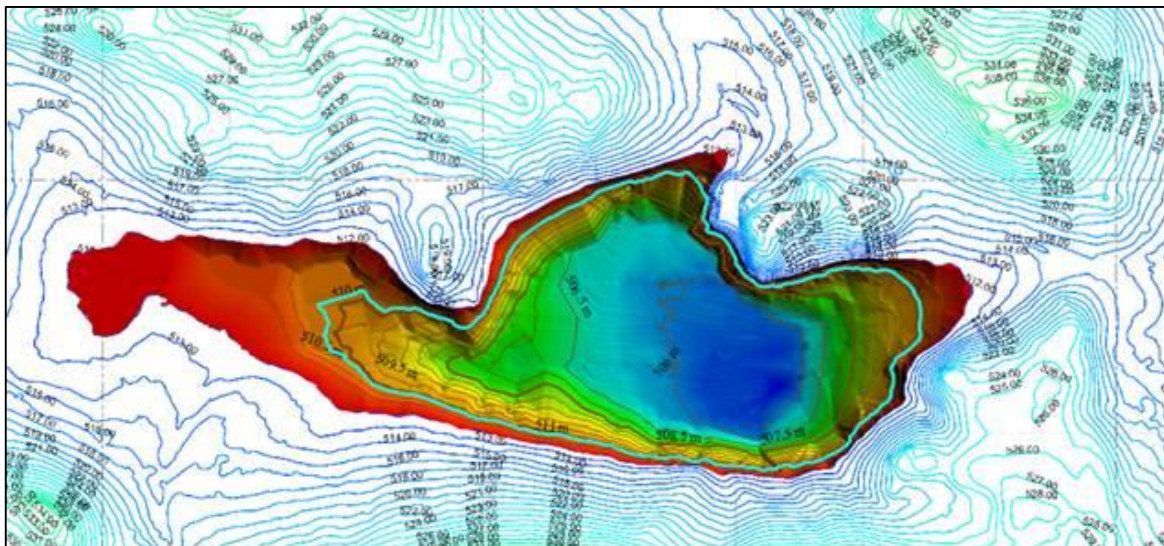


Figura 6.13 Modelo de elevación del terreno integrado a relevamiento fotogramétrico del reservorio LG4.

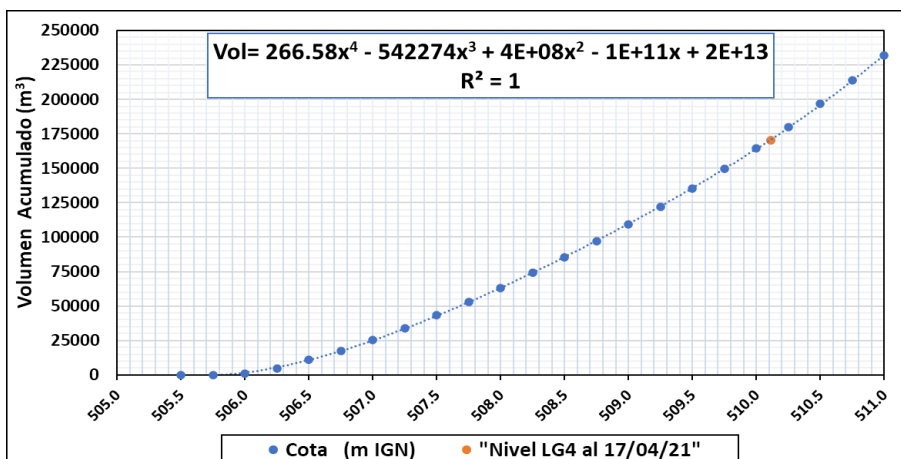


Figura 6.14 Curva de tendencia volumétrica (polinómica) con respecto a la cota evaluada.

Del proceso matemático generado del levantamiento batimétrico, se concluye que con una cota de 510,116 m para el día 17/04/2021, el reservorio LG4 contaba con un volumen de agua 170.457,57 m<sup>3</sup>, mediante el cual se realizaran las relaciones del balance hídrico de la UMSJ.

### 6.2.2 Infiltración reservorio LG4

Se realizaron 4 ensayos de infiltración siguiendo los lineamientos de la Norma ASTM D3385-03, para la determinación de velocidad de infiltración se dispuso de un infiltrómetro de doble anillo (tipo Kamenskii) operado a carga constante, resolviéndose los ensayos por el método de Kostiakov (infiltración básica), tanto de manera analítica como gráfica, representando las velocidades parciales (ordenadas) en función del tiempo (abscisas) y tomando como infiltración básica la que corresponde al tramo de curva asintótico al eje del tiempo.

La ecuación básica de Kostiakov es:

$$I = k * t^n$$

Donde:

I: Infiltración básica.

k: infiltración durante el intervalo inicial

t: Tiempo.

n: reducción temporal de la velocidad de infiltración.

$$\log k = \frac{\sum \log I}{N} - \frac{n * \sum \log t}{N}$$

$$n = \frac{\sum (\log I * \log t) - \frac{(\sum \log t) * (\sum \log I)}{N}}{\sum (\log t)^2 - \frac{(\sum \log t)^2}{N}}$$

De acuerdo con los valores obtenidos del procesamiento de los datos, se obtiene valores de velocidad de infiltración según la unidad ensayada que oscilan entre 0,004 y 0,029 cm/h, haciéndose asintótica con el eje del tiempo. Ver Figura 6.15, Cuadro 6.6.

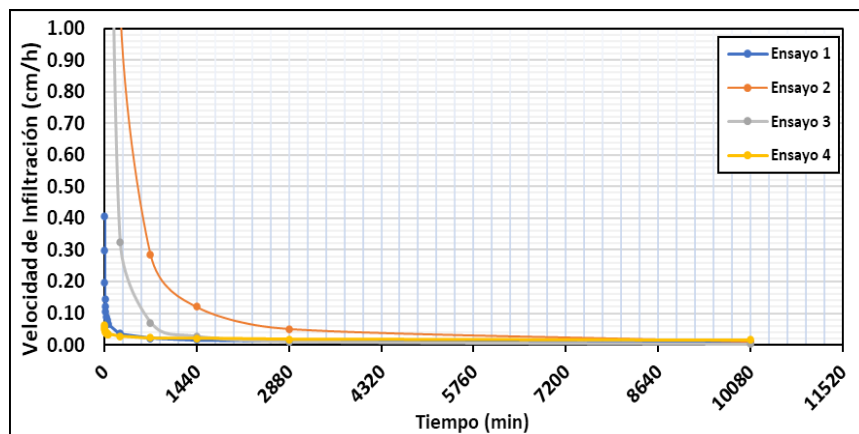


Ensayo	Velocidad Infiltración (m/d)	n	k	Descripción
1	0.004	-0.4	0.4	Lecho arcillo-limoso
2	0.029	-1.3	1080.0	Barra arenosa
3	0.006	-1.4	677.0	Lecho limo arcilloso
4	0.005	-0.2	0.1	Lecho arcillo-limoso

**Cuadro 6.6** Parámetros calculados para los ensayos de infiltración del reservorio LG4.

Particularmente, al ser un reservorio artificial, se evidencian diversas unidades (litológicas y suelos) en el lecho de este, principalmente, componiendo el sustrato se observan facies arcillo limosas a limo arcillosas, con saturación variada y de ligeramente plásticas a muy plásticas con visible compactación para las que se encuentran más alejadas de la playa de abandono del reservorio.

A su vez, se observaron barras de abandono de playa de arena gruesa producto de oleaje y retroceso del cuerpo acuático, entre estas se ensayó un cuerpo con geometría de barra contando con desarrollo de 32 cm sin observar infra yaciendo a este, facies arcillo limosas características del sustrato de la laguna. El ensayo realizado sobre esta unidad (ensayo 2) presentó alta tasa de infiltración, completando el ensayo a muy alta velocidad. Este cuerpo se observa en toda la sección de abandono de playa del reservorio.



**Figura 6.15** Curvas de velocidad de infiltración en lechos del reservorio LG4.



**Figura 6.16** Ensayos de infiltración. Izquierda ensayo 3, derecha ensayo 4.

### 6.3 Consumo de agua de la UMSJ

Los requerimientos de agua de la UMSJ se vinculan principalmente con volúmenes requeridos por las siguientes instalaciones:

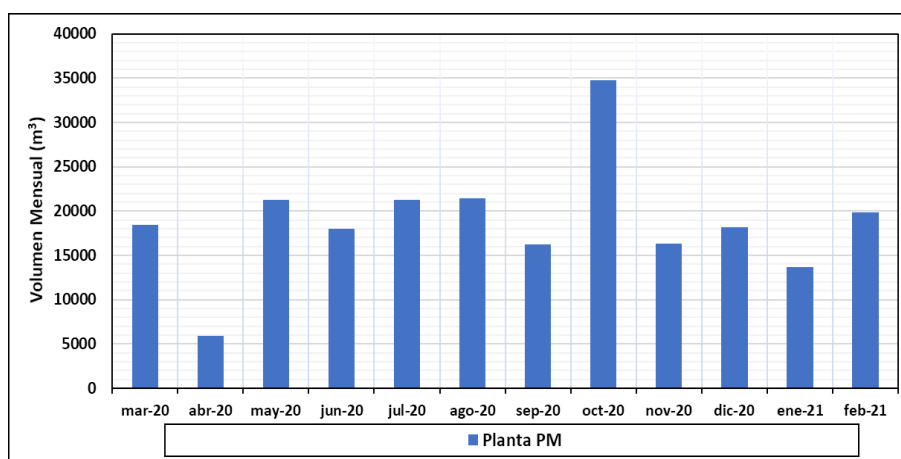
- *Agua Industrial* - Planta de Procesos.
- *Agua Potable* - Campamentos: Campamento principal y Campamento laguna 1.

#### 6.3.1 Planta de Procesos

Basados en la información proporcionada por MSC S.A., y para el período de análisis, la UMSJ ha requerido un caudal de renovación variable del orden de los 18.800 m<sup>3</sup>/mes de agua industrial para satisfacer las actividades de la planta de procesamiento mineral, volumen que ha variado en el transcurso del año, observado consumos mínimos de 5.868 m<sup>3</sup>/mes (coincidentes con la parada de planta) y máximos de 34.801 m<sup>3</sup>/mes. Entre mar.20 y feb.21, se totalizó un consumo global de 225.256 m<sup>3</sup>/año de agua industrial, adicional a los caudales de recirculación que se trataron precedentemente. El Cuadro 6.7 y Figura 6.17 muestran el detalle mensual de los consumos.

Proceso	2020											2021		Total Anual (m <sup>3</sup> /año)
	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb		
Planta PM	18.404	5.868	21.236	17.990	21.299	21.470	16.206	34.801	16.359	18.138	13.672	19.813	225.256	

**Cuadro 6.7** Consumo de agua industria Planta de procesamiento Mineral (PM).



**Figura 6.17** Consumo de agua industria Planta de procesamiento Mineral (PM)

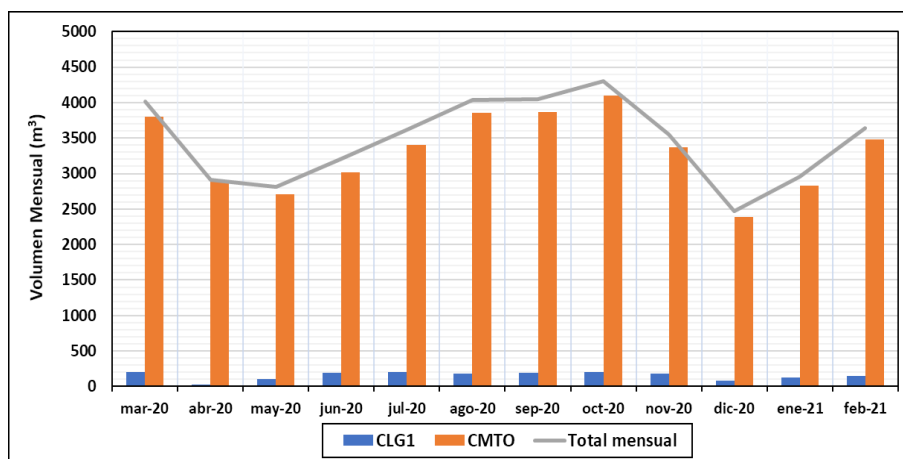
#### 6.3.2 Campamentos

La UMSJ opera dos campamentos: Campamento Principal (CMTO) y Campamento laguna 1 (CLG1). En ambos casos, la demanda de agua con calidad apta para uso humano (calidad potable) está concentrada principalmente en los comedores, habitaciones y oficinas. Los registros muestran un consumo promedio de 3.465 m<sup>3</sup>/mes, observando mínimos de 2.473 m<sup>3</sup>/mes y máximos de 4.301 m<sup>3</sup>/mes, acumulando en el período de análisis un volumen de 41.580 m<sup>3</sup>, tal como se muestra en el Cuadro 6.8 y en la Figura 6.18.

Proceso	2020											2021		Total Anual (m <sup>3</sup> /año)
	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb		
CLG1	205,8	25,1	101,7	193,5	208,4	181,1	188,0	201,0	182,0	81,0	129,0	153,0	1.849,7	
CMT0	3.805,7	2.889,2	2.708,8	3.021,0	3.407,5	3.859,0	3.863,0	4.100,0	3.375,0	2.392,0	2.825,0	3.484,0	39.730,2	
<b>Total mensual (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>4.011</b>	<b>2.914</b>	<b>2.810</b>	<b>3.215</b>	<b>3.616</b>	<b>4.040</b>	<b>4.051</b>	<b>4.301</b>	<b>3.557</b>	<b>2.473</b>	<b>2.954</b>	<b>3.637</b>	<b>41.580</b>	

**Cuadro 6.8** Consumo de agua potable en Campamentos de UMSJ.

Toda el agua requerida es tratada en una planta potabilizadora, que cuenta con ingresos de agua de pozos (proveniente del TK verde) y agua proveniente del reservorio LG4 (previamente tratada en la planta de osmosis inversa). La planta potabilizadora, genera un caudal de rechazo que es dirigido hacia el TK rojo, el cual acumula agua de uso industrial.



**Figura 6.18** Consumo de agua potable en campamentos UMSJ.

## 7 CIRCUITO DEL AGUA

Descritas las necesidades de abastecimiento de agua para uso industrial y potable de la UMSJ, que es demandada en la planta de proceso y campamentos respectivamente, versus las fuentes disponibles, se ha realizado un balance de agua para el periodo marzo 2020 a febrero 2021, en virtud de las variaciones producto del avance del plan minero, ocupación de campamentos y capacidad de producción de la planta de procesos.

Se han considerado las siguientes premisas para representar los diagramas de flujo de agua resultantes:

- El abastecimiento del caudal de agua fresca industrial para las actividades operativas del proyecto es cubierto principalmente por el desagüe de las labores mineras (bocamina), y por el reciclado de agua obtenida desde el dique de relaves, espesadores y de la planta de recuperación de agua (PRA).
- De igual forma, el abastecimiento del caudal de agua fresca potable para consumo de campamentos es cubierto principalmente por agua subterránea del campo de pozos, y compensando cuando existe déficit, con agua del reservorio LG4 previo tratamiento en planta de osmosis inversa y posteriormente planta potabilizadora.
- El agua de efluentes domésticos es tratada en planta depuradora y la descarga es enviada a un tanque australiano a partir del cual se bombea al dique de relaves, donde es usada en PRA para pequeños procesos de lavado e ingresa al sistema nuevamente como agua recuperada.
- Está monitoreada la recirculación de agua del sistema en todas las operaciones que así lo permitan. Con un porcentaje de recuperación de agua en la planta de procesos (espesadores y PRA) del 76 %, equivalente a 54.798 m<sup>3</sup>/mes promedio y un total de 860.892 m<sup>3</sup>/año para el período analizado.
- Las condiciones del reservorio LG4 han sido variables en el periodo analizado, con balance positivo de aguas (mayor cantidad de agua al final del periodo). Por medio de una análisis multitemporal de imágenes Sentinel, se clasificaron las cotas de altura del nivel de agua por fechas puntuales según disponibilidad y realizando la equivalencia de volúmenes según la ecuación expresada en el apartado 6.2.1 y la fotogrametría entregada por MSC S.A. Siendo mar.20 el menor nivel registrados con Cota de 507,5 msnm, equivalente a un volumen de 43.111 m<sup>3</sup> y el cierre del ciclo evaluado cuenta con una cota de 510,5 msnm y un volumen de 196.192 m<sup>3</sup> para feb.21.
- Se estima una pérdida promedio del 2% del volumen de agua mensual por evaporación sobre el espejo de agua del Reservorio LG4 durante el periodo evaluado, con un total de 40.778 m<sup>3</sup>/año como se expresan en el Cuadro 7.1.
- De igual forma, se calcularon las perdidas indirectas por infiltración en la superficie del reservorio de 3.021 m<sup>3</sup>/año (promedio de 0,18% mensual en volumen), tomando en cuenta los resultados de los ensayos de infiltración realizados.
- Se calculó el aporte de agua por precipitación directa en la superficie del reservorio alcanzando un valor de 6.696 m<sup>3</sup>/año, siendo este valor mayor si se evalúa en dato nival.

Periodo	Espejo de agua dimensiones aprox.		Evaporación (m <sup>3</sup> /mes)	Infiltración (m <sup>3</sup> /mes)	Precipitación (m <sup>3</sup> /mes)
	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )			
mar-20	46.563	73.586	2.792,4	164,7	51,2
abr-20	49.829	95.311	1.163,5	209,0	622,9
may-20	55.104	135.943	566,4	236,7	699,8
jun-20	55.104	135.943	320,0	236,7	771,5
jul-20	55.104	135.943	352,1	236,7	1.564,9
ago-20	55.944	141.406	631,9	236,7	318,9
sep-20	60.147	164.363	1.864,4	261,6	264,6
oct-20	64.462	182.973	3.815,3	275,1	90,2
nov-20	66.720	191.484	6.859,2	283,1	86,7
dic-20	68.044	196.192	7.585,6	293,5	319,8
ene-21	68.044	196.192	7.624,3	293,5	782,5
feb-21	68.044	196.192	7.203,1	293,5	1.122,7
<b>Total (m<sup>3</sup>/año)</b>			<b>40.778,3</b>	<b>3.020,9</b>	<b>6.695,9</b>

**Cuadro 7.1** Procesos de salidas y recargas indirectas en el reservorio LG4.

- El aporte de descarga de efluentes de las vetas Kospi y Frea se estima en 60.531 m<sup>3</sup>/mes promedio y 726.376 m<sup>3</sup>/año, de la veta Huevos Verdes – Tehuelche en 4.908 m<sup>3</sup>/mes y 58.901 m<sup>3</sup>/año.
- La recirculación de agua para operaciones mineras en el sistema Kospi – Frea, se encuentra en 15.013 m<sup>3</sup>/mes y con 180.151 m<sup>3</sup>/año para Frea 1, 12.582 m<sup>3</sup>/mes y 150.986 m<sup>3</sup>/año Frea 2 y con recirculación para relleno de mina en 2.808 m<sup>3</sup>/mes y 30.888 m<sup>3</sup>/año.
- El aporte total por efluentes de minas al reservorio LG4 cuentan con valores promedio de 57.648 m<sup>3</sup>/mes y anual de 691.775 m<sup>3</sup>/año, estando incluido el consumo de operaciones de control de polvo y sondeos en superficie.
- Las condiciones del reservorio LG1 han sido más variables que el reservorio principal en el periodo analizado, con balance positivo de aguas. Sin contar con datos de elevación ni curvas batimétricas de referencia, se realizó un análisis multitemporal de imágenes Sentinel (similar al realizado para LG4), se clasificaron las Áreas superficiales de máxima inundación del nivel de agua mensualmente, realizando la equivalencia de área vs profundidad estimada para obtener volúmenes de referencia (la superficie de referencia es tomada del 06/10/19 del informe Geo Santacruz, se presenta el Anexo III con las superficies interpretadas). Siendo mar.20 el menor nivel registrados con un área aproximada de 1.769 m<sup>2</sup>, equivalente a un volumen aproximado de 531 m<sup>3</sup> y el cierre del ciclo evaluado cuenta con un área de 4.287 m<sup>2</sup> y un volumen de 1.286 m<sup>3</sup> para feb.21 (Cuadro 7.2). Para los meses jun y jul 20 no se cuenta con el dato por nubosidad de imagen, por lo tanto, estas áreas fueron estimadas promediando los meses próximos.
- De igual forma, se calcularon las pérdidas indirectas por infiltración en la superficie del reservorio LG1 de 599 m<sup>3</sup>/año, tomando en cuenta los resultados de los ensayos de infiltración realizados.
- Se calculó el aporte de agua por precipitación directa sobre la superficie del reservorio alcanzando 761 m<sup>3</sup>/año, siendo este valor mayor si se evalúa en dato nival.
- Se estima una pérdida de 7.550 m<sup>3</sup>/año de agua por evaporación sobre el espejo de agua del Reservorio LG1 durante el periodo evaluado (promedio mensual del 14% del volumen de agua acumulada).

Periodo	Espejo de agua dimensiones aprox.		Evaporación (m <sup>3</sup> /mes)	Infiltración (m <sup>3</sup> /mes)	Precipitación (m <sup>3</sup> /mes)
	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )			
mar-20	1.769	531	106,1	7,6	1,9
abr-20	3.389	1.186	79,1	14,6	42,4
may-20	15.334	8.434	157,6	65,9	194,7
jun-20	nevado	9.692			
jul-20	nevado	10.949			
ago-20	22.442	13.465	253,5	96,5	127,9
sep-20	25.573	17.901	792,7	110,0	112,5
oct-20	29.817	20.872	1.764,7	128,2	41,7
nov-20	17.453	10.472	1.794,3	75,0	22,7
dic-20	10.938	6.563	1.219,4	47,0	51,4
ene-21	8.286	3.314	928,4	35,6	95,3
feb-21	4.287	1.286	453,8	18,4	70,7
<b>Total (m<sup>3</sup>/año)</b>			<b>7.549,7</b>	<b>598,9</b>	<b>761,3</b>

**Cuadro 7.2** Procesos de salidas y recargas indirectas en el reservorio LG1 con estimación de áreas y volúmenes.

## 7.1 Diagrama de flujo: ingresos y egresos

Como se observa en la Figura 7.1, se pueden diferenciar el aporte de agua al sistema en función de la calidad y cantidad requerida en dos fuentes:

- Agua fresca para uso industrial (procesos de planta, perforaciones, control de polvo etc.) con requerimiento de caudales elevados y su calidad no requiere que sea potable.
- Agua para consumo humano (consumo e higiene personal, etc.), requiriéndose bajos caudales y calidad apta para consumo humano. Este abastecimiento de da desde los pozos productores, y desde el reservorio LG4, pasando por planta de osmosis inversa en este último caso. Ambas fuentes ingresan y son distribuidas desde la planta potabilizadora.

El desagüe de las vetas de producción de mineral aporta caudales en el orden de 60.000 m<sup>3</sup>/mes hasta obtener 726.376 m<sup>3</sup>/año en el lapso descrito, implicando esto un excedente de agua que será utilizado en todo el proceso operativo.

La recirculación del caudal de las vetas de producción abastece actividades subterráneas, y a la salida del sistema abastecen actividades superficiales complementarias (control de polvo, sondeos).

La recuperación de agua dentro del proceso se genera principalmente en el espesador de relaves (EDR) con un volumen recirculado de 716.107 m<sup>3</sup>/año (promedio de 46.445 m<sup>3</sup>/mes) y en la planta de recuperación de agua (PRA) con 144.785 m<sup>3</sup>/año y 8.353 m<sup>3</sup>/mes. Debe tenerse en cuenta que los consumos mensuales son influenciados por las paradas de planta y actividades de mantenimiento, como se ha expresado previamente.

Para la planta depuradora, se estima un caudal procesado del 80% del consumo de campamento, y el riego del mallín largo se encuentra en 1.358 m<sup>3</sup>/mes según eficiencia y horas de uso de la bomba.

Las actividades operativas superficiales (control de polvo, perforaciones exploratorias, etc.) cuentan con un consumo promedio de 2996 m<sup>3</sup>/mes para un consumo evaluado de 35.948 m<sup>3</sup>/año.

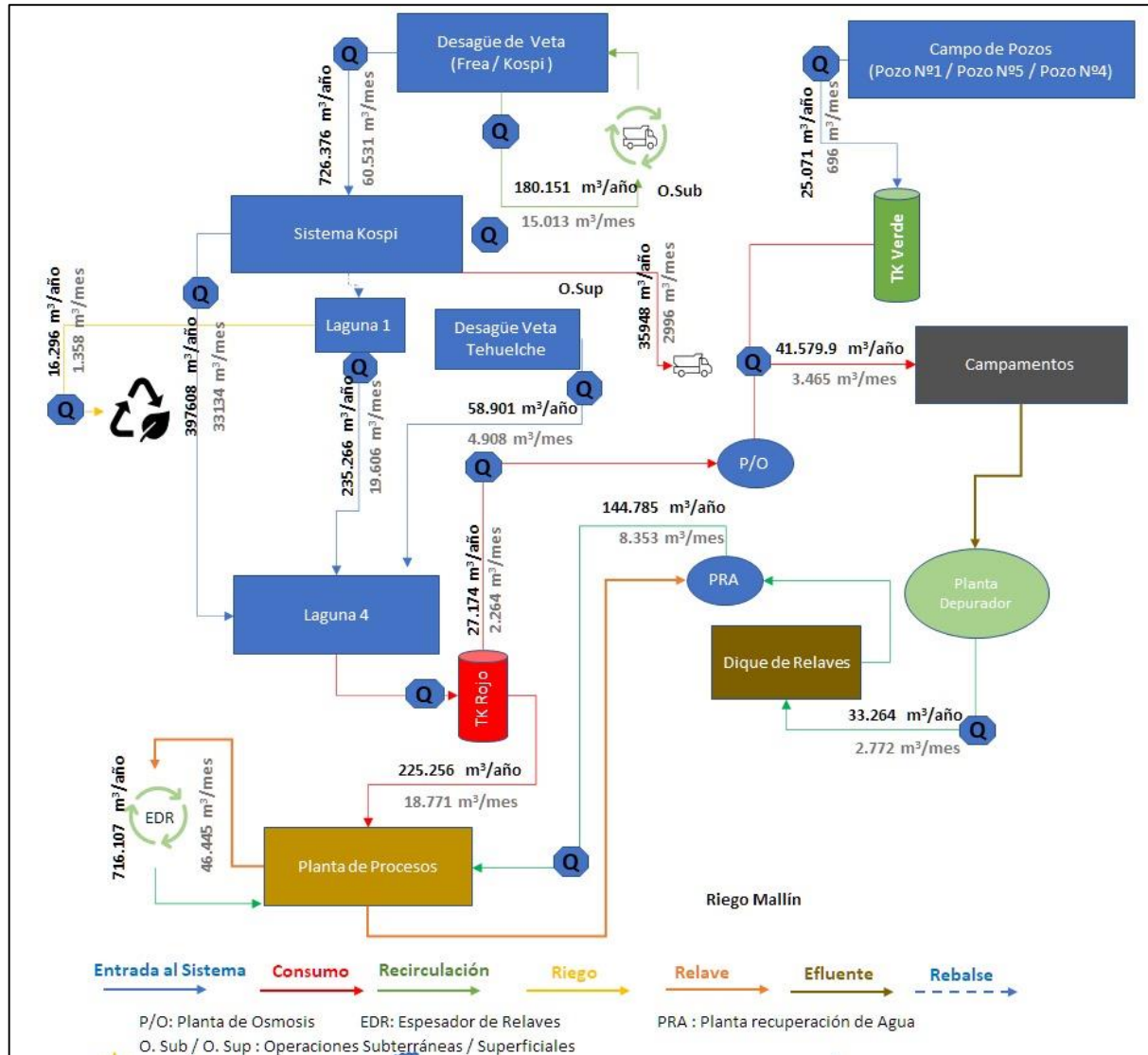


Figura 7.1. Diagrama de flujo para el circuito general del agua en la UMSJ en el periodo mar-20 a feb-21.

Asociado al diagrama anterior, se suman las pérdidas indirectas por infiltración y evaporación del reservorio, y la recarga indirecta de eventos hidrometeorológicos pluviales, ambas son influenciadas por la superficie de afectación variable según el área de inundación presente en cada mes.

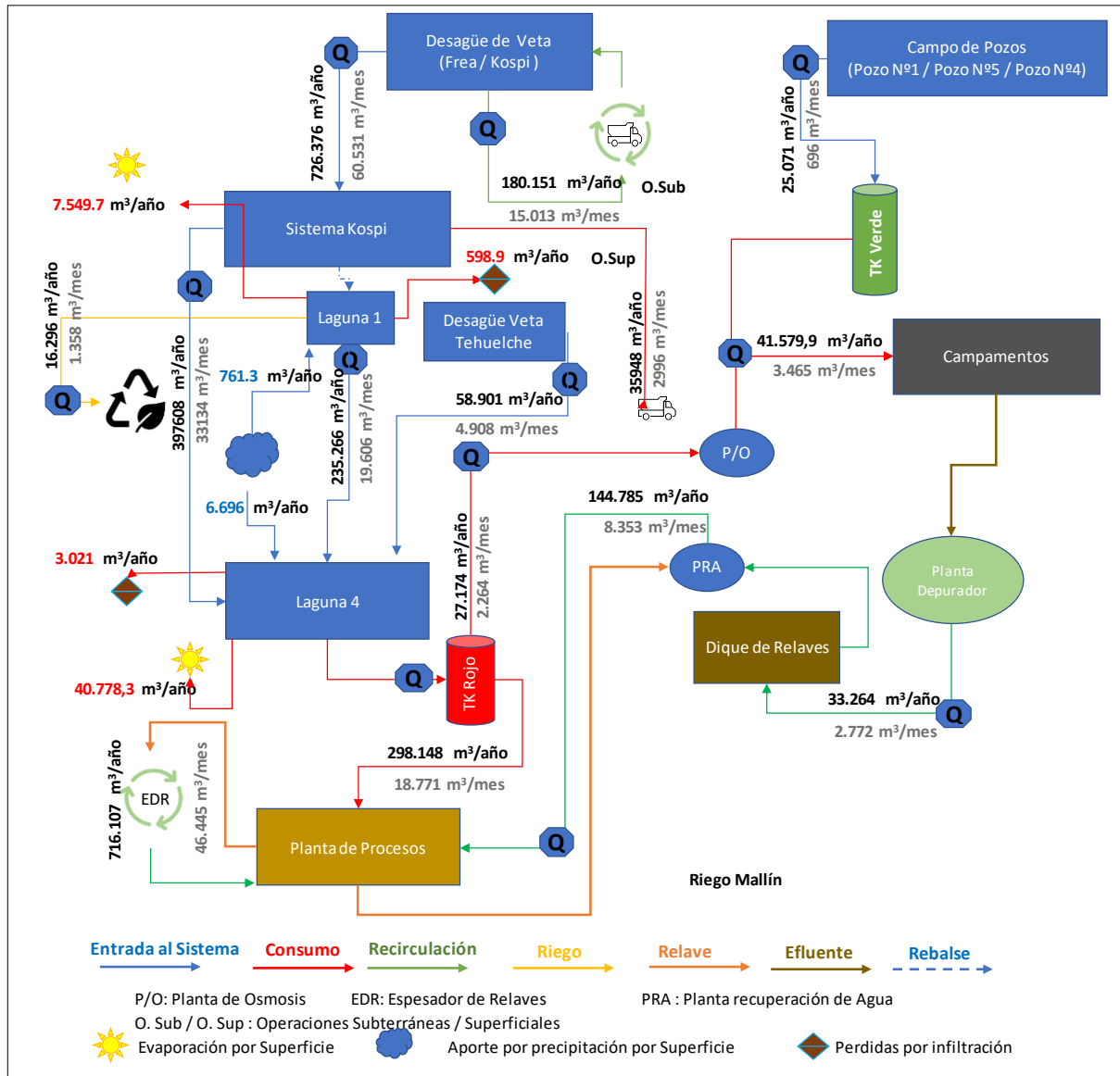


Figura 7.2. Diagrama de flujo para el circuito general del agua en la UMSJ, considerando pérdidas y cargas indirectas.

## 7.2 Balance Hídrico de la Unidad Minera San José.

Descritos cada una de las fuentes, entendiendo el flujograma de manejo de las actividades dependientes de aporte y consumo de aguas, y considerando las pérdidas y cargas indirectas sobre el reservorio LG4, se presenta el balance Hídrico de la UMSJ, para el periodo mar.20 a feb.21 según se expresa en el Cuadro 7.3.

Asumiendo una actividad permanente durante 12 meses y según el programa de minado para el periodo evaluado, el consumo total de agua de la UMSJ fue de 563.521 m<sup>3</sup>, siendo el promedio mensual de consumo en las actividades evaluadas de 46.960 m<sup>3</sup>/mes, con mínimos de 22.822 m<sup>3</sup>/mes (abr.20) y un máximo de 55.587 m<sup>3</sup>/mes (oct.20). Siendo las salidas del sistema de menor aporte las de infiltración y riego del Mallín Largo.

Por otro lado, los aportes del sistema contemplan un volumen para el periodo de 817.782 m<sup>3</sup>, siendo el mínimo aporte 31.809 m<sup>3</sup>/mes para jul.20 y el máximo de 94.005 m<sup>3</sup>/mes durante el mes de ago.20. Los aportes que generan menor influencia vienen dados por la precipitación sobre el espejo de agua del reservorio y el aporte de agua subterránea, siendo la principal recarga del balance la descarga de las vetas de producción Frea y Kospi.



Se refleja en barras de color celeste y rojo, la tendencia en referencia a valores máximos y mínimos, para las operaciones de consumo y aporte evaluadas.

Entradas al Sistema	2020										2021		Total año (m <sup>3</sup> /año)
	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	ago-20	sep-20	oct-20	nov-20	dic-20	ene-21	feb-21	
Descarga S. Kospi	56.802	58.021	62.979	55.912	27.312	84.584	64.934	75.534	71.502	54.273	50.487	64.036	726.376
Descarga BM Tehuelche	9.726	6.637	6.001	5.262	606	5.915	6.799	5.894	5.530	3.553	1.635	1.343	58.901
Agua Subterránea	2.936	2.068	2.097	1.900	2.327	3.064	3.034	3.617	1.930	788	891	420	25.072
Precipitación LG1	2	42	195			128	113	42	23	51	95	71	761
Precipitación LG4	51	623	700	771	1.565	319	265	90	87	320	783	1.123	6.696
<b>Ingresos (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>69.517</b>	<b>67.391</b>	<b>71.972</b>	<b>63.845</b>	<b>31.810</b>	<b>94.010</b>	<b>75.144</b>	<b>85.177</b>	<b>79.071</b>	<b>58.985</b>	<b>53.891</b>	<b>66.992</b>	<b>817.806</b>

Sistema Kospi: Frea 1 + Frea 2 - ( recirculación Frea 1 +Frea 2 + Relleno de mina) Agua Subterránea: Producción Pozos 1, 4 y 5

Salidas del Sistema	2020										2021		Total año (m <sup>3</sup> /año)
	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	ago-20	sep-20	oct-20	nov-20	dic-20	ene-21	feb-21	
Infiltración LG4	165	209	237	237	237	237	262	275	283	294	294	294	3.021
Evaporación LG4	2.792	1.164	566	320	352	632	1.864	3.815	6.859	7.586	7.624	7.203	40.778
Operaciones Superficiales	1.244	1.957	2.669	7.703	2.088	2.428	3.431	3.262	5.414	2.077	664	3.011	35.948
Infiltración LG1	8	15	66			97	110	128	75	47	36	18	599
Evaporación LG1	106	79	158			253	793	1.765	1.794	1.219	928	454	7.550
Consumo Campamento	4.011	2.914	2.810	3.215	3.616	4.040	4.051	4.301	3.557	2.473	2.954	3.637	41.580
Riego Mallín Largo	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	16.296
Consumo desde LG4 (TKrojo)	27.879	15.155	45.560	40.297	44.075	46.222	41.231	40.712	26.302	27.812	26.232	36.833	418.310
<b>Egresos (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>37.563</b>	<b>22.851</b>	<b>53.424</b>	<b>53.129</b>	<b>51.726</b>	<b>55.266</b>	<b>53.100</b>	<b>55.616</b>	<b>45.642</b>	<b>42.865</b>	<b>40.090</b>	<b>52.808</b>	<b>564.081</b>

**Cuadro 7.3** Control de entradas y salidas del sistema durante el periodo evaluado.

Para realizar el balance hídrico de la UMSJ, se debe tener en cuenta tanto las entradas y salidas del sistema, como las variaciones del almacenamiento en el mismo, tal como se presenta en la ecuación siguiente:

$$\text{Ingreso} - \text{Egreso} = \text{Almacenamiento } (\Delta LG4 + \Delta LG4) + / - \text{Error}$$

Para ello, el Cuadro 7.4 presenta el balance mensual para el período considerado, indicando en la última fila el error de cierre.

Parámetros	2020										2021	
	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	ago-20	sep-20	oct-20	nov-20	dic-20	ene-21	feb-21
<b>Vol. LG1</b>	531	1.186	8.434	9.692	10.949	13.465	17.901	20.872	10.472	6.563	3.314	1.286
<b>Vol. LG4</b>	73.586	95.311	135.943	135.943	135.943	141.406	164.363	182.973	191.484	196.192	196.192	196.192
<b>Dif. Vol. LG1</b>	-5.100	655	7.248	1.258	1.258	2.516	4.436	2.971	-10.400	-3.909	-3.249	-2.028
<b>Dif. Vol. LG4</b>	39.631	21.725	40.632	0	0	5.463	22.957	18.610	8.511	4.708	0	0
<b>Ingreso</b>	69.517	67.391	71.972	63.845	31.810	94.010	75.144	85.177	79.071	58.985	53.891	66.992
<b>Egreso</b>	37.563	22.851	53.424	53.129	51.726	55.266	53.100	55.616	45.642	42.865	40.090	52.808
<b>Error de Balance (m<sup>3</sup>)</b>	-2.578	22.160	-29.332	9.458	-21.173	30.765	-5.349	7.980	35.318	15.321	17.050	16.213

**Cuadro 7.4** Control Balance Hídrico UMSJ mar-20 a feb-21

En base a la síntesis de consumos y aportes, indicados en el cuadro precedente, se observa 11 meses con balance hídrico positivo (los ingresos al sistema fueron superiores a los egresos), en los cuales se acumuló agua en los reservorios. Por su lado, jul.20 ha sido el único mes que se encontró con balance negativo, (19.916 m<sup>3</sup> de déficit) presumiblemente por condiciones climáticas imperantes durante el invierno.

La suma de errores en el cierre del balance para el período completo, representa un 12 % del volumen de agua ingresado al sistema. Estos errores pueden estar dados por las estimaciones en los volúmenes de las lagunas a partir de las imágenes satelitales, o bien, volúmenes no contabilizados de consumos en diferentes procesos o errores en los equipos de medición (sea de toma de valor o de calibración de equipos).

## 8 HIDRODINÁMICA

En cuanto al comportamiento de los niveles en los pozos tanto de producción como de monitoreo, la UMSJ lleva un censo de pozos con una frecuencia de mediciones variable. Por otra parte, el día 19/04/21 personal de Hidroar llevó a cabo un censo de niveles piezométricos, con el objeto de actualizar el mapa equipotencial de la UMSJ, realizando la separación de acuíferos profundos y someros.

### 8.1 Censo de niveles de Pozos

El recorrido fue realizado junto con personal de medio ambiente de la UMSJ, visitando cada uno de los pozos de monitoreo y de explotación. Se descartaron de la campaña los pozos que el personal indicó que se encuentran secos y/u obstruidos, salvo el pozo S1, que cuidadosamente se logró tomar medida de su nivel estático. El Cuadro 8.1. presenta los resultados obtenido.

Cuenca principal	Pozo	POSGAR 07 F2		Cota (msnm)	Fecha	NE (mbbp)	
		x	y				
Río Pinturas	Pozos de Monitoreo	S-1	2.399.434	4.831.653	547,0	19/4/2021	12,9
		PM1	2.399.327	4.832.332	555,0	19/4/2021	12,4
		PM-2	2.399.053	4.832.952	554,0	19/4/2021	25,8
		PM-3	2.399.470	4.833.910	549,0	19/4/2021	77,9
		PM-4	2.400.112	4.834.693	545,0	19/4/2021	85,6
		MSC-4	2.398.849	4.832.774	546,4	19/4/2021	29,7
		MSC-7	2.401.259	4.829.208	509,0	19/4/2021	3,4
		PMD-1	2.400.880	4.830.971	560,0	19/4/2021	16,9
		PMD-3	2.400.863	4.831.174	535,0	19/4/2021	13,9
		PMS-1	2.401.021	4.830.838	568,0	19/4/2021	13,9
		PMS-2	2.400.951	4.830.898	568,0	19/4/2021	13,7
		PMDP-01	2.401.823	4.831.693	570,0	19/4/2021	18,4
		PMDP-02	2.401.623	4.831.882	578,0	19/4/2021	23,7
		PMZ-2	2.402.300	4.831.875	528,5	19/4/2021	215,4
	PMZ-3	2.402.731	4.830.964	534,0	19/4/2021	16,8	
	PMZ-4	2.403.583	4.831.628	533,0	19/4/2021	92,7	
	PMZ-5	2.402.637	4.830.986	527,7	19/4/2021	54,4	
	Pozos de Producción	POZO 1	2.402.229	4.830.038	523,0	19/4/2021	158,7
		POZO 4	2.404.556	4.831.373	492,0	19/4/2021	76,5
POZO 5		2.403.201	4.830.425	538,0	19/4/2021	185,3	
POZO 6		2.405.964	4.830.842	503,0	19/4/2021	4,1	

**Cuadro 8.1** Censo de niveles estáticos UMSJ, para pozos en condiciones operativas.

Se han clasificado los pozos según el acuífero que se interceptan, en niveles someros y profundos. Los gráficos presentados en la Figura 8.1 y Figura 8.2 muestran los registros puntuales desde enero 2020, en donde se observa en ambos casos (acuífero somero y profundo), un comportamiento estable, sin tendencias marcadas. Únicamente se observan registros con relativa importancia en la variación del nivel (del orden de los 6 m) para el PMD-3 en sep.20 y el PMDP-02 para ago.20, pero que no han vuelto a repetirse.



Figura 8.1 Comportamiento de los niveles estáticos de los pozos en acuífero somero.

Por su parte, los pozos con objetivo en el acuífero profundo cuentan con niveles piezométricos mayores a 50 mbnt. Entre ellos, encontramos a los pozos de producción, todos estos con niveles generalmente estables, y con la misma tendencia histórica, siendo el más variable en Pozo N° 4, acuífero ubicado en una sección de características hidráulicas diferentes a los pozos productores del acuífero de explotación en la zona del Pozo N° 5.

También se encuentran dentro de este grupo, los pozos de monitoreo PMZ-2 y PMZ-5, el primero con nivel piezométrico más profundo, cercano a los 215 mbbp, y el segundo con rangos de 54, 38 mbbp ver Figura 8.2.

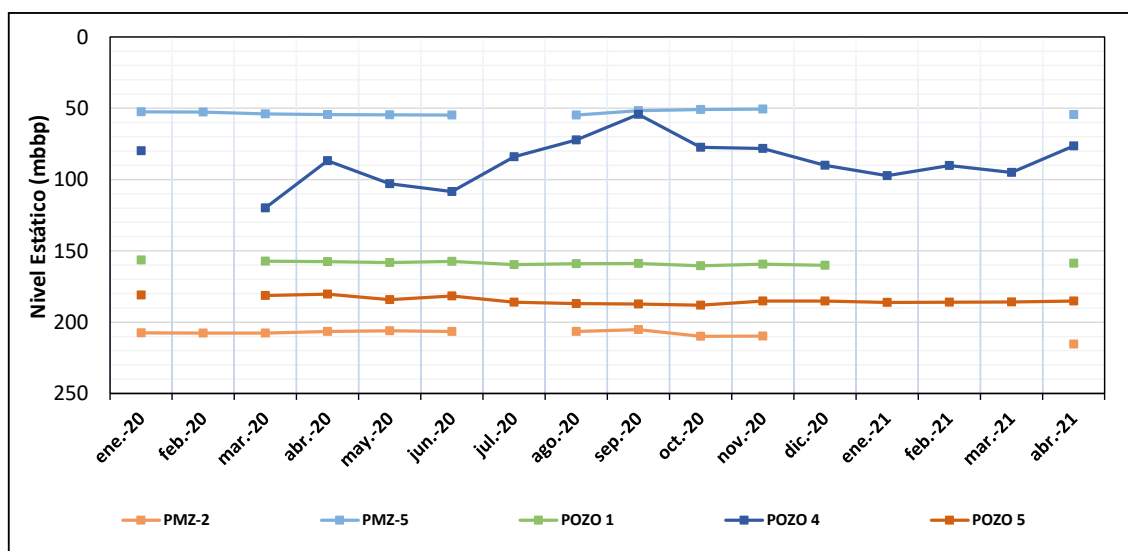


Figura 8.2 Comportamiento de los niveles estáticos de los pozos con objetivos en acuífero profundo.

## 8.2 Comportamiento equipotencial y sentido del desplazamiento del agua

Se evaluaron las cotas de los niveles estáticos para acuíferos libres y profundos, generando dos juegos de líneas equipotenciales. Los niveles más someros cuentan con dos tendencias de flujo. Una divisoria de aguas, que prioriza el drenaje hacia el río Pinturas, representada por los pozos PM-2, PM-3, MSC-4 y PM-1, con tendencia característica a disminuir el nivel hacia el oeste. Y, por otro lado, los niveles

que tienen como punto de baja energía la sección aledaña al dique de relaves 1, según el comportamiento de los pozos de monitoreo PMD-3, PMS-2 y PMD-1 como como menores referentes de cota del nivel estativo, siendo la cabecera de desalojo los pozos con PMS-2 PMDP-02 y PMDP-01 con mayores niveles de carga hidráulica y con tendencia de drenaje hacia este sector.

Por otro lado, el acuífero donde se encuentran emplazados los pozos de producción tiende a fluir a niveles de menor cota representados por el área del Pozos N° 1 y 5, este último con mayor profundización de sus niveles. En cuanto al Pozo N° 6, se observa una tendencia de flujo en dirección al Pozo N° 4 y de este hacia la zona anteriormente cita. Y la vertiente que dirige la tendencia de flujo hacia el dique de relaves 2, caracterizada por PMZ-5 de mayor cota y PMZ-2 de menor nivel estático. La Figura 8.3 y el mapa 2 presentan las curvas equipotenciales correspondientes al monitoreo de abril 2021.

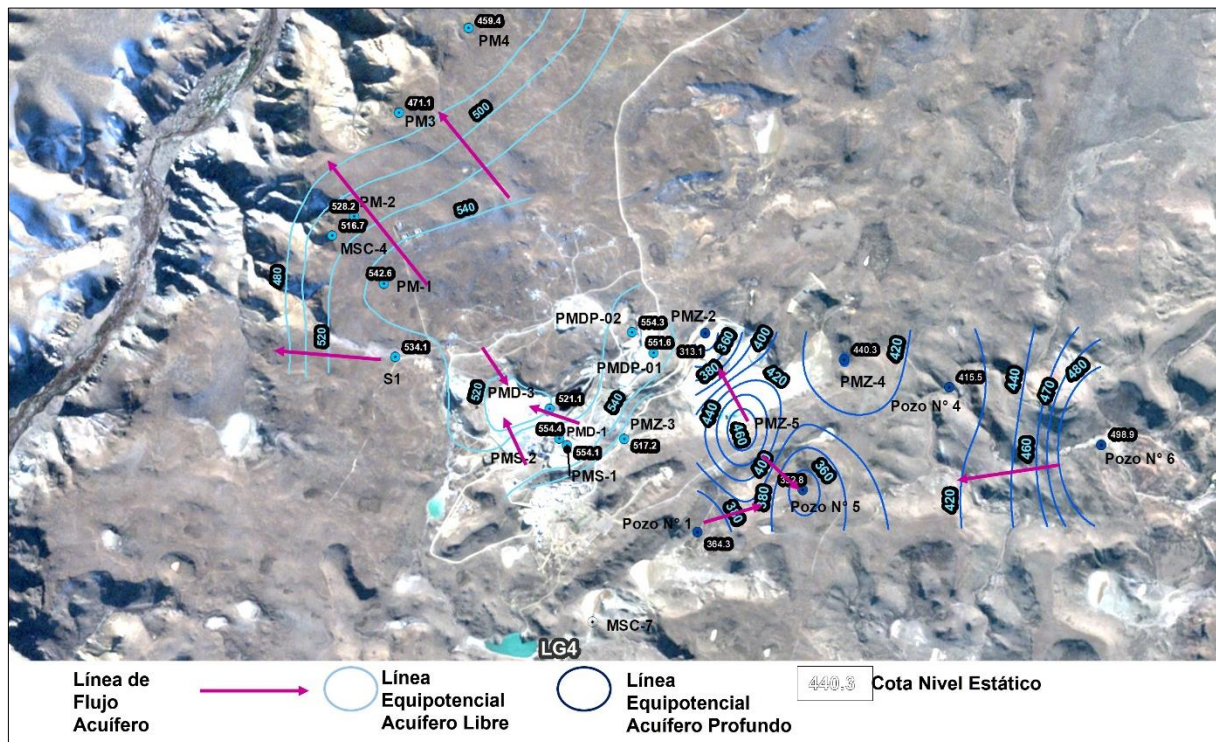


Figura 8.3 Curvas equipotenciales para el Área de la UMSJ.

## 9 CAPACIDAD DE REVANCHA DE LOS DIQUES DE RELAVES Y CIANURACIÓN

Para determinar la capacidad de revancha para los diques de relave y cianuración en caso de una avenida extrema, se realizaron mediciones de cotas de las estructuras con GPRS Trimble Rs9 y Rs2 diferencial en forma dinámica, definiendo zonas de sedimentos, defensas, caminos, etc. La información fue procesada con el software Global Mapper v19.0 bajo sistema de referencia Gauss Kruger Argentina, faja 2, Datum WGS84 y en sistema altimétrico IGN.

Se procesaron las curvas cotas-volumen teniendo en cuenta los datos de base de los relevamientos topográficos entregados por la UMSJ según Relevamiento Fotogramétrico Diques Colas 2, CN, de fecha 18/12/2020 – Plano MSC-007-DC2-002; de los cuales, se digitalizaron las curvas de nivel, y correlacionaron con los puntos relevados permitiendo generar un MDT, para calcular las curvas de nivel en la parte deprimida y su relación Cota-Volumen que permite definir la capacidad de revancha de cada una de las depresiones en función del nivel actual del agua en cada una de ellas, hasta el nivel de coronamiento de las presas correspondientes.

### 9.1 Laguna de Relave

El día 17 de abril del 2021 se realizó el relevamiento en el dique de Relaves, con ubicación según coordenadas  $46^{\circ}39'48,72''S$  -  $70^{\circ}16'16,87''O$ . En la Figura 9.1 a Figura 9.4 se muestra el detalle de los puntos relevados correspondientes a puntos sobre caminos, puntos de sedimentos, puntos sobre defensas y puntos sobre revanchas.



Figura 9.1. Puntos relevados sobre caminos.



**Figura 9.2** Puntos relevados sobre bancos de sedimentos

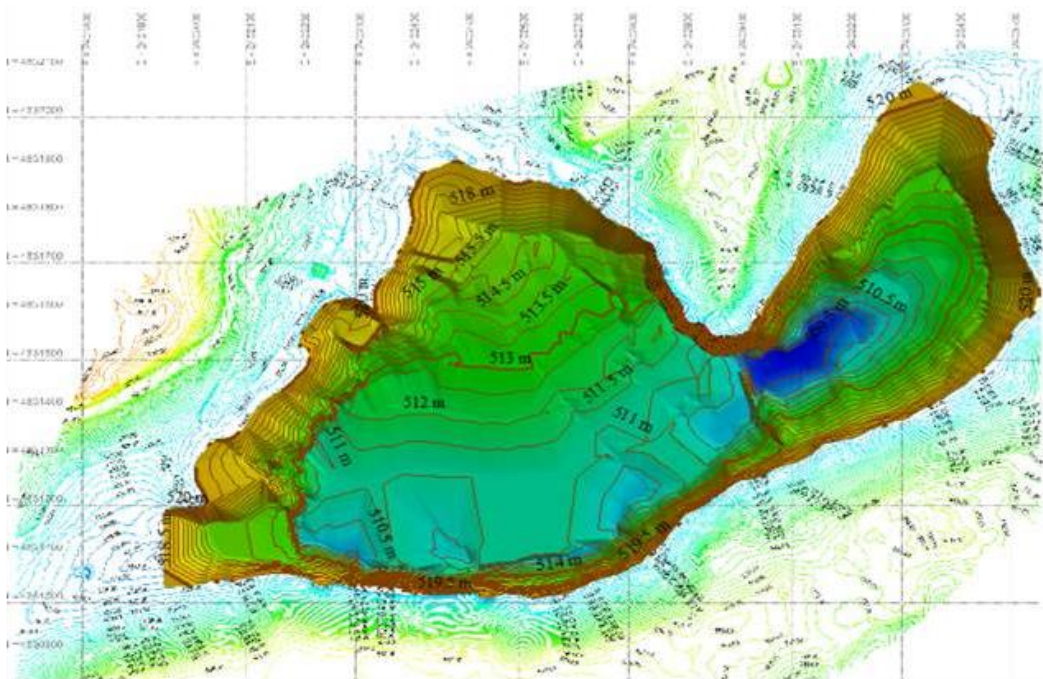


**Figura 9.3** Puntos relevados sobre defensas.



**Figura 9.4** Puntos relevados sobre revanchas.

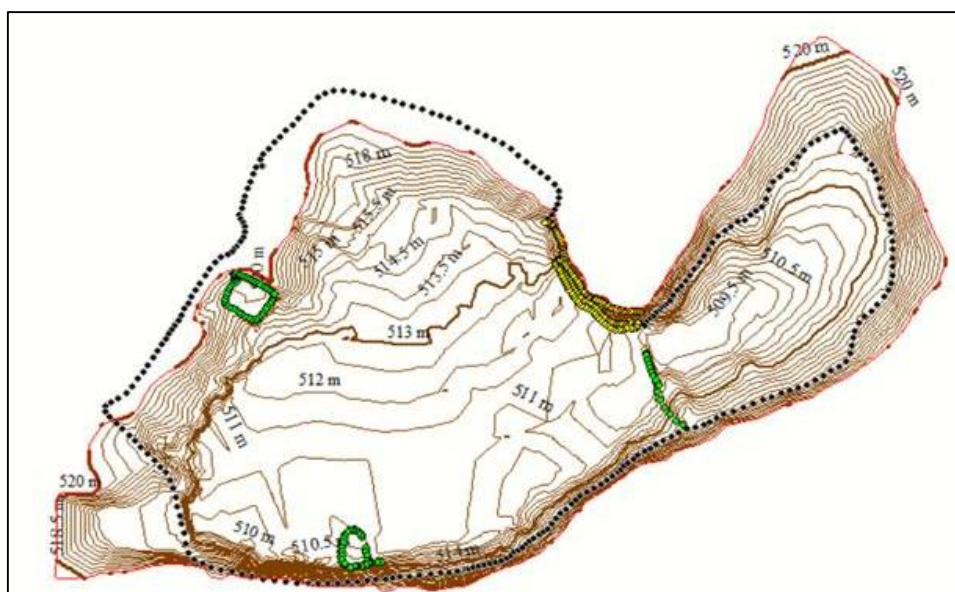
Luego se generó un MDT con los datos obtenidos y curvas de nivel cada medio metro, para posteriormente comprobar la integridad entre el MDT y el relevamiento del dique de colas según se representan en Figura 9.5.



**Figura 9.5** Modelo de elevación del terreno solapado con relevamiento fotogramétrico del dique de colas 2.

Con el MDT se generó la curva cota-volumen de la parte no inundada en la fecha de medición hasta la cota de 520 m, siendo este valor, el promedio de las medidas en las zonas de revanchas que se puede observar con puntos rojos (Figura 9.6.).

Se puede representar que para esa cota de revancha quedan sumergidas, las defensas medidas (puntos verdes) y parte de los caminos (puntos negros), sobre todos los caminos de la margen sur de la laguna de relave.



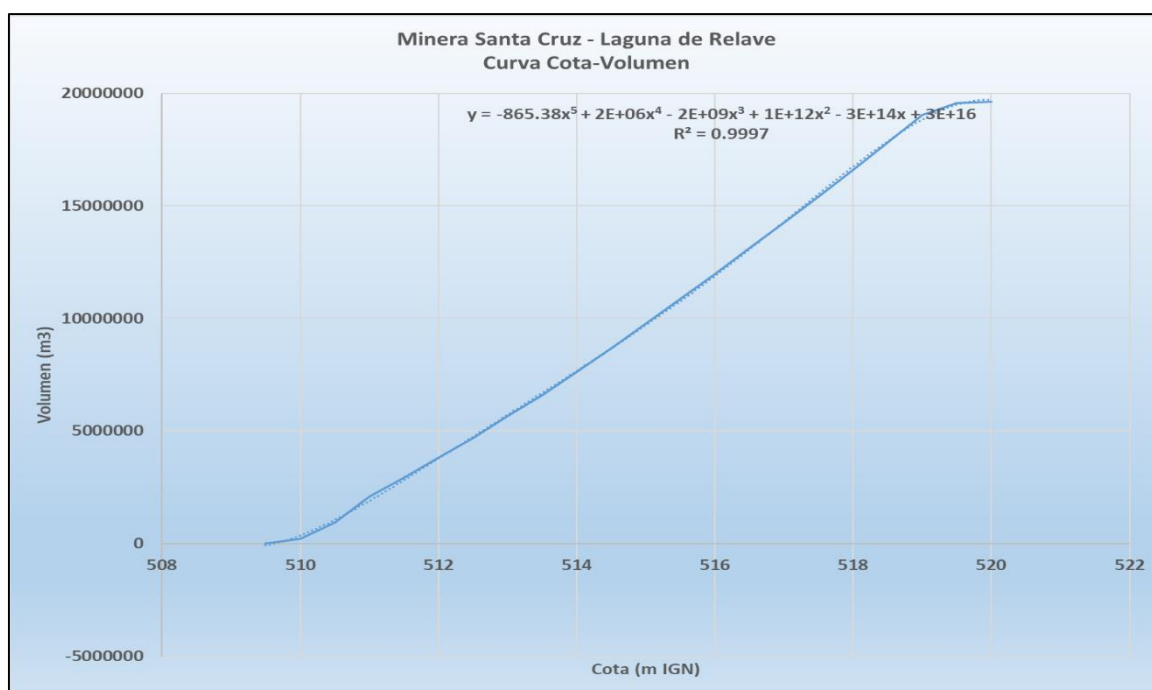
**Figura 9.6** Cotras de revancha en el dique de colas 2.



El Cuadro 9.1 presenta la población de cotas y volúmenes evaluados, como también la función que rige el dominio del comportamiento de la curva Figura 9.7. Dada la curva  $y = -865.38x^5 + 2E+06x^4 - 2E+09x^3 + 1E+12x^2 - 3E+14x + 3E+16$  con un ajuste  $R^2 = 0.9997$ , siendo  $y$  valores de volumen y  $x$  valores de cota.

Cota (m IGN)	Volumen Acumulado (m <sup>3</sup> )	Cota (m IGN)	Volumen Acumulado (m <sup>3</sup> )
509,5	1,6	515,0	9.771.890,7
510,0	210.008,5	515,5	10.870.294,4
510,5	950.523,1	516,0	11.984.575,5
511,0	2.078.108,7	516,5	13.112.888,8
511,5	2.922.137,3	517,0	14.253.125,5
512,0	3.825.925,8	517,5	15.417.981,6
512,5	4.705.669,5	518,0	16.604.671,2
513,0	5.647.371,7	518,5	17.813.644,4
513,5	6.581.090,0	519,0	19.042.654,9
514,0	7.610.584,3	519,5	19.569.484,6
514,5	8.667.970,7	520,0	19.624.396,9

**Cuadro 9.1** Relación cota vs volumen, laguna de relave.



**Figura 9.7** Curva y correlación de datos cota volumen dique de colas 2.

Por razones de seguridad ambiental, no se accedió hasta las cercanías de la zona inundada que, siendo muy escasa y dispersa, además se observó gran cantidad de movimientos de suelos por lo tanto se puede definir que toda el área de la laguna tiene capacidad de almacenamiento hasta cota 520 m IGN de 19.624.397 m<sup>3</sup> o 19,6 Hm<sup>3</sup>.

## 9.2 Laguna de Cianuración

El día 19 de abril del 2021 se realizó el relevamiento en la Laguna de cianuración, con ubicación según en coordenadas 46°39'52.69"S- 70°17'38.50"O. Se representan los siguientes puntos relevados, correspondientes a puntos sobre taludes, de sedimentos, sobre defensas y revanchas ver Figura 9.8 a Figura 9.11.



**Figura 9.8** Puntos de defensa relevados, línea roja.



**Figura 9.9** Puntos de Talud relevados, línea verde.

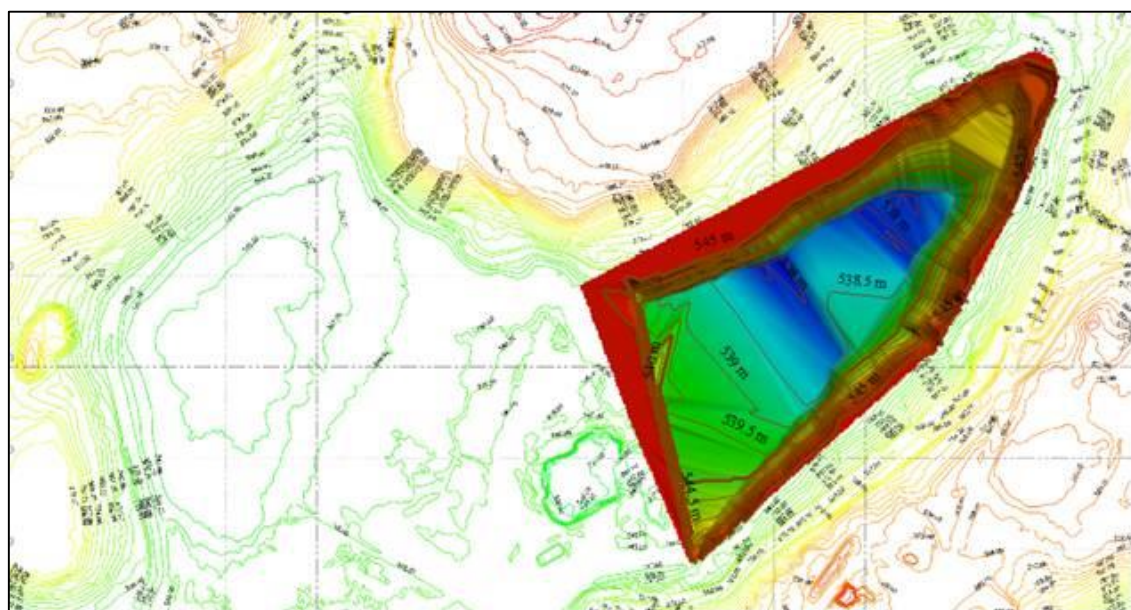


**Figura 9.10** Puntos de Banco de sedimentos relevados, línea marrón.



**Figura 9.11** Puntos de revancha relevados, línea azul.

Se generó un MDT con los datos obtenidos y curvas de nivel cada medio metro, de igual forma, se compaginó con el Relevamiento Fotogramétrico Diques de Cola 1, CN, de fecha 18/12/2020 – Plano MSC-006-DC1-002. Este plano fue georreferenciado y superpuesto a las curvas de nivel obtenidas del procesamiento del relevamiento de la laguna y se comprobó la integridad entre ambos MDT. Se observa la correcta correspondencia con las curvas de nivel del plano cuya curva de nivel mínima es de 545 m IGN, ver Figura 9.12



**Figura 9.12** Curvas de Nivel generadas a partir del MDT superpuestas sobre las curvas de nivel del relevamiento Fotogramétrico.

Con el MDT se generó la curva cota-volumen de la parte no inundada en la fecha de medición para definir el volumen disponible hasta la cota de coronamiento de la defensa que es de 545 m. La ecuación que rige el dominio de los puntos evaluados se expresa como  $y = -303.63x^6 + 985394x^5 - 1E+09x^4 + 1E+12x^3 - 4E+14x^2 + 8E+16x - 8E+18$ , siendo  $y$  el volumen acumulado y  $x$  la cota de elevación ver Cuadro 9.1 y Figura 9.14.

Cota (m IGN)	Volumen Acumulado (m <sup>3</sup> )	Cota (m IGN)	Volumen Acumulado (m <sup>3</sup> )
537,8	0,0	541,5	2.150.406,6
538,0	86.205,1	542,0	2.518.117,8
538,5	304.947,6	542,5	2.893.240,7
539,0	558.937,4	543,0	3.275.704,0
539,5	852.330,0	543,5	3.665.754,8
540,0	1.161.558,7	544,0	4.065.720,9
540,5	1.479.784,9	544,5	4.482.654,8
541,0	1.808.512,8	545,0	4.605.647,6

Figura 9.13 Relación cota vs volumen, laguna de cianuración.



Figura 9.14 Curva y correlación de datos cota volumen dique de cianuración.

Por razones de seguridad ambiental, solo se tomó un punto muy cercano al pelo de agua que tenía este reservorio a efectos de tener la cota y poder evaluar el volumen disponible encontrándose en coordenadas X = 2401017.44; Y=4831160.75 y su cota es 537.898 msnm, considerando esta cota como pelo de agua y la cota del talud se encuentra a 545 m IGN promedio, la disponibilidad en este momento para la contención de volúmenes producidos por lluvias es de 4605647.6 m<sup>3</sup>.


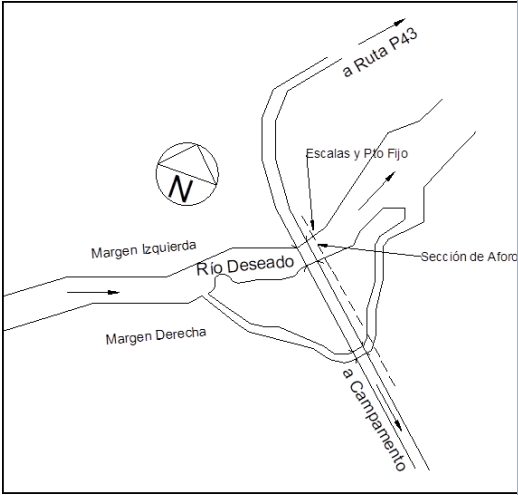

Se recomienda para poder evaluar el volumen disponible en cada una de las lagunas, la instalación de escalas de hidrométrica para medir el nivel de almacenamiento, debiendo ser condicionadas para evitar su deterioro por potenciales componentes corrosivos que estén presente en el agua almacenada.

## 10 EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE CAUDALES

Se realizó la visita a las escalas hidrométricas del sistema de medición de altura de los ríos Deseados y Pinturas. A continuación, se presentan las monografías del actuales de las escalas.

### 10.1 Río Deseado

Se realizó la visita el día 18 de abril del 2021, realizándose aforos y procediéndose a la verificación las condiciones de las instalaciones de escala. Los tramos de escalas se encuentran aguas abajo del camino que comunica el campamento de la UMSJ con la Ruta Provincial 43. Este camino posee nueve (9) alcantarillas de tubos chapas que permite el escurrimiento del río Deseado.

<p>Río Deseado</p> <p>Fecha: 18/04/2021</p> <p>Altura de Escala Pelo de Agua: 0,45 m</p> <p>Tramos de Escalas: 2</p> <p>Coordenadas del Hidrómetro:</p> <p>S 46° 33' 12.4"</p> <p>W 70° 14' 09.7"</p> <p>Altura Mojón de Referencia: 2,60m</p>	
	

La estación consta de dos (2) tramos de escalas que se encuentran en buenas condiciones generales y de verticalidad correcta, por lo cual no es necesario el cambio o reposición de estas (Figura 10.1).



**Figura 10.1** Situación actual de buenas condiciones de las regletas de medición.

Se observó que es un sitio de muy bajo escurrimiento, el agua estaba prácticamente estancada y aguas abajo se podía observar un montículo de sedimentos que impedía el libre escurrimiento, favoreciendo el crecimiento de algas en el cauce. Siendo importante realizar la limpieza del río en tramos aguas debajo de donde se encuentran las escalas.

## 10.2 Río Pinturas

Se realizó la visita el día 18 de abril del 2021. La estación consta de dos (2) tramos de escalas que se encuentran en buenas condiciones generales y de verticalidad correcta, con lo cual no es necesario el cambio o reposición de las escalas, aunque si fuese conveniente realizar una limpieza de pastizales para permitir el libre escurrimiento.

Río Pinturas

Fecha: 18/04/2021

Altura de Escala Pelo de Agua: 0.71 m

Tramos de Escala: 2

CoordenadasGPS31- Sistema WGS84

S46° 38'33.1" W70°20'31.2"

Altura Mojón de Referencia: 3.16m





Particularmente en esta sección, se pudo observar que existen dos cauces. Un cauce principal con escurrimiento y más profundo, con un precario puente peatonal de madera; y un cauce secundario, prácticamente sin escurrimiento, con baja profundidad y en donde existe un vado para su cruce (Figura 10.2).



**Figura 10.2** Situación actual de buenas condiciones de las regletas de medición.

### 10.3 Recomendación

Analizando ambas secciones, su ubicación, topografía circundante y estructuras de las alcantarillas, se recomienda:

- Realizar una limpieza en ambas secciones para que impedir el embancamiento en la zona de escalas.
- En el caso del río Pinturas sería importante poder encontrar otra sección que tenga un único brazo, para la correcta medición del caudal.
- De acuerdo con las necesidades de información en tiempo, que requiere la minera, propone la automatización de dicha sección con sensores de nivel con transmisión automática satelital a una central de recepción de datos en el predio de la Minera o en donde sea logísticamente más conveniente y a la que se pueda acceder a través de una aplicación de celular.

## 11 ACTUALIZACIÓN DE MEDICIONES DE CAUDALES - CÁLCULO DE CURVAS DE DESCARGAS EXPEDITIVAS

Para la extrapolación y desarrollo de las curvas de descarga teórica, se utilizó el Método de Manning que expresa el caudal mediante la relación entre los factores físicos e hidráulicos de la sección:

$$Q = A * R^{(2/3)} * I^{(1/2)} * (1 / \mu)$$

Donde:

Q = caudal [m<sup>3</sup>/s]

A= área [m<sup>2</sup>]

R = radio hidráulico [m]

I = pendiente hidráulica

$\mu$  = coeficiente de rugosidad de Manning

Manning define el factor hidráulico K como:

$$K = I^{(1/2)} / \mu = Q / A * R^{(2/3)}$$

Diferenciando los efectos hidráulicos y físicos de la siguiente manera:

Características hidráulicas:  $(I^{(1/2)} / \mu)$

Características físicas:  $(A * R^{(2/3)})$ .

Con los parámetros físicos de la sección y el caudal aforado se calculó el coeficiente hidráulico de la sección.

### 11.1 Aforos

Para las mediciones del caudal se utilizó, en el río Deseado, el equipo ADCP. Por su parte, el río Pinturas presentaba la particularidad de que tenía un cauce profundo que se midió con ADCP y una margen inundada de poca profundidad que se midió con ADV. En el Anexo 3 se presentan las secciones aforadas y sus planillas.

### 11.2 Relevamientos Topográficos

Se realizó el relevamiento de las márgenes de la sección de aforos, que, completándola con el relevamiento batimétrico obtenido del aforo, compone la sección completa que permite obtener parámetros físicos para distintos niveles, que serán utilizados para el desarrollo de la curva de caudales. Adicionalmente, se obtuvo la pendiente media del pelo de agua con nivel digital.

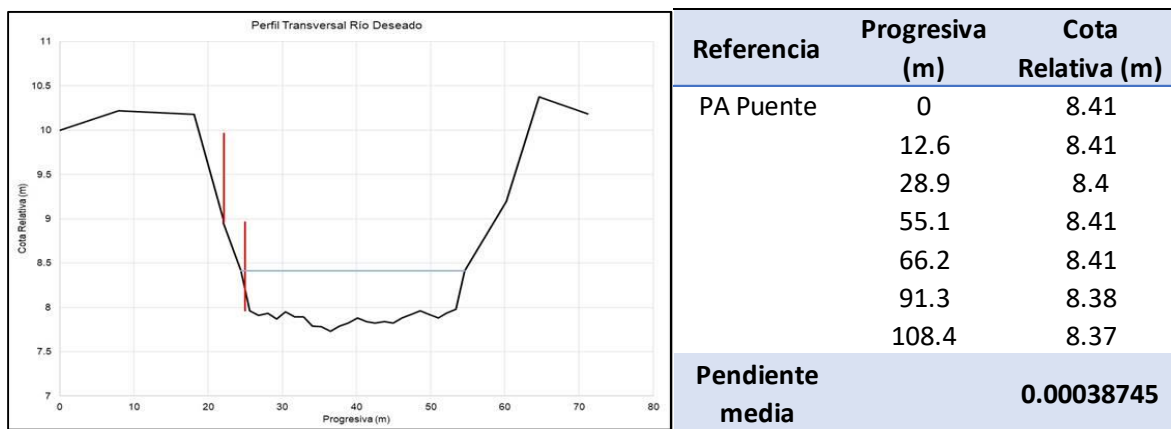
- **Río Deseado**

El Cuadro 11.1 siguiente presentan el perfil transversal relevado en el río Deseado y están graficadas las dos escalas hidrométricas. Ver Figura 11.1



Orden	Referencia	Progresiva (m)	Cota Relativa (m)	Orden	Referencia	Progresiva (m)	Cota Relativa (m)
1		0	10	18		38.91	7.82
2		7.9	10.22	19		40.12	7.88
3		18.1	10.18	20		41.33	7.84
4		22.1	8.99	21		42.54	7.82
5		22.1	8.95	22		43.75	7.84
6	MI	24.4	8.41	23		44.96	7.82
7		25.61	7.96	24		46.17	7.88
8		26.82	7.91	25		47.37	7.92
9		28.03	7.93	26		48.58	7.96
10		29.24	7.87	27		49.79	7.92
11		30.45	7.95	28		51	7.88
12		31.66	7.89	29		52.21	7.94
13		32.86	7.89	30		53.42	7.982
14		34.07	7.79	31		54.63	8.412
15		35.28	7.78	32	MD	60.2	9.194
16		36.49	7.73	33		64.6	10.373
17		37.7	7.79	34		71.2	10.185

**Cuadro 11.1** Datos del perfil transversal del río Deseado.



**Figura 11.1** Perfil transversal del río Deseado.

- **Río Pinturas**

En este orden de ideas, el Cuadro 11.2 presenta el perfil transversal relevado en donde se puede apreciar los dos brazos del río Pinturas y están graficadas las dos escalas hidrométricas. Asimismo, se calculó la pendiente media del curso de agua tomando cotas tanto aguas arriba como aguas abajo (Figura 11.2).

Orden	Referencia	Progresiva (m)	Cota Relativa (m)	Orden	Referencia	Progresiva (m)	Cota Relativa (m)
1		0	9.49	30		68.33	5.71
2		15.1	8.25	31		68.54	5.74
3		18.5	7.53	32		68.74	5.76
4	PABSMI	29.8	7.39	33		68.94	5.73
5		30.3	7.35	34		69.14	5.73
6		30.8	7.33	35		69.35	5.75
7		31.3	7.29	36		69.55	5.76
8		31.8	7.34	37		69.75	5.8
9		32.3	7.29	38		69.96	5.85
10		32.8	7.34	39		70.16	5.92
11		33.3	7.27	40		70.36	5.99
12		33.8	7.27	41		70.56	6.01
13		34.3	7.27	42		70.77	6.06
14		34.8	7.29	43		70.97	6.1
15		35.3	7.29	44		71.17	6.17
16		35.8	7.24	45		71.38	6.34
17		36.3	7.24	46		71.58	6.5
18		36.8	7.24	47		71.78	6.55
19		37.3	7.29	48		71.99	6.63
20		37.8	7.31	49		72.19	6.78
21		38.3	7.34	50		72.39	6.86
22		38.8	6.89	51		72.59	6.97
23		39.3	7.29	52		72.8	7.21
24		39.8	7.36	53	PABPMD	73	7.46
25	PABSMD	40.3	7.39	54		74.6	7.78
26		61.6	7.99	55		80.7	8.75
27		66.3	8.36	56		87.8	9.32
28	PABPMI	67.93	7.46	57		94.3	9.86
29		68.13	5.78	58		104.4	10

Cuadro 11.2 Datos del perfil transversal del río Pinturas.

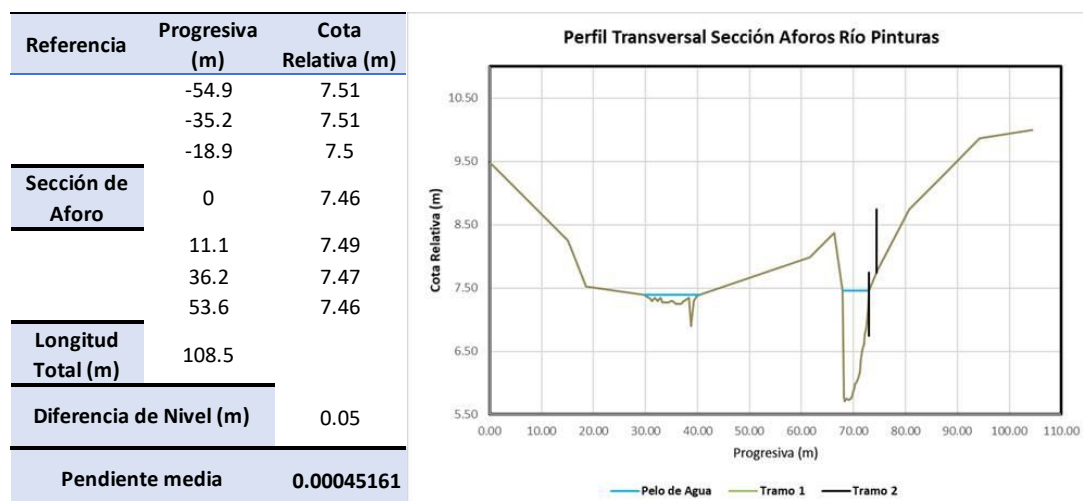


Figura 11.2 Perfil transversal del río Pinturas.

### 11.3 Estimación de la Curva de Aforos Teórica.

Para el cálculo de la curva expeditiva de caudales se utilizó el modelo matemático HYMO, que posee el módulo de cálculo de curva expeditiva CALCH-Q que aplica la metodología de Manning para dicho cálculo. Como input, se utilizó las progresivas y cotas del perfil transversal de la sección y la pendiente de cauce relevada.

El caudal aforado se utilizó para calibrar el parámetro de pendiente de valle y coeficiente de Manning. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

- **Río Deseado**

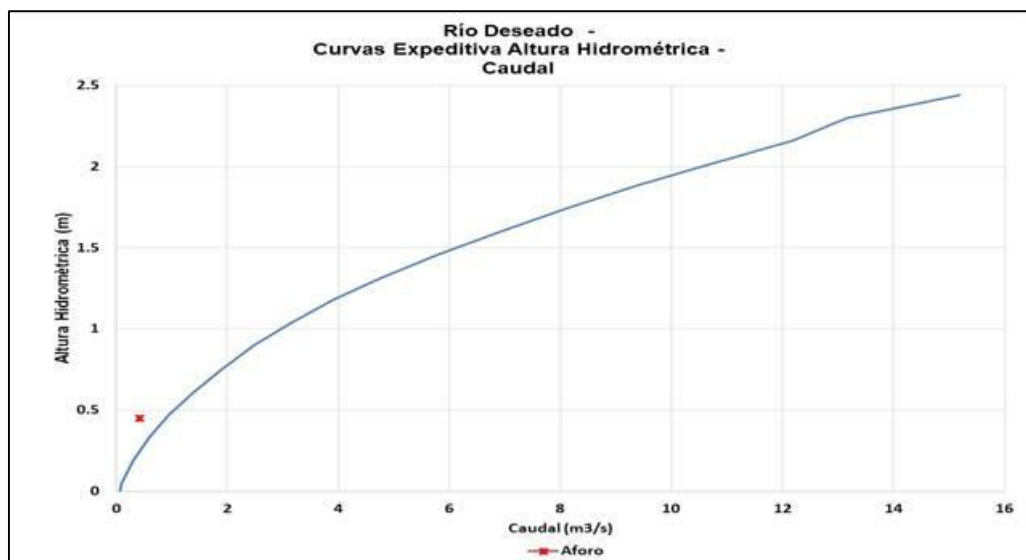
La Curva de Descarga H-Q-A expeditiva se presenta a continuación referida no solo a la cota relativa, sino a la altura hidrométrica, ver Cuadro 11.3.

Cota Relativa (m)	Altura de Escala (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
7.73	-0.23	0	0
7.87	-0.09	0.707	0.009
8.01	0.05	3.91	0.094
8.15	0.19	7.901	0.298
8.29	0.33	12	0.586
8.41	0.45	15.68	0.416 (*)
8.57	0.61	20.602	1.383
8.71	0.75	25.219	1.892
8.86	0.9	30.061	2.481
9	1.04	35.124	3.156
9.14	1.18	40.382	3.911
9.28	1.32	45.822	4.796
9.42	1.46	51.341	5.802
9.56	1.6	56.925	6.899
9.7	1.74	62.576	8.085
9.84	1.88	68.294	9.363
9.98	2.02	74.077	10.731
10.12	2.16	80.181	12.195
10.4	2.44	96.066	15.187

**Cuadro 11.3** Datos para Curva de descarga H-Q-A, río Deseado.

(\*) El valor de caudal para escala 0,45m es el caudal aforado que como se puede apreciar, y es el valor con el que fue calibrada esta curva.

Particularmente en esta sección, sería conveniente realizar más mediciones de caudales mayores para poder ajustar la curva, debido a que, al momento de las mediciones, se encuentra con escaso escurrimiento. Se puede observar que, si bien el área del aforo está bien calibrada, el caudal es superior al aforado, ver Figura 11.3.



**Figura 11.3** Curva de Altura Hidrométrica Río Deseado.

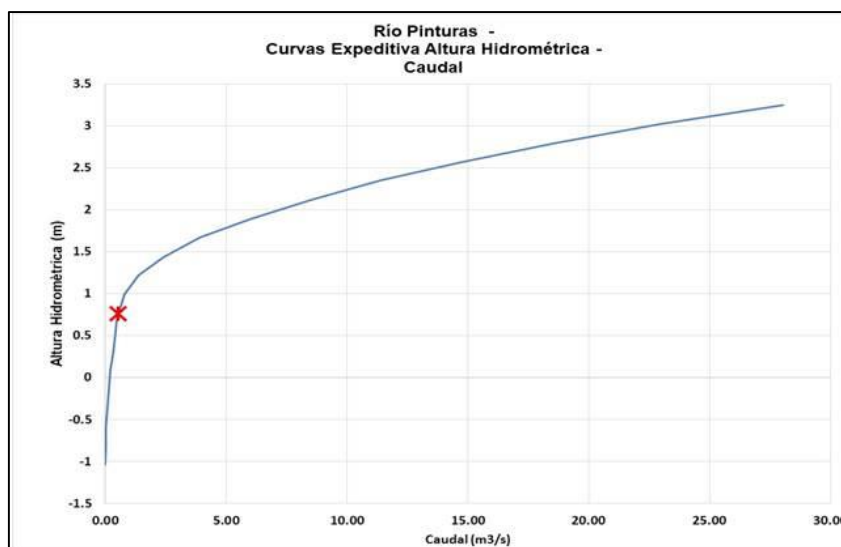
- **Río Pinturas.**

La Curva de Descarga H-Q-A expeditiva se presenta a continuación referida, al igual que en el caso anterior, a la cota relativa y a la altura hidrométrica, ver Cuadro 11.4.

Cota Relativa (m)	Altura de Escala (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
5.71	-1.04	0	0
5.93	-0.82	0.34	0.01
6.16	-0.59	0.93	0.04
6.38	-0.37	1.66	0.08
6.61	-0.14	2.48	0.14
6.84	0.09	3.4	0.22
7.06	0.31	4.43	0.32
7.29	0.54	5.52	0.43
7.46	0.71	6.66	0.48 (*)
7.51	0.76	6.92	0.56
7.74	0.99	10.23	0.8
7.97	1.22	15.74	1.37
8.19	1.44	23	2.42
8.42	1.67	31.28	3.93
8.64	1.89	40.1	6.01
8.87	2.12	49.29	8.48
9.1	2.35	59.08	11.38
9.32	2.57	69.49	14.76
9.55	2.8	80.53	18.61
9.77	3.02	92.19	22.96
10	3.25	105.05	28.03

**Cuadro 11.4** Datos para Curva de descarga H-Q-A, río Pinturas.

(\*) El valor de caudal para escala 0,71m es el caudal aforado que como se puede apreciar, y es el valor con el que fue calibrada esta curva. Se recomienda para poder ajustar la curva de descarga, realizar mediciones sistemáticas en forma mensual de manera de poder realizar aforos en todo el rango de alturas posibles. Ver Figura 11.4.

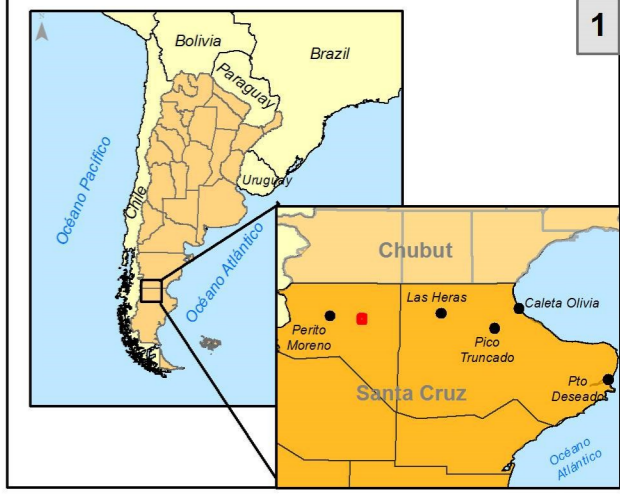
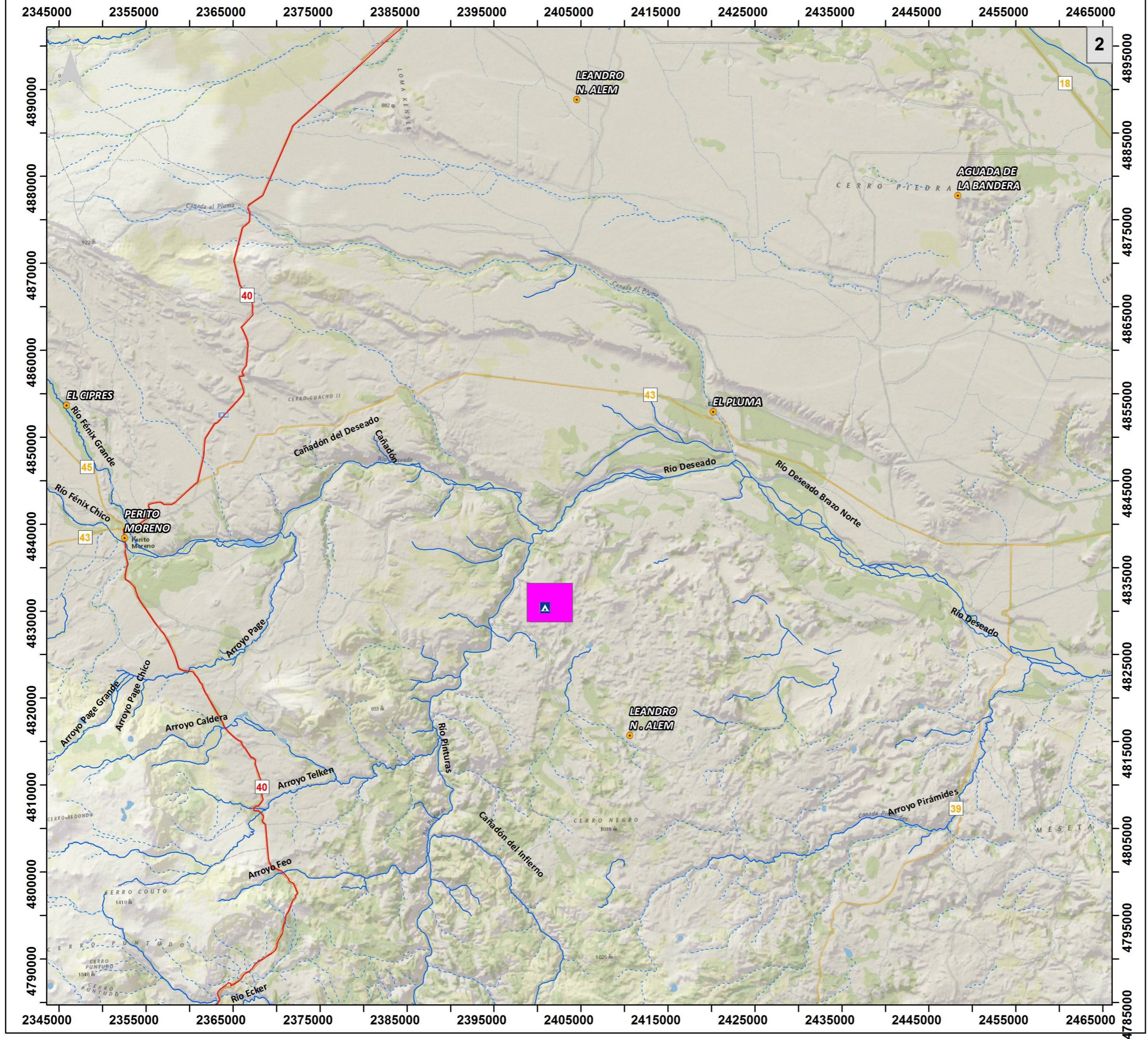


**Figura 11.4** Curva de Altura Hidrométrica Río Pinturas.

## 12 BIBLIOGRAFÍA

- Andreone R. 2018-2019. Balance Hídrico Unidad Minera San José. Geosantacruz.
- Burkart Et al. 1999. Eco-regiones de la Argentina. Administracion de Parques Nacionales. Argentina
- CARRERA, J. 1987. Hidrogeología de rocas fracturadas poco permeables. IV Simposio Nacional de Hidrogeología. Palma de Mallorca.
- CUSTODIO, E. & M. R. LLAMAS 1983. "Tratado de Hidrología Subterránea". Ed. Omega, T. I y II. (2a Ed.) Barcelona.
- CHOW, V.T., D. R. MAIDMENT Y L.W. MAYS 1994 "Hidrología Aplicada". *Mc Graw Hill Ed.* Bogotá.
- ORSOLINI H. E., ZIMMERMMAN E. D., BASILE P.A. 2000 "Hidrología, Procesos y Métodos". Universidad Nacional de Rosario Editora.
- Pereyra F. 2003. Ecoregiones de la Argentina. SEGEMAR. Buenos Aires. Argentina
- Pangolini A. Et al. 2021. Batimetrías en Embalses y Evaluación y Calibración de Sistema de Medición de Caudal sobre cauce del río Deseado y Río Pinturas. Evarsar. Argentina
- Sánchez F. 2015. Cálculo de evapotranspiración potencial mediante la fórmula de Hargreaves. Universidad de Salamanca. España.
- Scatizza C. Et al. 2021 Informe técnico de Ensayo de Bombeo en Pozo de agua N°4. Hidroar S.A, La Plata. Buenos Aires
- Scatizza C. Et al. 2021 Informe técnico de Ensayo de Bombeo en Pozo de agua N°5. Hidroar S.A, La Plata. Buenos Aires
- Scatizza C. Et al. 2013 Estudio hidrogeológico en el área del futuro dique de colas – Fase II. Hidroar S.A, La Plata. Buenos Aires
- Scatizza C. Et al. 2014. Estudio de exploración hidrogeológica para la provisión de agua - Fase I. Hidroar S.A, La Plata. Buenos Aires
- THORNTHWAITE, C.W. Y J. R. MATHER 1957 "Instruction and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance" *Climatology. Drexel. Inst. of Tech. Lab. of Climatology.* 10, 3:185-311.
- WATER HIDROGEOLOGIC, 2003. Enviro Base Pro, Waterloo, Ontario, Canadá.

# Mapas



**Referencias generales**

- Localidades
- ▭ Paisés limítrofes
- ▭ Provincia de Santa Cruz
- ▭ Provincia del Chubut
- ▭ Área del Proyecto

**Referencias de detalle**

- Ciudades
- ▲ Campamento

**Red vial**

- Camminos
- Ruta nacional
- Ruta provincial
- Área de estudio-dique

**Red hídrica**

- ~ Cursos
- ~ Cursos menores

**Hidroar S.A.** SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS Y AMBIENTALES

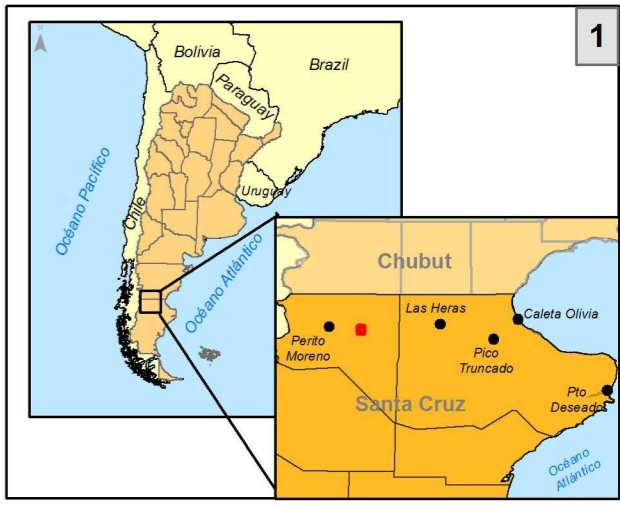
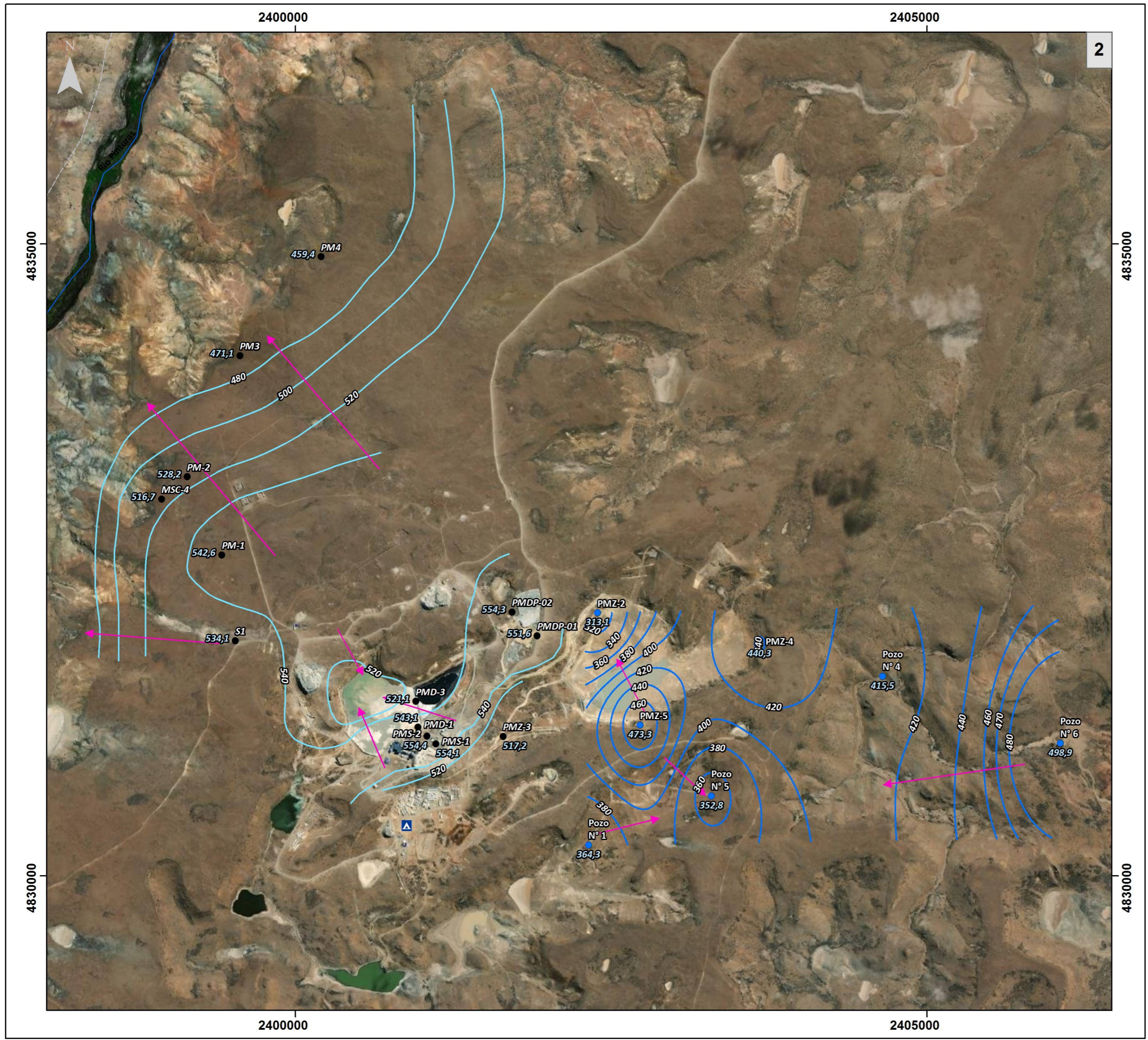
**minera santa cruz**

**EVALUACIÓN Y CÁLCULO DE BALANCE HIDRICO DE LA UNIDAD MINERA EVALUACION Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE CAUDAL SOBRE CAUCE DEL RIO DESEADO Y RIO PINTURAS MINERA SANTA CRUZ - UNIDAD MINERA SAN JOSE -**

<b>Mapa 1</b>		<b>Ubicación general del área de estudio</b>
Elaboró:	Lic. FDávila	
Supervisó:	Lic. Carlos Scatizza Ing. Geo. R. Gutiérrez	
Fecha:	Junio 2021	
Escala:	Gráfica	

0 100 200 400 600 800 Km

Proyección: Gauss Kruger Faja 2 - Datum: Campo Inchauspe



**Referencias generales**

- Localidades
- ▭ Paisés limítrofes
- ▭ Provincia de Santa Cruz
- ▭ Provincia del Chubut

**Referencias de detalle**

- ▲ Campamento

**Curvas equipotenciales (Acuífero libre)**

- Curvas equipotenciales (equid. 2 m)
- ➔ Dirección de flujo subterráneo

**Curvas equipotenciales (Acuífero profundo)**

- Curvas equipotenciales (equid. 2 m)
- ➔ Dirección de flujo subterráneo

**Pozos analizados**

- Acuífero libre
- Acuífero profundo

**Hidroar S.A.**  
SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS Y AMBIENTALES

**minera santa cruz**

**EVALUACIÓN Y CÁLCULO DE BALANCE HIDRICO DE LA UNIDAD MINERA EVALUACION Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE CAUDAL SOBRE CAUCE DEL RIO DESEADO Y RIO PINTURAS MINERA SANTA CRUZ - UNIDAD MINERA SAN JOSE -**

<b>Mapa 2</b>	
Elaboró:	Lic. FDávila
Supervisó:	Lic. Carlos Scatizza Ing. Geo. R. Gutiérrez
Fecha:	Julio 2021
Escala:	Gráfica

**Equipotencial (Abril 2021)**

0 100 200 400 600 800 Km

Proyección: Gauss Kruger Faia 2 - Datum: Campo Inchauspe



ANEXO I  
MEMORIA  
FOTOGRAFÍA



**Fotografía 1.** Pozo N°.1



**Fotografía 2.** Pozo N°6



**Fotografía 3.** PMZ-5.



**Fotografía 4.** PMZ-4.



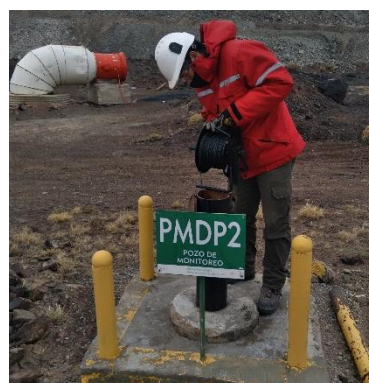
**Fotografía 5.** PMZ-2.



**Fotografía 6.** PMZ-3.



**Fotografía 7.** PMDP-1.



**Fotografía 8.** PMDP-2.



Fotografía 9. PMS-1.



Fotografía 10. PMS-2.



Fotografía 11. S1.



Fotografía 12. MSC-4.



Fotografía 13. PM2.



Fotografía 14. PM3.



Fotografía 15. PM-1.



Fotografía 16. PM4.



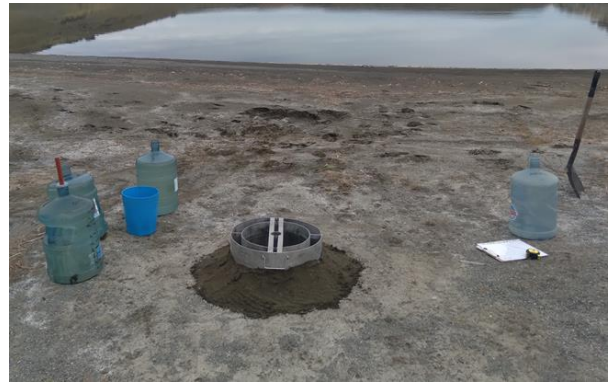
**Fotografía 17.** MSC-7.



**Fotografía 18.** PMD-1.



**Fotografía 19.** PMD-3.



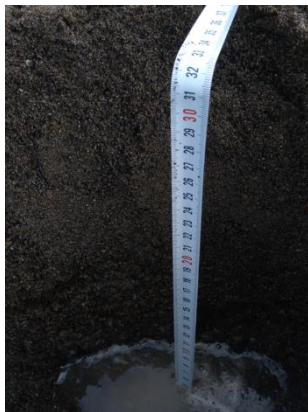
**Fotografía 20.** Ensayo De infiltracion 1.



**Fotografía 21.** Perfil Limo arcilloso compacto Ensayo 1.



**Fotografía 22.** Ensayo 2.



**Fotografía 23.** Perfil Areno-limoso ensayo 2.



**Fotografía 24.** Ensayo 3.



**Fotografía 25.** Ensayo 4.



**Fotografía 26.** Perfil Aricillo – Limoso Ensayo 4.



**Fotografía 27.** Punto Control Topografico LG4.



**Fotografía 28.** Levantamiento Dique de Flotacion -  
Revancha.



**Fotografía 29.** Levantamiento dique de cianuración -  
Revancha.



**Fotografía 30.** Levantamiento dique de cianuración -  
Revancha



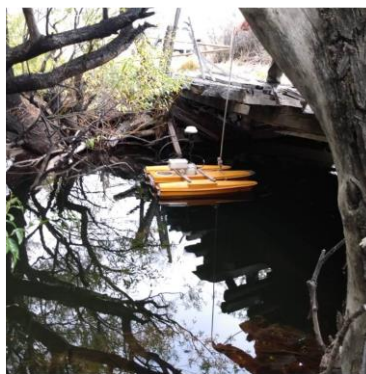
**Fotografía 31** Aforo Salida del Sistema Kospi



**Fotografía 32** Aforo Entrada a LG4 de efluente  
Tehuelche.



**Fotografía 33** Aforo Río Deseado



**Fotografía 34** Aforo Río Pinturas



**Fotografía 35** Topografía río Deseado



**Fotografía 36** Topografía río Pinturas

## ANEXO II

### AFOROS ESTIMACIÓN DE SECCIONES CURVAS TEÓRICAS

Los resultados de los aforos son los siguientes:

### Canal Boca de Mina

## Resumen de aforo

Datos generados: Wed May 12 2021

#### Información de fichero

Nombre del fichero 20210417.001.wad  
Fecha y hora de inicio 2021/04/17 18:01:05

#### Detalles del punto de aforo

Nom. del punto de aforo  
Operadores

#### Información del sistema

Tipo de sensor FlowTracker  
Numero de serie # p71  
Version de CPU 2.3  
Version de software 2.30  
Factor de corrección montaje 0.0%

#### Unidades técnicas (Métrico)

Distancia m  
Velocidad m/s  
Area m<sup>2</sup>  
Caudal m<sup>3</sup>/s

#### Incertidumbre del aforo

Categoría	ISO	Estadística
Precision	1.0%	1.0%
Calado	0.6%	0.0%
Velocidad	1.9%	7.2%
Ancho	0.2%	0.2%
Metodo	3.1%	-
# Estaciones	5.1%	-
<b>Total</b>	<b>6.4%</b>	<b>7.2%</b>

#### Resumen

Int. de promediado	60	# Estaciones	10
Margen de inicio	Mizq	Ancho total	0.680
SNR promedio	26.7 dB	Area total	0.080
Temp promedio	20.77 °C	Calado medido	0.117
Ecuac. Caudal	Area central	Velocidad media	0.5622
		<b>Caudal total</b>	<b>0.0448</b>

#### Resultados de la medida

St	Reloj	PtoAfo	Metodo	Calado	%Calado	CalMed	V	FactCorr	Vmedia	Area	Caudal	%Q
0	18:01	0.00	Ninguno	0.000	0.0	0.000	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0
1	18:01	0.01	0.6	0.120	0.6	0.048	0.6257	1.00	0.6257	0.006	0.0038	8.4
2	18:02	0.10	0.6	0.120	0.6	0.048	0.6540	1.00	0.6540	0.011	0.0074	16.6
3	18:03	0.20	0.6	0.120	0.6	0.048	0.6405	1.00	0.6405	0.012	0.0077	17.1
4	18:07	0.30	0.6	0.120	0.6	0.048	0.7034	1.00	0.7034	0.012	0.0084	18.8
5	18:08	0.40	0.6	0.120	0.6	0.048	0.6782	1.00	0.6782	0.012	0.0081	18.1
6	18:09	0.50	0.6	0.120	0.6	0.048	0.6895	1.00	0.6895	0.012	0.0083	18.4
7	18:10	0.60	0.6	0.120	0.6	0.048	0.1174	1.00	0.1174	0.010	0.0011	2.5
8	18:16	0.66	0.6	0.120	0.6	0.048	-0.0030	1.00	-0.0030	0.005	0.0000	0.0
9	18:16	0.68	Ninguno	0.000	0.0	0.000	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0

Filas en caracteres *italicos* indica aviso de control de calidad. Consulta la información de control de calidad.





### Canal Tehuelche

## Resumen de aforo

Datos generados: Wed May 12 2021

#### Información de fichero

Nombre del fichero 20210418.002.wad  
Fecha y hora de inicio 2021/04/18 11:45:40

#### Detalles del punto de aforo

Nom. del punto de aforo  
Operadores

#### Información del sistema

Tipo de sensor FlowTracker  
Numero de serie # p71  
Version de CPU 2.3  
Version de software 2.30  
Factor de corrección montaje 0.0%

#### Unidades

**tecnicas** (Metrico)  
Distancia m  
Velocidad m/s  
Area m<sup>2</sup>  
Caudal m<sup>3</sup>/s

#### Incertidumbre del aforo

Categoría	ISO	Estadística
Precision	1.0%	1.0%
Calado	2.3%	12.1%
Velocidad	94.2%	258.3%
Ancho	0.8%	0.8%
Metodo	11.5%	-
# Estaciones	9.4%	-
<b>Total</b>	<b>95.4%</b>	<b>258.5%</b>

#### Resumen

Int. de promediado	60	# Estaciones	6
Margen de inicio	Mizq	Ancho total	0.250
SNR promedio	19.3 dB	Area total	0.015
Temp promedio	10.76 °C	Calado medido	0.060
Ecuac. Caudal	Area central	Velocidad media	0.0595
		<b>Caudal total</b>	<b>0.0010</b>

#### Resultados de la medida

St	Reloj	PtoAfo	Metodo	Calado	%Calado	CalMed	V	FactCorr	Vmedia	Area	Caudal	%Q
0	11:45	0.00	Ningund	0.000	0.0	0.000	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0
1	11:45	0.05	0.6	0.080	0.6	0.032	0.0001	1.00	0.0001	0.004	0.0000	0.0
2	11:47	0.10	0.6	0.080	0.6	0.032	0.2436	1.00	-0.2436	0.004	0.0010	109.1
3	11:48	0.15	0.6	0.080	0.6	0.032	0.1811	1.00	0.1811	0.004	0.0007	-81.1
4	11:50	0.20	0.6	0.060	0.6	0.024	0.2148	1.00	-0.2148	0.003	0.0006	72.0
5	11:50	0.25	Ningund	0.000	0.0	0.000	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0

Filas en caracteres *italicos* indica aviso de control de calidad. Consulta la información de control de calidad.



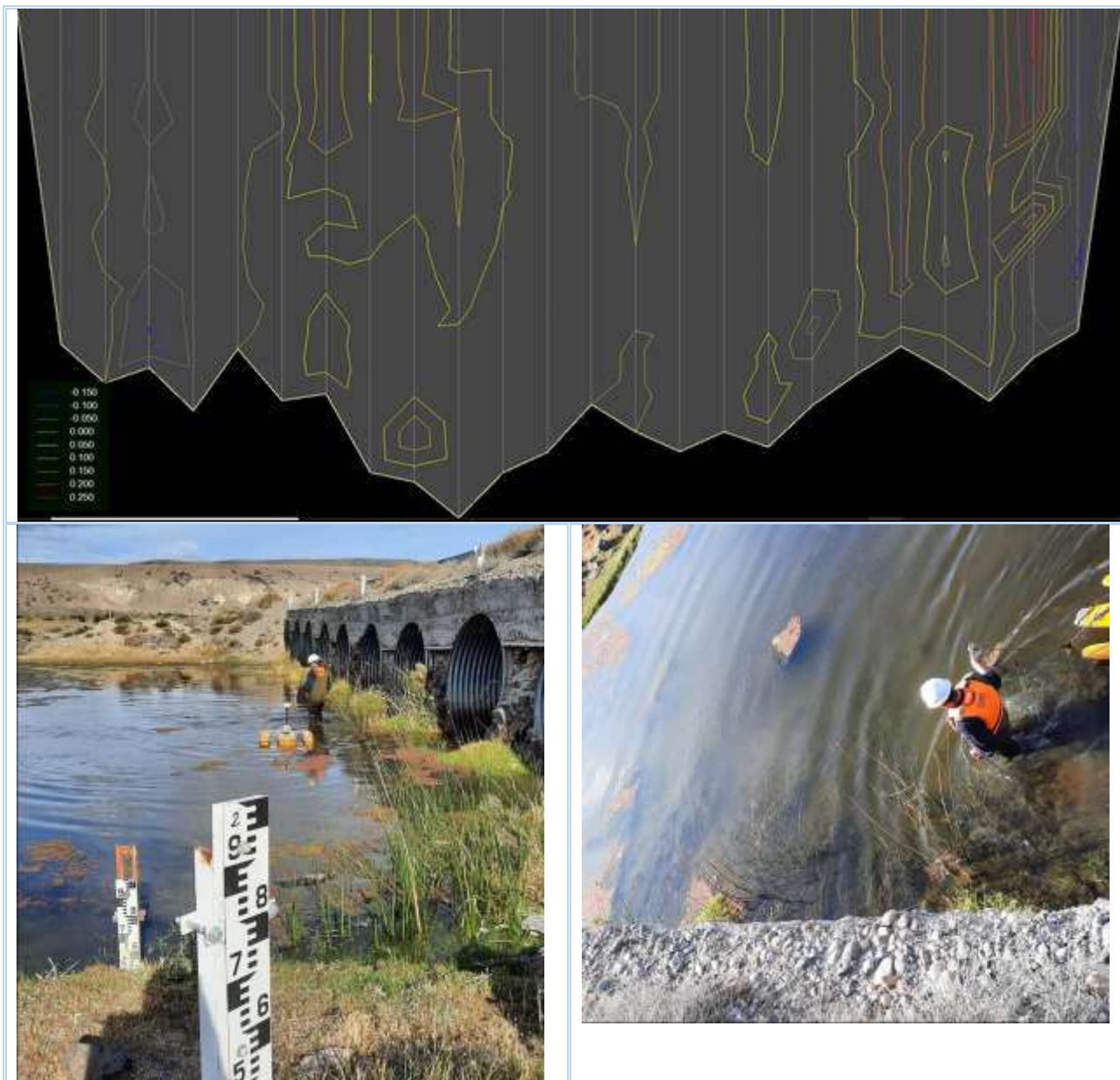


### 1.1.1. Aforos

Los resultados de los aforos son los siguientes:

#### 1.1.1.1. Río Deseado

Río Deseado – Aforos con ADCP					
Estación	Río Deseado				
Fecha	18/4/2021				
Hora inicio	15:38				
Hora final	16:38				
Escala inicial MI	0.45				
Ancho superficial	30.23				
Perímetro mojado	30.41				
Área	15.68				
Profundidad media	0.52				
Velocidad media	0.027				
Caudal	0.416				
Inicio	Desde MI				
Orden	Progresiva	Profundidad	Velocidad media	Q Acum	
1	0	0	0	0	
2	1.21	0.45	0.03	0.004	
3	2.42	0.5	0.001	0.013	
4	3.63	0.48	-0.067	-0.006	
5	4.84	0.54	-0.032	-0.037	
6	6.05	0.46	-0.019	-0.052	
7	7.26	0.52	0.019	-0.052	
8	8.46	0.52	0.085	-0.019	
9	9.67	0.62	0.041	0.024	
10	10.88	0.63	0.069	0.066	
11	12.09	0.68	0.053	0.115	
12	13.3	0.62	0.029	0.147	
13	14.51	0.59	0.02	0.165	
14	15.72	0.53	0.016	0.177	
15	16.93	0.57	-0.006	0.181	
16	18.14	0.59	0.017	0.184	
17	19.35	0.57	0.028	0.2	
18	20.56	0.59	0.054	0.229	
19	21.77	0.53	0.001	0.247	
20	22.97	0.49	0.044	0.261	
21	24.18	0.45	0.116	0.307	
22	25.39	0.49	0.036	0.35	
23	26.6	0.53	0.079	0.385	
24	27.81	0.47	0.093	0.437	
25	29.02	0.43	-0.115	0.431	
26	30.23	0	0	0.416	



### 1.1.1.2. Río Pinturas

#### Río Pinturas Brazo Principal – Aforo con ADCP

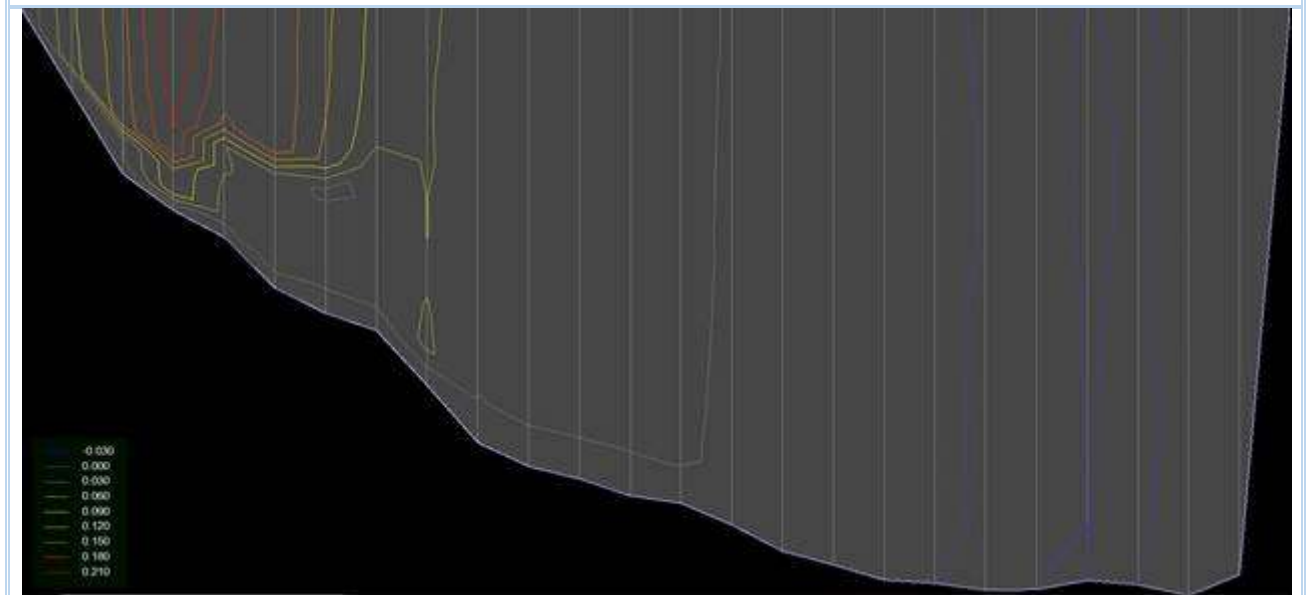
Estación	Río Pintura - Brazo Principal
Fecha	18/4/2021
Hora inicio	09:50
Hora final	10:50
Escala inicial MI	0.71
Ancho superficial	5.07
Perímetro mojado	7.1
Área	5.52
Profundidad media	1.09
Velocidad media	0.068
Caudal	0.374
Inicio	Desde MI

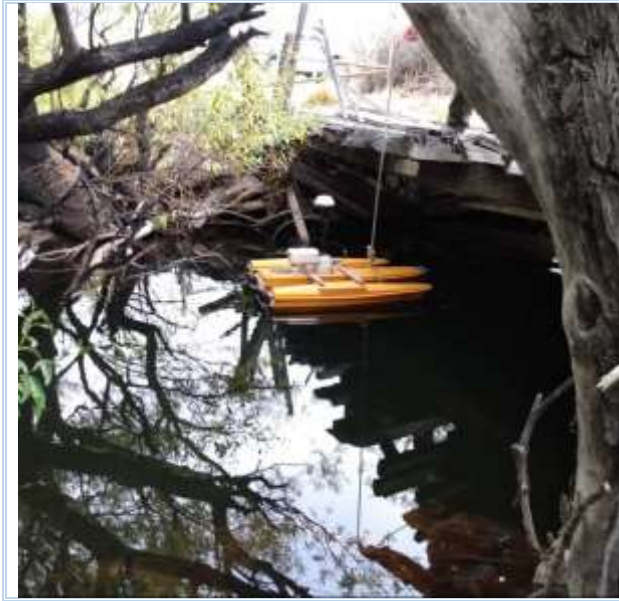


Medición de caudales en UM San José  
MINERA SANTA CRUZ S.A –PROVINCIA DE SANTA CRUZ



Orden	Progresiva (m)	Profundidad (m)	Velocidad media (m/s)	Q Acum (m3/s)
1	0	0	0	0
2	0.2	0.25	0.062	0.001
3	0.41	0.49	0.109	-0.001
4	0.61	0.6	0.189	0.007
5	0.81	0.68	0.111	0.044
6	1.01	0.83	0.114	0.077
7	1.22	0.91	0.081	0.109
8	1.42	0.96	0.054	0.134
9	1.62	1.12	0.059	0.157
10	1.83	1.29	0.034	0.179
11	2.03	1.36	0.038	0.199
12	2.23	1.4	0.04	0.221
13	2.44	1.45	0.039	0.242
14	2.64	1.47	0.047	0.267
15	2.84	1.54	0.018	0.286
16	3.04	1.61	0.02	0.298
17	3.25	1.66	0.018	0.311
18	3.45	1.7	0.007	0.319
19	3.65	1.71	0.006	0.323
20	3.86	1.73	-0.003	0.325
21	4.06	1.73	-0.009	0.321
22	4.26	1.7	0.002	0.318
23	4.46	1.72	-0.006	0.327
24	4.67	1.75	0.014	0.35
25	4.87	1.68	0.016	0.371
26	5.07	0	0	0.374







### Río Pinturas Brazo Secundario – Aforo con ADV

Resumen de aforo				Datos generados: Wed May 12 2021								
<b>Información de fichero</b>				<b>Detalles del punto de aforo</b>								
Nombre del fichero		20210418.001.wad		Nom. del punto de aforo								
Fecha y hora de inicio		2021/04/18 09:33:46		Operadores								
<b>Información del sistema</b>			<b>Unidades técnicas</b>		<b>Incertidumbre del aforo</b>							
Tipo de sensor			FlowTracker		<b>Categoría</b>							
Numero de serie #			p71		<b>ISO</b>							
Version de CPU			2.3		<b>Estadística</b>							
Version de software			2.30		Precision							
Factor de corrección montaje			0.0%		Calado							
			Distancia		Velocidad							
			Velocidad		Ancho							
			Area		Metodo							
			Caudal		# Estaciones							
					<b>Total</b>							
<b>Resumen</b>												
Int. de promediado		60		# Estaciones		22						
Margen de inicio		Mizq		Ancho total		10.500						
SNR promedio		17.3 dB		Area total		1.135						
Temp promedio		8.50 °C		Calado medido		0.108						
Ecuac. Caudal		Area central		Velocidad media		0.0136						
				<b>Caudal total</b>		<b>0.0154</b>						
<b>Datos complementarios</b>												
#	Hora	Punto de aforo	Lec nivel esc	Caudal estimado		Comentarios						
1			0.710									
<b>Resultados de la medida</b>												
St	Reloj	PtoAfo	Metodo	Calado	%Calado	CalMed	V	FactCorr	Vmedia	Area	Caudal	%Q
0	09:33	0.00	Ninguno	0.000	0.0	0.000	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0
1	09:33	0.50	0.6	0.030	0.6	0.012	0.0437	1.00	0.0437	0.015	0.0007	4.2
2	09:35	1.00	0.6	0.100	0.6	0.040	0.0010	1.00	0.0010	0.050	0.0001	0.3
3	09:36	1.50	0.6	0.500	0.6	0.200	0.0661	1.00	0.0661	0.250	0.0165	107.2
4	09:38	2.00	0.6	0.050	0.6	0.020	0.0105	1.00	0.0105	0.025	0.0003	1.7
5	09:40	2.50	0.6	0.080	0.6	0.032	-0.0064	1.00	-0.0064	0.040	-0.0003	-1.7
6	09:41	3.00	0.6	0.100	0.6	0.040	-0.0876	1.00	-0.0876	0.050	-0.0044	-28.4
7	09:43	3.50	0.6	0.150	0.6	0.060	-0.0018	1.00	-0.0018	0.075	-0.0001	-0.9
8	09:44	4.00	0.6	0.150	0.6	0.060	0.0005	1.00	0.0005	0.075	0.0000	0.2
9	09:45	4.50	0.6	0.150	0.6	0.060	0.0127	1.00	0.0127	0.075	0.0010	6.2
10	09:47	5.00	0.6	0.100	0.6	0.040	-0.0015	1.00	-0.0015	0.050	-0.0001	-0.5
11	09:48	5.50	0.6	0.100	0.6	0.040	0.0014	1.00	0.0014	0.050	0.0001	0.5
12	09:49	6.00	0.6	0.120	0.6	0.048	-0.0388	1.00	-0.0388	0.060	-0.0023	-15.1
13	09:51	6.50	0.6	0.120	0.6	0.048	0.0809	1.00	0.0809	0.060	0.0048	31.5
14	09:52	7.00	0.6	0.120	0.6	0.048	0.0020	1.00	0.0020	0.060	0.0001	0.8
15	09:53	7.50	0.6	0.050	0.6	0.020	-0.0401	1.00	-0.0401	0.025	-0.0010	-6.5
16	09:55	8.00	0.6	0.100	0.6	0.040	0.0001	1.00	0.0001	0.050	0.0000	0.0
17	09:56	8.50	0.6	0.050	0.6	0.020	0.0017	1.00	0.0017	0.025	0.0000	0.3
18	09:57	9.00	0.6	0.100	0.6	0.040	-0.0001	1.00	-0.0001	0.050	0.0000	0.0
19	09:58	9.50	0.6	0.060	0.6	0.024	-0.0001	1.00	-0.0001	0.030	0.0000	0.0
20	10:00	10.00	0.6	0.040	0.6	0.016	0.0017	1.00	0.0017	0.020	0.0000	0.2
21	10:00	10.50	Ninguno	0.000	0.0	0.000	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0

Filas en caracteres italicos indica aviso de control de calidad. Consulta la informacion de control de calidad.

Por lo tanto, el caudal total de ambas secciones (principal y secundario) es de:

$$Q_t = Q_{bp} + Q_{bs}$$

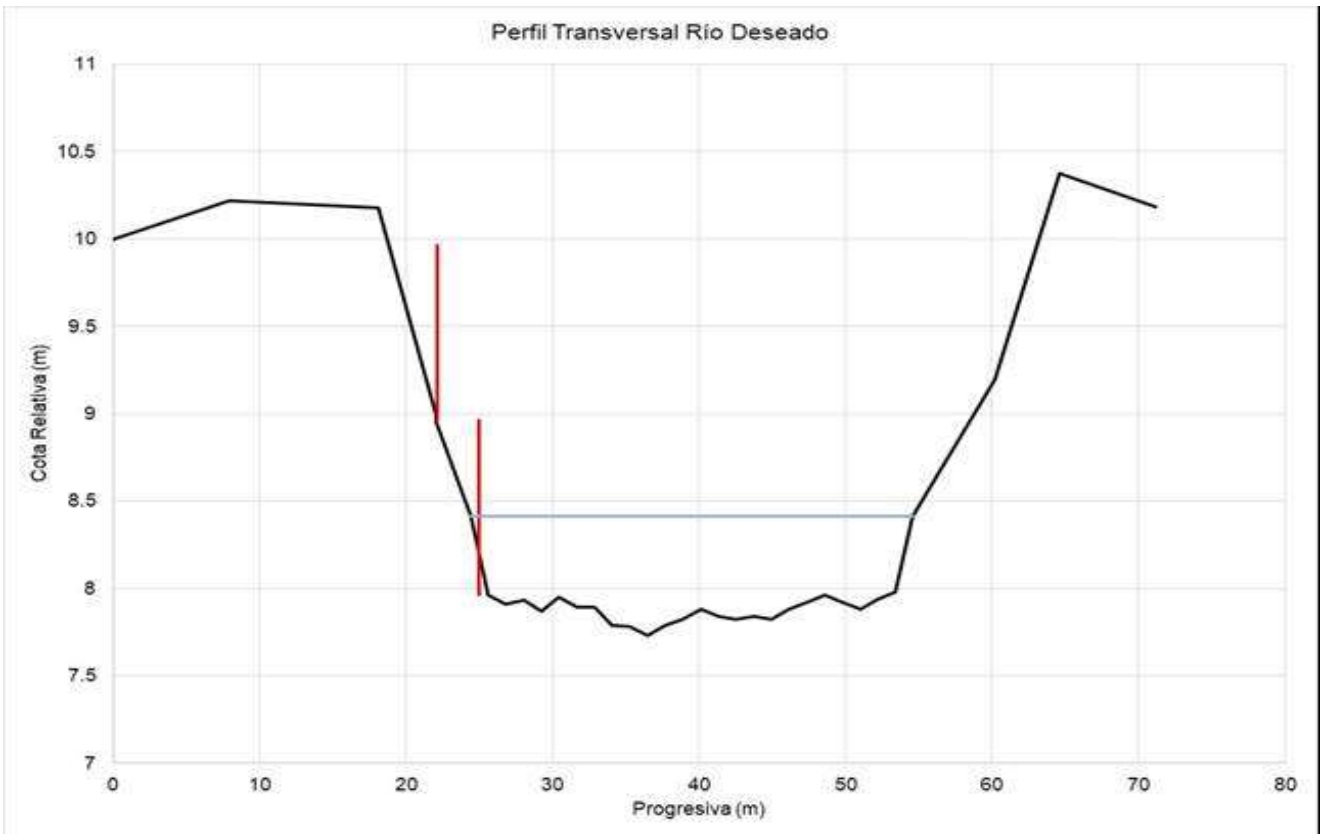
$$Q_t = 0.374 \text{ m}^3/\text{s} + 0.108 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_t = 0.482 \text{ m}^3/\text{s} \text{ para una altura Hidrométrica de } 0.71$$



### 1.1.2. Relevamientos Topográficos

Orden	Referencia	Progresiva (m)	Cota Relativa (m)	Orden	Referencia	Progresiva (m)	Cota Relativa (m)
1		0.00	10.00	18		38.91	7.82
2		7.90	10.22	19		40.12	7.88
3		18.10	10.18	20		41.33	7.84
4		22.10	8.99	21		42.54	7.82
5		22.10	8.95	22		43.75	7.84
6	MI	24.40	8.41	23		44.96	7.82
7		25.61	7.96	24		46.17	7.88
8		26.82	7.91	25		47.37	7.92
9		28.03	7.93	26		48.58	7.96
10		29.24	7.87	27		49.79	7.92
11		30.45	7.95	28		51.00	7.88
12		31.66	7.89	29		52.21	7.94
13		32.86	7.89	30		53.42	7.982
14		34.07	7.79	31		54.63	8.412
15		35.28	7.78	32	MD	60.2	9.194
16		36.49	7.73	33		64.6	10.373
17		37.70	7.79	34		71.2	10.185



Se calculó la pendiente media del curso de agua tomando cotas aguas abajo, tal como se observa en la tabla inferior:

Referencia	Progresiva (m)	Cota Relativa (m)
PA Puente	0	8.41
	12.6	8.41
	28.9	8.40
	55.1	8.41
	66.2	8.41
	91.3	8.38
	108.4	8.37
Pendiente media		0.00038745



#### 1.1.2.1. Río Pinturas

La tabla y el gráfico siguiente presentan el perfil transversal relevado en donde se puede apreciar los dos brazos del río Pinturas y están graficadas las dos escalas hidrométricas.

Orden	Referencia	Progresiva (m)	Cota Relativa (m)	Orden	Referencia	Progresiva (m)	Cota Relativa (m)
1		0.00	9.49	30		68.33	5.71
2		15.10	8.25	31		68.54	5.74
3		18.50	7.53	32		68.74	5.76
4	PABSMI	29.80	7.39	33		68.94	5.73

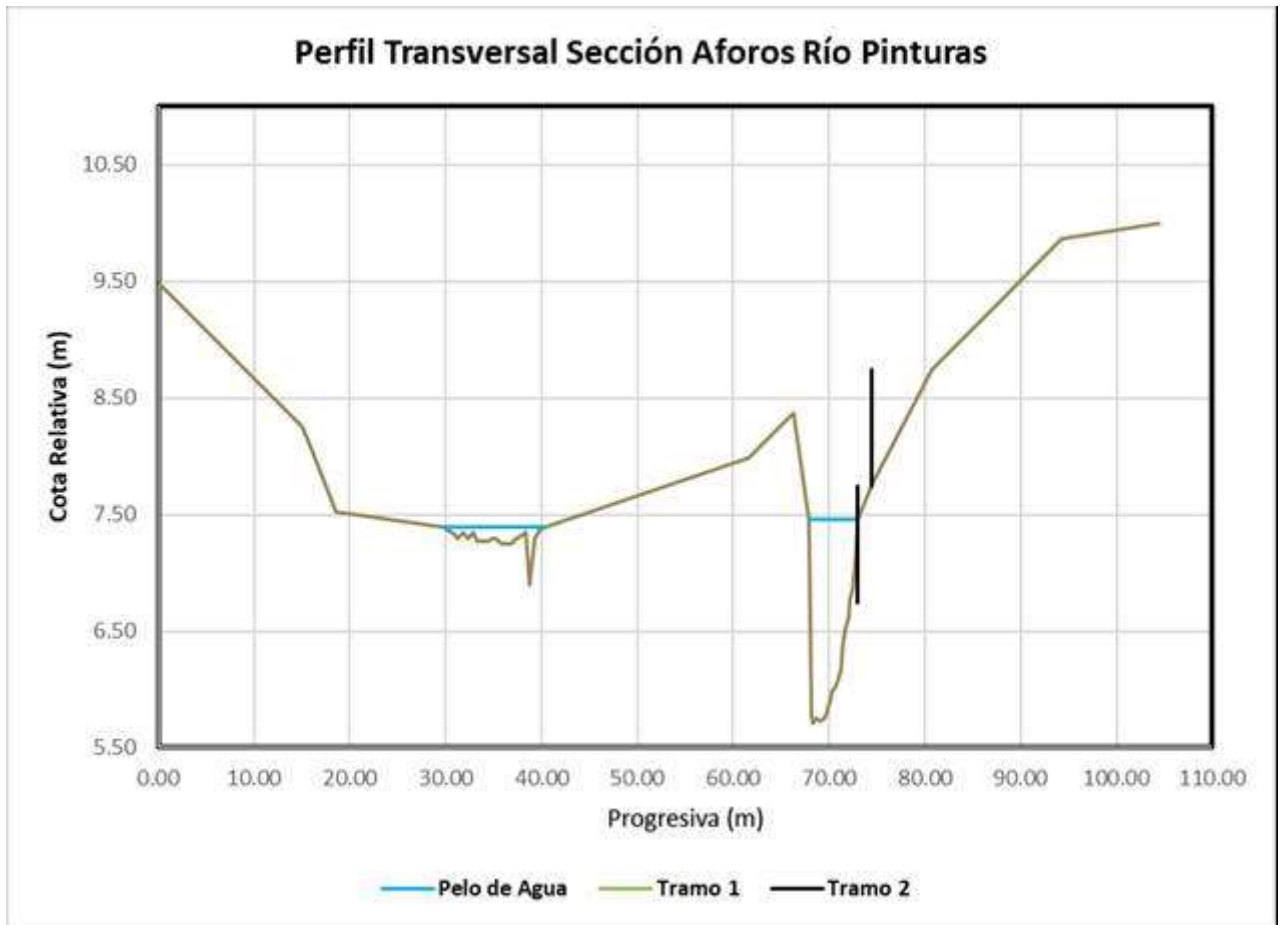




Medición de caudales en UM San José  
MINERA SANTA CRUZ S.A –PROVINCIA DE SANTA CRUZ



Orden	Referencia	Progresiva (m)	Cota Relativa (m)	Orden	Referencia	Progresiva (m)	Cota Relativa (m)
5		30.30	7.35	34		69.14	5.73
6		30.80	7.33	35		69.35	5.75
7		31.30	7.29	36		69.55	5.76
8		31.80	7.34	37		69.75	5.80
9		32.30	7.29	38		69.96	5.85
10		32.80	7.34	39		70.16	5.92
11		33.30	7.27	40		70.36	5.99
12		33.80	7.27	41		70.56	6.01
13		34.30	7.27	42		70.77	6.06
14		34.80	7.29	43		70.97	6.10
15		35.30	7.29	44		71.17	6.17
16		35.80	7.24	45		71.38	6.34
17		36.30	7.24	46		71.58	6.50
18		36.80	7.24	47		71.78	6.55
19		37.30	7.29	48		71.99	6.63
20		37.80	7.31	49		72.19	6.78
21		38.30	7.34	50		72.39	6.86
22		38.80	6.89	51		72.59	6.97
23		39.30	7.29	52		72.80	7.21
24		39.80	7.36	53	PABPMD	73.00	7.46
25	PABSMD	40.30	7.39	54		74.60	7.78
26		61.60	7.99	55		80.70	8.75
27		66.30	8.36	56		87.80	9.32
28	PABPMI	67.93	7.46	57		94.30	9.86
29		68.13	5.78	58		104.40	10.00



Se calculó la pendiente media del curso de agua tomando cotas tanto aguas arriba como aguas abajo, tal como se observa en la tabla inferior:

Referencia	Progresiva (m)	Cota Relativa (m)
	-54.9	7.51
	-35.2	7.51
	-18.9	7.50
Sección de Aforo	0	7.46
	11.1	7.49
	36.2	7.47
	53.6	7.46
Longitud Total (m)	108.5	
Diferencia de Nivel (m)		0.05
Pendiente media		0.00045161



*Medición de caudales en UM San José*  
**MINERA SANTA CRUZ S.A –PROVINCIA DE SANTA CRUZ**



## ANEXO III

# ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES DE MÁXIMA INUNDACIÓN RESERVORIO LG1 CON IMÁGENES SENTINEL

## 1.1 Estimación de Superficies.

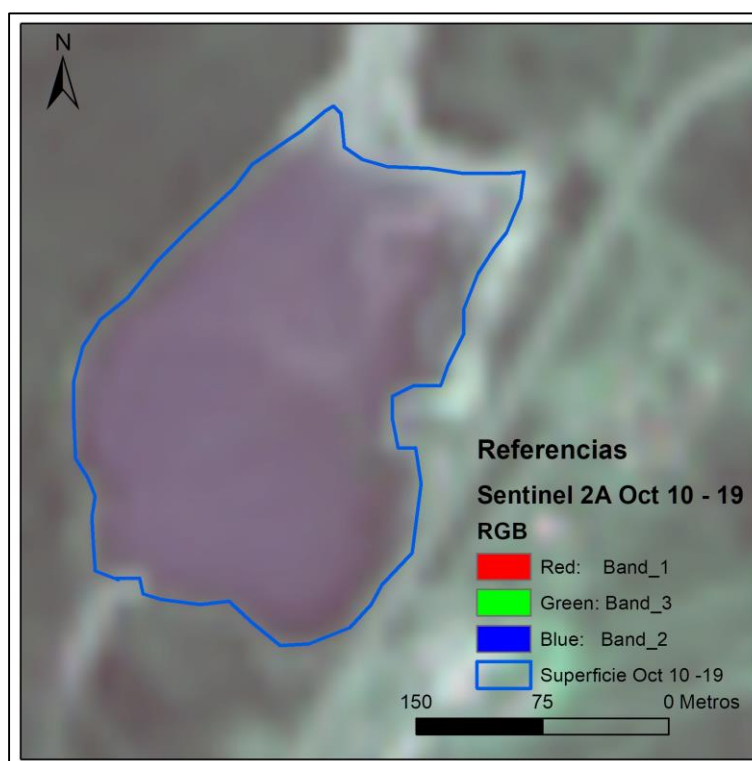
Se realizó la delimitación de superficies de máxima inundación por medio de imágenes Satelitales del sensor Sentinel 2a, con resolución de píxel 10x10 m para las bandas de onda visible RGB, según combinación 132, con un método de submuestreo por convolución cubica y saturación de 30 %, a su vez, se contempló el gamma stretch por desviación estándar de n 2.5.

Los ajustes del display solo con falso color 132 (RGB), generan un realce de las superficies de agua en tonalidades azules oscuras para profundidades representativas, y azules con degradación al violeta en función de la reducción de la respuesta espectral (menores rangos de profundidad).

Se ha tomado la superficie evaluada en 10-10-2019, cuyo volumen conocido y expresado en el informe de Balance Hídrico Unidad Minera San José. Geo Santacruz 2019, donde representan una superficie del reservorio LG1 de 59046 m<sup>2</sup> para un volumen de 41073 m<sup>3</sup>, con un rango de profundidades de evaluación próximo a los 0,7 m.

En este mismo orden de ideas, se delimitaron las superficies de máxima inundación para los reservorio LG1 con profundidad superiores a 0,3 m del pelo de agua, estando la superficie calculada con respecto a la real en un orden de variación de 10%, margen de error satisfactorio conociendo el tamaño de píxel evaluado y para LG4 tomando en cuenta la cota de la batimetría generada, como se refleja en las siguientes figuras (todas las áreas expresadas em m<sup>2</sup>)

Bajo estos principios se ha decidió estimar los volúmenes por medio de las superficies registradas, en 0,3 a 0,7 tomando en cuenta la superficie máxima de inundación y la respuesta espectral para cada sección evaluada ver Figura 1.



**Figura 1.** Superficie Máxima inundación Reservorio LG1 para 10 octubre 2019.

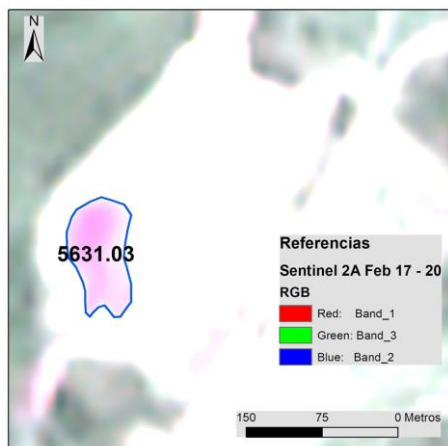


Figura 2. Superficie Máxima inundación Reservoirio LG1 para Feb-20.

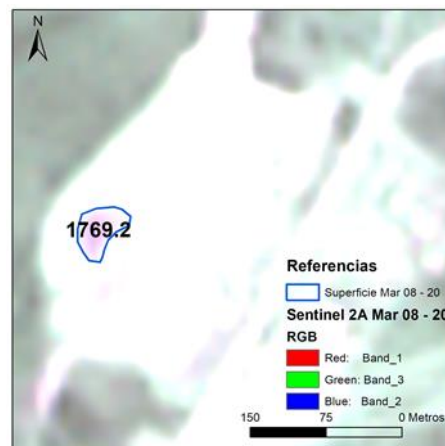


Figura 3. Superficie Máxima inundación Reservoirio LG1 para Mar-20.

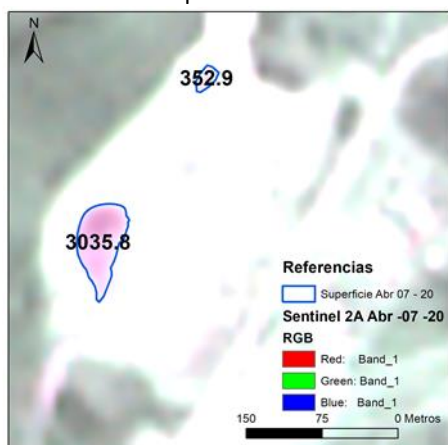


Figura 4. Superficie Máxima inundación Reservoirio LG1 para Abr-20.

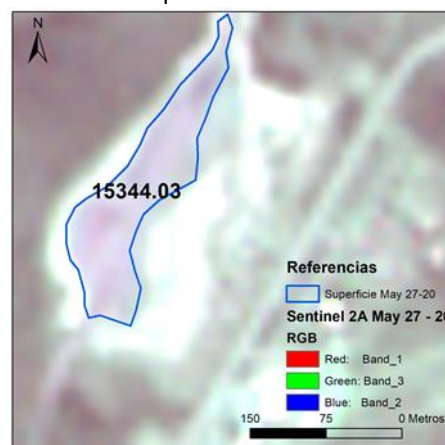


Figura 5. Superficie Máxima inundación Reservoirio LG1 para May-20.

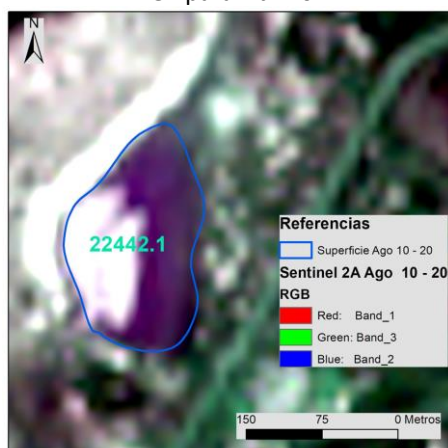


Figura 6. Superficie Máxima inundación Reservoirio LG1 para Ago-20.

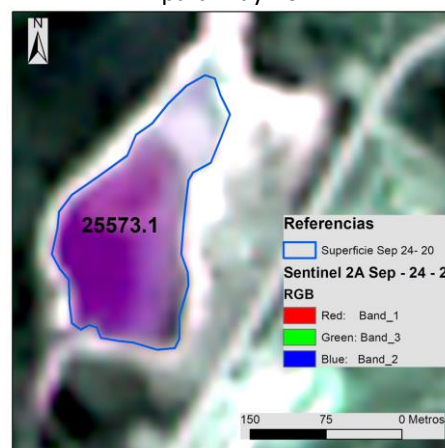


Figura 7. Superficie Máxima inundación Reservoirio LG1 para Sep-20.

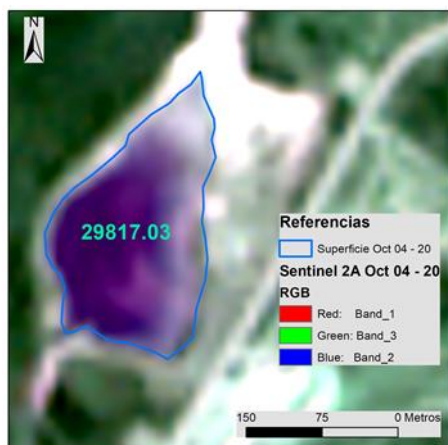


Figura 8. Superficie Máxima inundación Reservoirio LG1 para Oct-20.

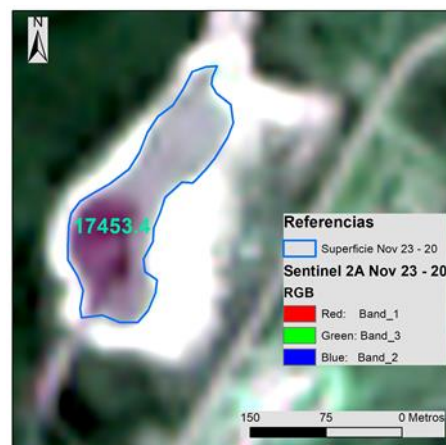


Figura 9. Superficie Máxima inundación Reservoirio LG1 para Nov-20.

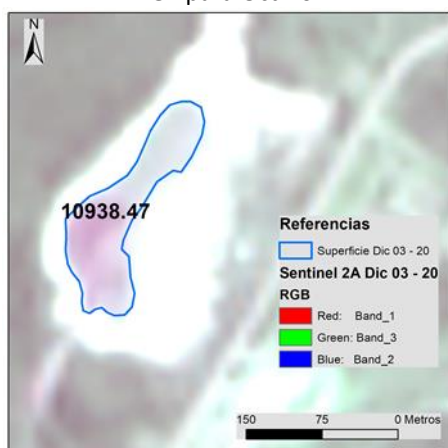


Figura 10. Superficie Máxima inundación Reservoirio LG1 para Dic-20.

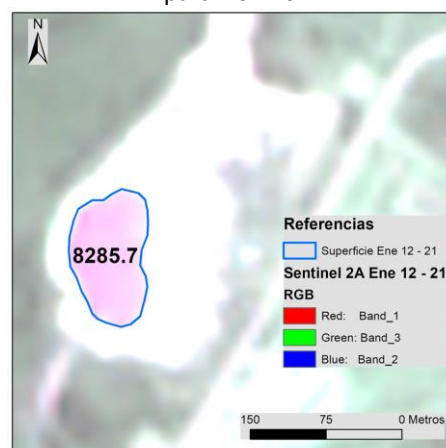


Figura 11. Superficie Máxima inundación Reservoirio LG1 para Ene-21.

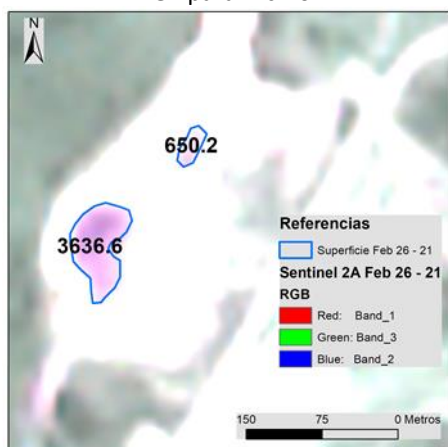


Figura 12. Superficie Máxima inundación Reservoirio LG1 para Feb-21.

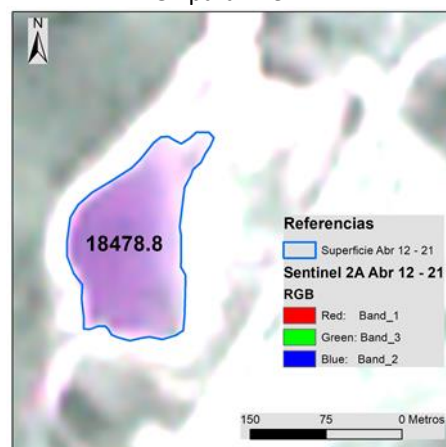
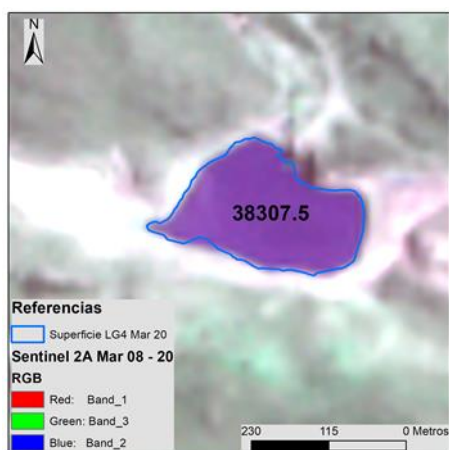
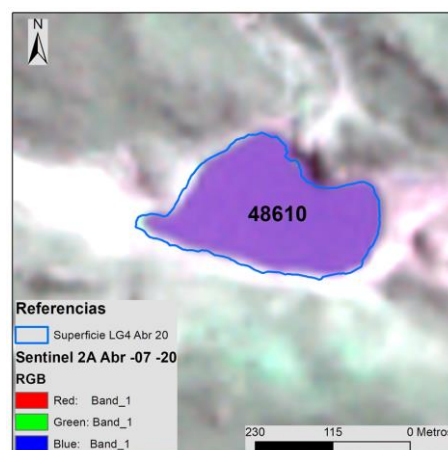


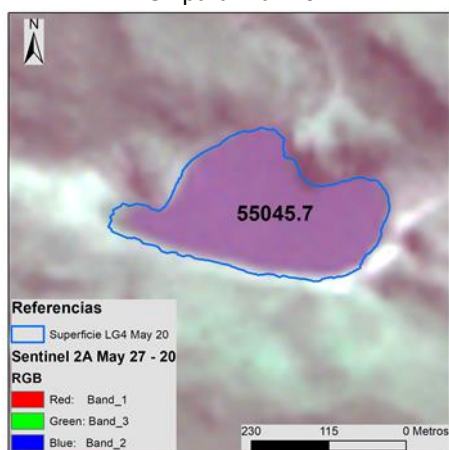
Figura 13. Superficie Máxima inundación Reservoirio LG1 para Abr-21.



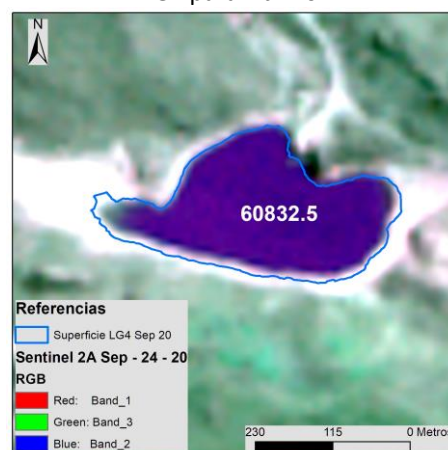
**Figura 14.** Superficie Máxima inundación Reservoirio LG4 para Mar-20.



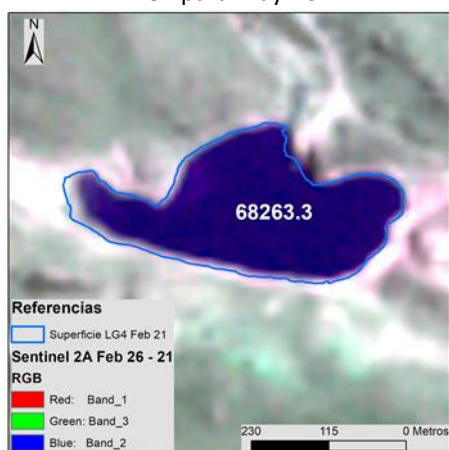
**Figura 15.** Superficie Máxima inundación Reservoirio LG4 para Abr-20.



**Figura 16.** Superficie Máxima inundación Reservoirio LG4 para May-20.



**Figura 17.** Superficie Máxima inundación Reservoirio LG4 para Sep-20.



**Figura 18.** Superficie Máxima inundación Reservoirio LG4 para Feb-21.