

ANEXO 15
RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO

PROYECTO
“FLOTACIÓN DE ESCORIAS CONVERTIDOR TENIENTE
FUNDICIÓN POTRERILLOS”
CODELCO CHILE DIVISIÓN SALVADOR



PREPARADO POR
CODELCO CHILE DIVISIÓN SALVADOR

RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO

**PROYECTO
“FLOTACIÓN DE ESCORIAS CONVERTIDOR TENIENTE
FUNDICIÓN POTRERILLOS”
CODELCO CHILE DIVISIÓN SALVADOR**



**PREPARADO POR
HUGO HENRÍQUEZ AMARO
PARA
CODELCO CHILE DIVISIÓN SALVADOR**

RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO PROYECTO FLOTACIÓN DE ESCORIAS CONVERTIDOR TENIENTE FUNDICIÓN POTRERILLOS CODELCO CHILE DIVISIÓN SALVADOR

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Ubicación	3
1.2 Morfología	3
1.3 Clima	3
1.4 Antecedentes	4
2. MARCO GEOLÓGICO.....	4
2.1 Formación Asientos Jav y Javh	4
2.2 Formación Sierra Fraga JKf y JKah	4
2.3 Formación Llanta Kll	5
2.4 Secuencia Volcánica Cerro Valiente Tl yTt	5
2.5 Depósitos de Gravas Polimícticas Tga 2	5
2.6 Depósitos Aluviales Cuaternarios Qal	5
2.7 Sedimentos Antrópicos Relaves y Ripios Rl y Rp.....	5
3. HIDROGEOLOGÍA.....	6
3.1 Hoya Hidrográfica.....	6
3.2 Unidades Hidrogeológicas.....	6
3.2.1 Rocas Impermeables	7
3.2.2 Sedimentos Clásticos Torrenciales.....	7
3.2.3. Sedimentos Clásticos Aluviales	7
3.2.4 Sedimentos Clásticos Antrópicos Relaves.....	7
3.2.5 Sedimentos Clásticos Antrópicos Ripios.....	7
3.3 Recarga.....	8
3.4 Almacenamiento	8
3.5 Descarga	8
3.6 Calidad de Aguas y Aplicaciones de Test ABA y SPLP	9
4. CONCLUSIONES	10

Figura 1. Plano Geológico

Figura 2. Hoya Hidrográfica Quebrada Afluente

1. INTRODUCCIÓN

A solicitud del Proyecto “Flotación de Escorias Convertidor Teniente Fundición Potrerillos”, se efectuó un Reconocimiento Hidrogeológico que abarca el Área Industrial Potrerillos, la Quebrada Afluyente ubicada en el Sector Botadero de Escorias y la Quebrada Mina de Cal, a fin de analizar la variable hidrogeológica de la Quebrada Afluyente, y su condición como sector para instalar un depósito de relaves filtrados al 12% provenientes de la flotación de escorias que involucra el proyecto en evaluación. El objetivo es analizar desde la variable hidrogeológica la Quebrada Afluyente para su uso como depósito de relaves filtrados, y específicamente analizar el depósito como un área generadora de potenciales soluciones ácidas, considerando los aspectos ambientales del sector de emplazamiento.

1.1 Ubicación

El área industrial de Potrerillos se encuentra a 25 km al Sureste de la ciudad El Salvador, con coordenadas centrales N 7.076.500 y E 452.000 (Datum Provisorio Sudamericano La Canoa Venezuela 1956). El ex-campamento Potrerillos y las áreas industriales fueron en su mayor parte construidos sobre depósitos de ripios mineros. La Quebrada Afluyente tiene como cabecera las instalaciones industriales de la Fundición, y constituye por el lado sur el afluente superior de la Quebrada Mina de Cal.

1.2 Morfología

El área de reconocimiento se encuentra en la precordillera andina una altura media de 2.800 m sobre una terraza de acumulación sedimentaria que cubre parcialmente a rocas fundamentales mesozoicas erosionadas por profundas quebradas de dirección general Sureste Noroeste. En este caso las laderas de la quebrada principal denominada Mina de Cal y la Quebrada Afluyente se encuentran parcialmente cubiertas por terrazas de gravas que quedan suspendidas con respecto al fondo de las quebradas quedando expuestos algunos afloramientos basales.

1.3 Clima

El área de Potrerillos tiene un clima de desierto frío de montaña con precipitaciones pluviales y nivales de régimen invernal, con un promedio de 40,9 mm anuales para un período de 42 años de 1928 a 1970, ha tenido algunos años secos. La temperatura media anual es de 11,8 °C con promedios máximos de 18,4 °C y mínimos de 4,7 °C, tiene gran sequedad del aire con un alto porcentaje de días soleados. Se ha registrado como temperatura mínima -10° C en un mes de Junio¹.

¹ Evaluación de Recursos Hídricos y Alternativas de Abastecimiento de Aguas, Provincia de Chañaral, Región de Atacama por Ingeniería y Geotecnia 1981 para División Salvador.

1.4 Antecedentes

La base topográfica corresponde a las cartas Potrerillos y Portal del Inca de escalas 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar. En Junio de 2007 se realizó un Reconocimiento Hidrogeológico del Área RIL Potrerillos y en Enero del 2008 un Reconocimiento Hidrogeológico del Área Industrial Potrerillos para el Plan de Cierre de División Salvador, ambos trabajos los efectuó el hidrogeólogo Hugo Henríquez Amaro.

En Febrero de 2011 se efectuó un trabajo de Flora y Fauna que cubrió las Quebradas Mina de Cal y Afluente realizado para el Proyecto Flotación de Escorias Convertidor Teniente Fundición Potrerillos de DSAL. CIMM T&S S.A. en Marzo de 2011 entregó el informe final “Aplicación de Tests ABA y SPLP a Muestra de Producto de Flotación de Escoria” como parte del Programa Metalúrgico Escala Laboratorio con Muestra de Escoria Convertidor Teniente – DSAL CODELCO Chile.

2. MARCO GEOLÓGICO

El marco geológico de rocas fundamentales visibles en la localidad de Potrerillos, son principalmente rocas volcánicas con intercalaciones sedimentarias de edades Mesozoica, las cuales se encuentran parcialmente cubiertas por un delgado espesor de gravas polimícticas de origen torrencial de edad Terciario Mioceno, por efecto de alzamiento se produjo una intensa erosión que originaron profundas quebradas dejando expuestas en las laderas las rocas fundamentales, los fondos de las quebradas se encuentran cubiertos por delgadas capas de sedimentos aluviales de edad Cuaternaria.

Con respecto a la Quebrada El Jardín principal rasgo morfológico Este Oeste, el bloque Sur donde se encuentra Potrerillos es un block alzado que permite exponer las rocas fundamentales antiguas en los bordes de las quebradas y específicamente en la Quebrada Mina de Cal y Quebrada Afluente. Los alzamientos de bloques están relacionados con el levantamiento de la Cordillera de los Andes del Terciario Superior y en el área en estudio se encuentra asociado a un tectónismo regional de dirección Sureste Noroeste.(Ver figura 1)

2.1 Formación Asientos Jav y Javh

Las rocas de la formación Asientos son las más antiguas del área y están constituidas por rocas volcánicas y conglomerados muy litificados, se encuentran cubriendo parte del borde Noroeste del cerro Cortadera en la cabecera de la Quebrada San Agustín y en la ladera Sur del sector Este se encuentran estas mismas rocas con alteración hidrotermal. Tienen una edad Jurásica.

2.2 Formación Sierra Fraga JKf y JKah

La formación Sierra Fraga está formada principalmente por rocas volcánicas andesíticas con intercalaciones de calizas y areniscas litificadas, tiene gran distribución areal y se encuentran aflorando en las laderas de la Quebradas San Agustín, Mina de Cal, Agua Dulce y en los sectores Oeste con alteración hidrotermal y en el central del borde Sur de Quebrada El Jardín y en los pies

de la ladera Norte de la quebrada anteriormente citada. La edad de estas rocas es Jurásicas Cretácicas.

2.3 Formación Llanta KII

Las rocas de esta formación tienen gran distribución regional, son principalmente lavas andesíticas que se encuentran cubriendo parcialmente a rocas de la formación Sierra Fraga, en esta área ocupan parte del sector Suroeste de la Quebrada Los Sapos. Son rocas de edad Cretácica.

2.4 Secuencia Volcánica Cerro Valiente TI yTt

La secuencia volcánica Cerro Valiente está formada por lavas traquiandesíticas **TI** cubiertas parcialmente por tobas soldadas **Tt**, el conjunto se encuentra cubriendo el extremo Sureste de Potrerillos y constituye el cerro de 3.667 m cercano a Miraflores. A estos complejos volcánicos se les atribuye edad Paleoceno- Eoceno Inferior.

2.5 Depósitos de Gravas Polimícticas Tga 2

Es un paquete de rocas sedimentarias clásticas débilmente consolidadas que en su mayor parte fueron originadas por corrientes de barros de origen torrencial, tienen escasa estratificación, mala selección coexistiendo sedimentos de diversas granulometrías con clastos angulosos a subangulosos. Son materiales con baja porosidad y permeabilidad, tienen distribución regional y en este caso por encontrarse sobre un bloque tectónicamente alzado no presentan gran espesor, como se presentan en las quebradas dejando expuesto el contacto entre las rocas fundamentales con los sedimentos aluviales suprayacentes. La edad es Miocena del Terciario.

2.6 Depósitos Aluviales Cuaternarios Qal

Son depósitos que cubren los fondos de las quebradas con delgados espesores de gravas, arenas y limos, originados por las escasas lluvias torrenciales que arrastran y acumulan en la base de las quebradas los sedimentos producidos por la meteorización de las rocas y sedimentos pre existente.

2.7 Sedimentos Antrópicos Relaves y Ripios RI y Rp

Se trata de sedimentos producidos por la operación minera y son el resultado de la trituración de rocas se encuentran depositados sobre las gravas torrenciales. Los relaves son materiales muy finos que van de arenas a limos muy finos cubren parte del sector Sureste de la hoya hidrográfica de la Quebrada Mina de Cal y se encuentran en formas escalonadas asociados a una quebrada paralela al Sur de la quebrada principal de la hoya. Los ripios son materiales sedimentarios más gruesos y sus depósitos forman parte del piso sobre el cual se construyeron gran parte de las

viviendas de Potrerillos, además se encuentran depósitos relacionados con la Quebrada Afluyente a la Quebrada Mina de Cal.

3. HIDROGEOLOGÍA

Por sustentabilidad la potencial generación de soluciones ácidas se debe analizar en un marco hidrogeológico relacionado con la meteorología local, que permita visualizar el comportamiento futuro de las unidades hidrogeológicas sometidas a condiciones extremas de precipitaciones.

3.1 Hoya Hidrográfica

La hoya hidrográfica de la Quebrada Mina de Cal que incide directamente sobre el área de Potrerillos es muy pequeña y es del orden de 10 km² con una altura aproximada de 2.800 m. s.n.m., no se considera el sector bajo junto a la Quebrada El Jardín por no participar mayormente en el problema. La hoya hidrográfica de la Quebrada Afluyente es tributaria de la Quebrada Mina de Cal, es muy pequeña del orden de 0,3 Km², y su cabecera se encuentra entre el Botadero de Escorias y un ex grupo habitacional de la ciudad de Potrerillos (Ver figura 2).

3.2 Unidades Hidrogeológicas

Con la información geológica obtenida para este sector se reconocen cinco unidades hidrogeológicas: rocas impermeables, sedimentos clásticos torrenciales, sedimentos clásticos aluviales y sedimentos clásticos antrópicos de relaves y rípios.

Estos últimos sedimentos, como son antiguos desechos de minerales sulfurados potencialmente podrían generar soluciones ácidas, sin embargo en base a un estudio de movilidad de contaminantes desarrollado por Fundación Chile en el año 2010, se determinó que los rípios antiguos muestran un bajo contenido de sulfuros y un potencial neto de neutralización cercano a cero, quedando clasificados como comportamiento indeterminado, pero que sin embargo por su bajo contenido de sulfuros significa que la cantidad máxima de ácido que podrían generar es muy limitada. Asimismo, los resultados obtenidos en las diferentes pruebas de caracterización del material indican que en todas las muestras analizadas, la movilidad de los potenciales contaminantes es baja. El bajo potencial de generación de ácido y la baja disolución de los metales en la prueba de SPLP, junto con las bajas concentraciones de todos los elementos medidos en las soluciones efluentes, tanto de las celdas como de las columnas indican una baja movilidad potencial de los contaminantes que permiten concluir que los residuos muestreados no presentan ninguna característica de peligrosidad².

² Estudios Complementarios para el Cierre de Faenas de Instalaciones Fuera de Operación, Fundación Chile, 2009-2010.

3.2.1 Rocas Impermeables

El área superior de la hoya hidrográfica son lavas volcánicas del Terciario, en cambio el substrato de la localidad de Potrerillos son las rocas volcánicas y sedimentarias litificadas de la formación Sierra Fraga de edad Jurásica Cretácica cuyos afloramientos son visibles en las laderas de las Quebradas San Agustín, Mina de Cal, Afluyente, Agua Dulce y El Jardín.

El conjunto de rocas fundamentales son totalmente impermeables,

3.2.2 Sedimentos Clásticos Torrenciales

Cubriendo parcial y superficialmente las rocas fundamentales se encuentran las gravas torrenciales producto de corrientes de barros con una gradiente superficial de 6 % con dirección Sureste Noroeste, tienen un espesor de algunas decenas de metros. Se estima que las gravas tienen una baja permeabilidad y por su posición elevada no es factible que constituyan acuíferos. Las instalaciones industriales de Potrerillos y los sedimentos antrópicos ripios y relaves se encuentran sobre esta unidad, que se encuentra suspendida con respecto a las quebradas laterales.

3.2.3. Sedimentos Clásticos Aluviales

Los depósitos aluviales se depositaron en los fondos de las angostas quebradas de dirección Sureste Noroeste y en la Quebrada principal El Jardín de dirección Este Oeste. Por efecto de las eventuales y escasas lluvias tienen una mejor permeabilidad que las gravas. Son los únicos drenajes activos del presente.

3.2.4 Sedimentos Clásticos Antrópicos Relaves

El sector Suroeste de Potrerillos fue ocupado para la depositación de relaves producto de la trituración de rocas mineralizadas de la mina antigua, el principal depósito se encuentra entre el Cementerio y lo que fue la ciudad de Potrerillos, se encuentran otros depósitos menores asociados a una quebrada paralela al Suroeste de la Quebrada Mina de Cal desembocando en la Quebrada El Jardín y en la parte baja de la Quebrada Mina de Cal. La granulometría de los relaves corresponde a arenas y limos finos. Los depósitos han tenido erosión fluvial principalmente y por décadas han sido expuestos a altas y bajas temperaturas. Por granulometría muy fina y posición topográfica difícilmente pueden constituir acuíferos.

3.2.5 Sedimentos Clásticos Antrópicos Ripios

Estos sedimentos ocupan parte del sector Noreste de la ciudad de Potrerillos y existe una serie de depósitos escalonados asociados a la pequeña Quebrada Afluyente por el sector Sureste superior a la Quebrada Mina de Cal. Los materiales corresponden a una molienda gruesa de rocas mineralizadas de la mina antigua, tienen buena permeabilidad y poco espesor. Del punto de vista

estratigráfico se encuentran sobre las gravas torrenciales. Tal como los relaves los rípios han estado expuestos por décadas a un secamiento constante por gravitación debido a su posición. La individualización de los depósitos se deberá efectuar a una escala topográfica de mayor tamaño.

3.3 Recarga

La pequeña hoya hidrográfica de la Quebrada Afluente recibe como recarga natural un promedio anual de 40,9 mm de precipitaciones, no tiene aguas arriba un respaldo de hoya hidrográfica que le proporcione una recarga subterránea procedente del sector Sureste ya que existe la ciudad e instalaciones mineras. La Quebrada Mina de Cal recibe además recargas antrópicas procedentes del riego que se realiza sobre el Botadero de Escorias con fines de enfriamiento y que no afectan a la Quebrada Afluente.

3.4 Almacenamiento

El almacenamiento de las precipitaciones es muy difícil ya que en su mayor parte se pierde como escurrimiento superficial y evaporación, por su escasez, fuerte pendiente y carácter torrencial de las precipitaciones. Las únicas unidades factibles de almacenar aguas son los sedimentos clásticos, los relaves tienen granulometría muy fina y heterogénea por lo cual una recarga importante es difícil, los con mejor disposición son los rípios que tienen buena permeabilidad pero descansan sobre las gravas torrenciales que podrían retener parte de la agua absorbida y si así fuese serían drenada en el contacto con las rocas basales impermeables. De todas maneras las recargas naturales son ínfimas.

3.5 Descarga

Al encontrarse la ex ciudad, las instalaciones industriales de la fundición y los depósitos de relaves y rípios sobre las gravas torrenciales y éstas a su vez sobre un block alzado de rocas mesozoicas impermeables, el cual se encuentra cortado por tres quebradas principales profundas como son San Agustín, Mina de Cal con su Quebrada Afluente y Agua Dulce, dejando expuestas las rocas fundamentales impermeables, el block tiene una fuerte pendiente superficial hacia el Noroeste, facilitando el drenado superficial y subsuperficial. Los socavones hechos para extracción de calizas al originar vacíos funcionan por gravedad como bombas extractoras de las rocas suprayacentes. Dichas quebradas históricamente han drenado y descargado las gravas torrenciales. En el caso de la hoya hidrográfica de la Quebrada Mina de Cal en que se encuentra Potrerillos con todas sus instalaciones y los depósitos de relaves y rípios, los cuales mientras estuvieron activos también fueron drenados por gravitación, como han pasado décadas con las mismas condiciones los sedimentos antrópicos se deben encontrar totalmente secos.

La Quebrada Mina de Cal tiene algunos escurrimientos superficiales porque se encuentra drenando, presumiblemente, recargas antrópicas producto de la actividad industrial de la fundición, las cuales se encuentran en etapa de recirculación. La Quebrada Afluente no tiene escurrimientos superficiales. En la junta con la Quebrada de Mina de Cal hay un pequeño afloramiento de agua subterránea proveniente de una labor minera de extracción de calizas.

3.6 Calidad de Aguas y Aplicaciones de Test ABA y SPLP

En un estudio de Flora y Fauna realizado en Febrero de 2011 en la confluencia de las Quebradas Mina de Cal y Afluente situada aguas abajo de la ubicación del futuro Proyecto Botadero de Relaves de Flotación de Escorias se midieron parámetros de calidad de agua de importancia limnológica medidos in situ, con los siguientes resultados:

Parámetro	Unidad	En Portal	Quebrada Mina de Cal	Socavón Quebrada Afluente
Temperatura	°C	16,0	16,2	14,0
pH	Unidad	8,1	8,5	8,4
Conductividad Eléctrica	mS/cm	8,67	7,23	5,86
Sólidos totales disueltos	mg/l	4,17	3,96	3,05
Oxígeno disuelto	mg/l	9,0	9,0	9,1
% de saturación de O	%	-	90	92

Posteriormente, en abril de 2011, se realizó una constatación del pH de los escurrimientos existentes, los cuales se muestran a continuación:

Identificación	pH	Temperatura
Quebrada Mina de Cal	8.33	15.7
Socavón Quebrada Afluente	7.46	9
En Portal	7.67	11.5

Los bajos contenidos de totales de sólidos disueltos y pH respectivos indican que las aguas provienen de la rápida condensación de las aguas de enfriamiento utilizadas sobre las escorias.

En informe “Aplicación de Test ABA y SPLP a Muestra de Producto de Flotación de Escoria” de Convertidor Teniente – DSAL, se indica para el Test ABA, que evalúa el Potencial de Generación Ácida, que la muestra analizada de relave generado por flotación de escorias a escala laboratorio, presenta un Alto Potencial de Generación de Ácido. En cambio, en el Test SPLP, que evalúa la toxicidad, para la misma muestra de relave, indica como resultado un lixiviado con contenidos inorgánicos regulados menores a los niveles máximos fijados en el Decreto Supremo N° 148/03 del Ministerio de Salud. “En consecuencia, la muestra no presenta la característica de peligrosidad según el procedimiento de Lixiviación por Precipitación Sintética”.

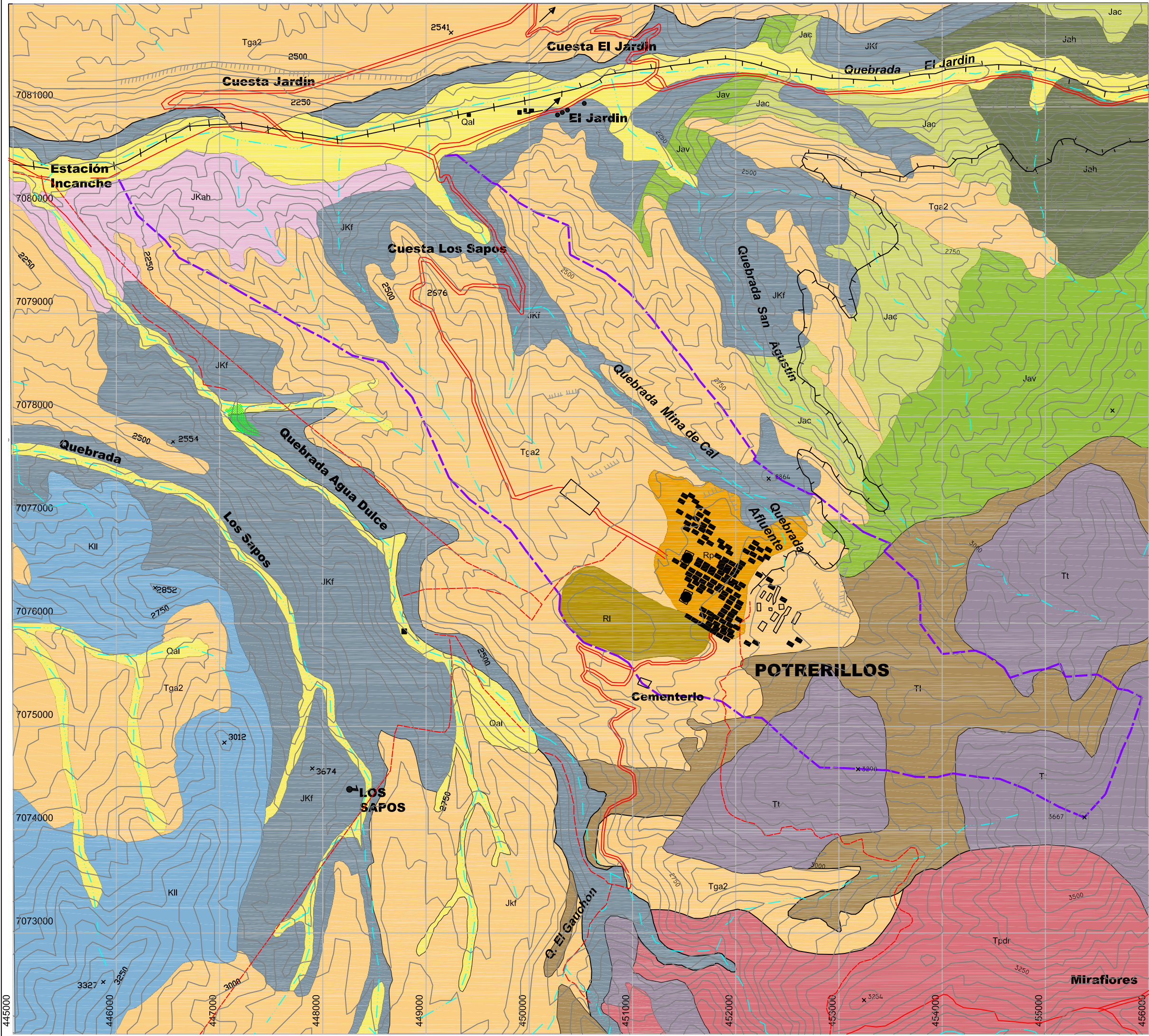
Asimismo, y producto del resultado del test ABA, se realizó un análisis NAG a la muestra de relaves, que indicó que esta generación ácida es muy baja o casi nula, puesto que el relave contendría suficiente concentración de elementos neutralizadores para contrarrestarlo. Para que se pueda cuantificar una apreciable generación de efluentes ácidos expresados como kg de ácido

por tonelada de material (relave), el pH resultante de este efluente debiera ser inferior a 4,5 pero todas las mediciones arrojaron resultados entre 6 y 7.

4. CONCLUSIONES

- La Quebrada Afluyente se encuentra sobre un block tectónico alzado cortado por profundas quebradas excavadas en rocas fundamentales impermeables. Sobre las rocas impermeables se encuentran gravas torrenciales de algunas decenas de metros de espesor, sobre las cuales se depositaron relaves y ripios, materiales que originalmente eran susceptibles de generar soluciones ácidas, pero que sin embargo, y producto de estudios realizados en la actualidad esto es poco probable. Los paquetes de sedimentos han estado por décadas expuestos a lavados por precipitaciones, a altas temperaturas y por la posición estratigráfica que tienen, la gravitación ha sido un mecanismo constante de limpiado (lavado) y drenado del conjunto por lo cual los sedimentos se deben encontrar limpios y secos.
- El área de Consultoría Ambiental de CIMM T&S S.A. evaluó la capacidad de drenaje ácido y de toxicidad de una muestra de relave generado por flotación de escoria procedente del Convertidor Teniente – DSAL, a escala de laboratorio, y determinó que la muestra presenta un alto Potencial de Generación Ácida. En cuanto a toxicidad, la muestra no presenta características de peligrosidad según el procedimiento de Lixiviación por Precipitación Sintética. Asimismo, el resultado de la aplicación del test NAG indicó una muy baja o casi nula generación de ácido, puesto que el relave contendría suficiente concentración de elementos neutralizadores para contrarrestarlo.
- La existencia de calizas como rocas fundamentales en la Quebrada Afluyente garantiza la neutralización de potencial generación de soluciones ácidas, por lo cual el área propuesta es un excelente lugar para depositar relaves directamente.
- La ubicación del botadero de relaves de escoria en la parte superior de la Quebrada Afluyente permite un excelente control de posibles efluentes, en la junta de la Quebrada de la Mina de Cal con la Quebrada Afluyente.

Figura 1. Plano Geológico



Legenda:

- RI relaves
Rp rípios
- Qal Depósitos aluviales
- Tga2 Depósitos de gravas polimícticas
- Tt tobas
TI lavas
- Tpdr Pórfido Riolítico de Potrerillos
- KII formación Llantas andesitas
- Jkf andesitas - calizas
JKah alteración hidrotermal
- Ja Formación Asiento calizas
- Jav volcanoclásticos conglomerados
Jah alteración hidrotermal
- Hoya hidrográfica

0 1 2Km

		Vicepresidencia de Desarrollo Gerencia de Exploraciones	
H. Henríquez	Geólogo	Reconocimiento Hidrogeológico Area Industrial Potrerillos Hidrogeología Quebrada Afluente	
A.P.	Gequímico		
H.B.	Dibujó		
Escala 1 : 2000	Mayo 2011	Archivo : (PH) Henríquez/Salvador Geodigitalizing	Revisó Fig 1

Figura 2. Hoya Hidrográfica Quebrada Afluyente

