

COPIA



INFORMA CIERRE DE VALVULAS TÚNEL MARCELO - SOLICITA SE AUTORICE

Ref. Exp. Adm. N°: 1100.0504-B-12
Anexo: LXXX
Condicionante N°: 109
"s/ Control pH e HTP en Túnel Marcelo"

Señor Ministro de Minería
Dr. Alberto Hensel
S/D

De mi consideración:

Carlos Echegaray, apoderado de Barrick Exploraciones Argentina SA (BEASA), conforme poder adjunto a estos actuados, siguiendo expresas instrucciones de mi mandante, se presenta ante Ud. y por su digno intermedio ante quien corresponda y expresa:

I - Antecedentes

Tal como fuera constatado por esta Autoridad al inspeccionar el proyecto Pascua Lama, en fecha 12 de enero de 2018, ya se procedió al cierre de válvulas del sistema de obturación del Túnel Marcelo, con lo cual se redujo considerablemente el caudal de agua de infiltración proveniente del Túnel Marcelo.

Ahora bien, de acuerdo al condicionante 109 de la DIA de proyecto, mi mandante continúa adicionando cal al agua que drena del túnel a fin de mantener el pH entre 5 y 8, previo a su vertido. Asimismo, conforme a lo prescripto por la Resolución 010-MM-16 (dictamen de la Secretaría de Gestión Ambiental y Policía Minera - punto h), por la cual se aprobó ambientalmente la obra de obturación, se estableció que dicha planta debe mantenerse operable hasta tanto DH como el Ministerio de Minería así lo dispongan. A todo evento, se pone de manifiesto que -de ese modo- mi representada lo está cumpliendo.

Finalmente, se cita que en fecha 08 de marzo de 2018, esta autoridad inspeccionó el proyecto Pascua Lama, labrando el acta de inspección N° 112, la que en su punto 6 indica: *"Deberá presentar a la brevedad un plan de manejo del túnel, en el cual deberá incluir, manejo de agua infiltrada, estudio de las presiones en el macizo, piezómetros, manómetros, medidas de prevención para emergencia, entre otros. Dicho plan de manejo deberá acordarse con la autoridad, en un plazo no mayor a 5 días"*.



El requerimiento transcrito en el párrafo anterior fue contestado en fecha 22 de marzo de 2018 en Exp. Adm. N° 1112.0044-D-10; el que en copia se adjunta.

En dicha presentación mi mandante, entre otras cosas, relacionado con el condicionante 109, solicitó la descarga del agua que proviene del Túnel Marcelo en forma directa, es decir, sin adición de cal en forma previa a su vertido, y presentó un cambio en los monitoreos que se vienen efectuando.

II - Objeto

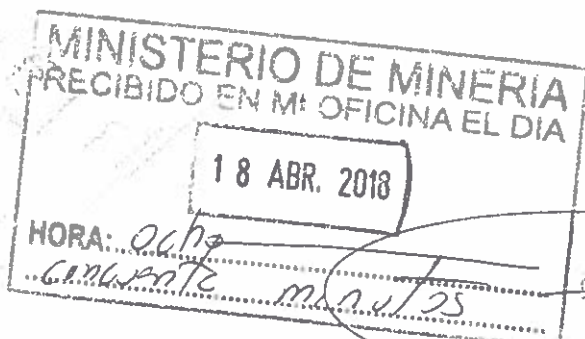
Considerando lo manifestado en el punto anterior, específicamente el requerimiento formulado en el punto 6 del Acta de inspección N° 112, y la respuesta brindada por mi mandante en el Expte. N° 1112.0044-D-10 que adjunto para su consideración, por la presente solicito al Sr. Ministro tenga a bien autorizar el vertido del agua que actualmente fluye del túnel Marcelo de manera directa a TD2, esto es, en el estado y condición en que sale del mismo, modificando -en consecuencia- el requerimiento que surge del Condicionante N° 109 de la DIA, manteniéndose el punto de cumplimiento para la calidad de agua identificado como LA-16, donde las mismas serán monitoreadas conforme el detalle identificado en el documento adjunto; ello, sin perjuicio de mantenerse en condiciones operativas la planta exterior de adición de cal, por si fuera necesario su utilización.

A los efectos a que hubiere lugar, se adjunta informe técnico de la consultora Piteau Associates UK, en el cual se realiza una evaluación cuantitativa del posible efecto de la descarga residual desde el Túnel Marcelo sobre la calidad natural del agua en el sector de aguas abajo del proyecto Lama.

III - Petitorio

- 1) Adjunte la documental que se acompaña.
- 2) Previa la evaluación pertinente, autorice el vertido del agua que actualmente fluye del túnel Marcelo en el estado que surgen, modificando -en consecuencia- el requerimiento que surge del Condicionante N° 109 de la DIA conforme se peticiona.

Sin otro particular, saludo a Ud. atte.



CARLOS ECHEGARAY
APODERADO
BANCOR EXPLORACIONES ARG. S.A.

Esther Pérez
Mesa Entrada
MINISTERIO DE MINERÍA

COPIA



RESPONDE REQUERIMIENTO - ACTAS DE INSPECCIÓN N° 112 Y 113 - ADJUNTA INFORME

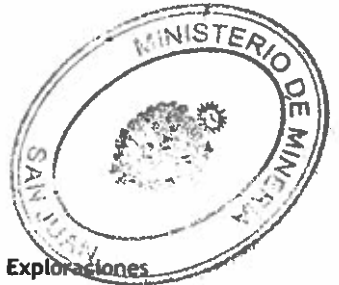
Ref. Exp. Adm. N°:1112.0044-D-10

"s/ Responde Requerimientos Actas de Inspección"

Señor Secretario de Gestión Ambiental y Control Minero

Ingeniero Eduardo Machuca

S/D



De mi consideración:

Carlos Echegaray, apoderado de Barrick Exploraciones Argentina S.A., conforme poder adjunto a estos actuados, se presenta ante Ud. y expresa:

I - Antecedentes

En fecha 08 y 14 de marzo de 2018, esta autoridad minera realizó inspección al Proyecto Pascua Lama, labrando las actas de inspección N° 112 y 113, respectivamente, de las cuales surgen diversos requerimientos.

En fecha 15 de marzo de 2018, mi mandante solicito prórroga para dar cumplimiento al punto 6 del acta 112, la que a la fecha no ha sido resuelta.

II - Objeto

Teniendo en cuenta lo expuesto en el punto anterior, vengo por la presente a adjuntar a estos actuados informe de respuesta, debidamente firmado por profesional responsable por el cual se contestan todos los requerimientos formulados y se realizan peticiones y propuestas, las que solicito sean consideradas por esta autoridad de aplicación.

A los efectos a que hubiere lugar y si esta autoridad lo considera pertinente, en un todo de acuerdo con lo indicado en el informe adjunto, al cual me remito en honor a la brevedad, peticiono a Ud. cite a una reunión de coordinación en fecha y hora que establezca a fin de considerar los temas expuestos en el informe adjunto.

III - Petitorio

- 1) Adjunte la documental que se acompaña.

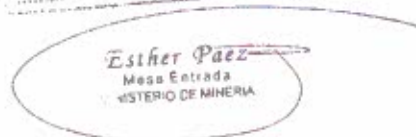


- 2) Tenga por respondidos los requerimientos formulados.
- 3) Si lo considera pertinente cite a reunión de coordinación, indicando fecha y hora.

Sin otro particular, saludo a Ud. atte.


CARLOS E. FIGARAY
MODERADOR
COMITÉ DE COORDINACIÓN

MINISTERIO DE MINERÍA
RECIBIDO EN MI OFICINA EL DÍA
22 MAR. 2013
HORA: doce


Esther Paez
Mesa Entrada
MINISTERIO DE MINERÍA



RESPUESTA A LAS ACTAS N° 112 Y 113 DEL MINISTERIO DE MINERIA
EXPEDIENTE N° 1112-0044-D-10 - PROYECTO PASCUA LAMA

En respuesta a las Actas: N° 112 y 113, Barrick Exploraciones Argentina S.A. responde:

Requerimientos:

ACTA 112 - Punto 1: *Al ingresar el Túnel transfronterizo del lado Argentino se observa gran cantidad de agua que cae del techo del túnel y la zona de contacto del tapón, por lo que se solicita a la empresa a la brevedad, mejorar las condiciones y fortificación de techos y hastiales del mismo. Se registra un caudal a la salida del túnel de 8.16 l/seg.*

ACTA 113 - Punto N°2: *Se observaron pernos que están sueltos, sectores en los hastiales que al golpe en el shotcrete suenan hueco, entendiéndose que si bien, en seguridad no son críticos, requieren un control y seguimiento.*

ACTA 113 - Punto N°3: *Se encuentra personal de la consultora Golder quien es la encargada de elevar a la Empresa el informe de situación de estabilidad del túnel y recomendaciones, el que será presentado a las autoridades de minería.*

ACTA 113 - Punto N°4: *Se solicita a la empresa, que presente a la autoridad minera, un plan de monitoreo de la estabilidad y relevamiento de pernos del túnel y fecha de caducidad de los mismos.*

Respuesta:

Las infiltraciones observadas durante el día de la visita se encuentran dentro de las estimaciones de proyecto.

En fecha 14/03, la Autoridad representada por el Ing. Roberto Leuzzi, junto con sus asesores (los Ing. Marcelo y Roberto Mejibar), realizaron una visita al túnel, suscribiendo en el Acta de Inspección N° 113, los siguientes puntos:

"Punto N° 1: Se ingresa al Túnel con los Ing. Marcelo y Roberto Mejibar, Se realiza una revisión general de la estabilidad del túnel, verificando el estado general de hastiales y bóveda mediante inspección ocular y testeo con piqueta, siempre en compañía del personal de la empresa".

"Punto N°2: Se observaron pernos que están sueltos, sectores en los hastiales que al golpe en el shotcrete suenan hueco, entendiéndose que si bien, en seguridad no son críticos, requieren un control y seguimiento".

Los días 12 al 14 de marzo, la empresa Golder Associates, representada por el Sr. Joe Carvalho, realizó una inspección del túnel, para verificar el estado del soporte del techo y shotcrete, si bien

el informe técnico respectivo a la visita se encuentra en elaboración, Golder anticipó a la empresa que el soporte del túnel está en buenas condiciones y la estabilidad del túnel no es una preocupación.

Tal como se indica en el Acta N° 113, puntos 3 y 4 la empresa Golder proveerá un informe sobre la situación de estabilidad del túnel y efectuará recomendaciones para un plan de inspección posterior, que dará respuestas a estos puntos.

Requerimiento:

ACTA 112 - Punto 2: Debido a lo observado al momento de la inspección en el interior del túnel, se solicita a la empresa presentar ante esta Autoridad Minera un cronograma de inyección de lechadas cementicias.

ACTA 113 – Punto 5: Se observa filtración entre las dovelas del tapón y en contacto con la roca, se solicita a la empresa se determine fecha de reinyección conforme a lo establecido.

ACTA 113 – Punto 6: La empresa presentará en un plazo de 10 días el informe final de inyección que emitiera SRK.

Respuesta:

En fecha 04 de septiembre de 2017, se presenta al Ministerio de Minería el Plan de Acción de Emergencias para la obra: Tapón Túnel Marcelo y sistema de desvío de ríos. En el mismo, en el apartado I.- Etapa Operación – Situaciones Hipotéticas de Emergencias y Medidas de Control Atención, se detalla:

"Punto 3. Afloramientos de agua en la interfaz roca-hormigón: Durante las primeras semanas de finalizada la obra, es posible que se detecten afloramientos de agua en la interfaz entre el hormigón y el macizo rocoso debido a deficiencias en el hormigonado en el contacto de las dovelas. Para esta contingencia se contempla la reinyección de contacto con lechadas cementicias a través de los tubos de inyección instalados en el tapón para tal efecto y finalmente una inyección final de resinas de impermeabilización."

Con respecto al punto 2 del acta N° 112 y 5 del acta N° 113, se debe considerar que una vez que se cerraron las válvulas del tapón el día 12/01/18 y durante el monitoreo, se observaron filtración en las juntas de contactos entre roca y hormigón y entre dovelas hormigón/hormigón.

De acuerdo con las previsiones de proyecto y luego de finalizada las inyecciones químicas, la empresa ha cumplido con el cronograma de reinyecciones entre juntas de contactos Roca/Hormigón y Hormigón/Hormigón, por cuanto durante los días 23/01/2018 y 24/01/2018, se procedió a la reinyección de contacto. Los resultados alcanzados durante dichas reinyecciones, se encuentran resumidos en el documento de SRK CA035-QA033, se adjunta copia del informe de SRK.

Considerando el bajo volumen en litros de lechadas reinyectadas y que a la fecha continuamos con el mismo escenario de filtraciones que el día 24/01/2018 y con relación a un nuevo cronograma de reinyecciones, informamos que serán evaluadas durante el período de monitoreo y de acuerdo con el resultado de los mismos.

En respuesta al punto N° 6 del Acta 113, se adjunta informe elaborado por SRK e identificado bajo el número SRK CA035-QA034.

En complemento a lo ya expresado, se informa que los días 20 y 21 de marzo del corriente, se ha realizado una reinyección cementicia en uno de los circuitos longitudinales, ingresando 8 litros. También se ha realizado la revisión de todas las mangueras de reinyección, con los resultados descriptos en el informe adjunto.

Requerimiento:

ACTA 112 - Punto 4: Se solicita a la empresa presentar a esta Autoridad Minera un Modelo Hidrogeológico de la zona relacionada con la biota de la zona Quebrada del Río Turbio, incluyendo la zona de emplazamiento de la obra civil, (planta de tratamiento entre otras cosas). Dicho modelo debe incluir los pozos realizados a lo largo del Túnel y su comportamiento.

Respuesta:

Con relación a la biota en la quebrada del Río Turbio y en cercanías al portal del túnel Marcelo, en el año 2006, BEASA en la sección 2.0 – Descripción del Ambiente del Texto Ordenado del Informe de Impacto Ambiental, sub sección 2.6 Flora y Vegetación, describe una completa caracterización en el área de estudio cordillera - Sección Norte (Arroyo Turbio, Los Amarillos, Las Yaretas, Canito, Potrerillos, Guanaco Zonzo, Río Las Taguas y Despoblados, entre otros) y presenta además el mapa de vegetación (Plano TO2.20) con una representación gráfica de la ubicación de las distintas unidades de vegetación en los diferentes pisos (andino inferior, superior y vegas o humedales). Se reitera que la escasa vegetación en el área de influencia del proyecto corresponde a vegetación zonal que responde a condiciones climáticas muy severas y que lo más importante en términos de vegetación son las vegas existentes en los bordes de los cursos de cuerpos de aguas o surgencias en cabeceras y partes medias de las quebradas y cuya composición está influenciada por factores como la altitud y la acidez y el contenido de sales de las aguas naturales o depositadas en el suelo.

Del análisis de esta información se deduce que antes del inicio de la fase constructiva del proyecto existía una muy escasa cobertura, abundancia y diversidad de especies en el Arroyo Turbio y se destaca la existencia de vegas en el arroyo Canito y en los bordes del Río Las Taguas. Se menciona que el Arroyo Turbio se ubica en una unidad de piso andino superior en particular la de AS1 (Unidad de Adesmia Subterránea, *stipa chrysophylla*).

En la Sección 4.0 del mismo documento "Descripción de Impactos Ambientales" se declaran las afectaciones (pérdida de individuos), de las unidades de vegetación directamente relacionadas con el emplazamiento de las obras e instalaciones del proyecto, fundamentalmente con las del depósito de colas

y planta de procesos, ya que las escombreras como los rajos se localizan por el límite superior de la vegetación (4200 m.s.n.m.). En el plano TO 4.12 se realizó una superposición de la infraestructura del proyecto en el Arroyo y Río Turbio versus las unidades de vegetación y cabe resaltar que a pesar de que el proyecto se encuentra suspendido en su fase de construcción, el impacto sobre la vegetación prácticamente ya ocurrió debido a los movimientos de tierra y construcciones de fundaciones, caminos, sistema de manejo de aguas, plataformas, etc.

La Autoridad también cuenta con documentos entregados por BEASA que sustentan la información hidrogeológica de la cuenca del río Turbio, en las zonas de emplazamiento de la planta de procesos (Estudio Ampliado del Agua – IDIH 2006), al cual nos remitimos en respuesta a este requerimiento.

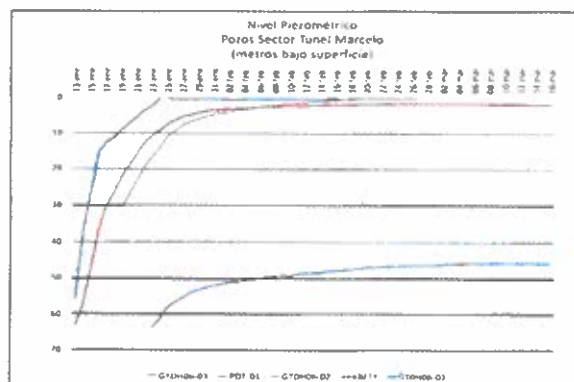
BEASA está en proceso de actualización del Modelo Hidrogeológico. Este modelo fue originalmente construido en el año 2001, para los estudios de Factibilidad del proyecto Pascua Lama. Posteriormente, en el año 2004, fue actualizado para la evaluación ambiental del proyecto (ver Apéndice TO 4.1-1 del Texto Ordenado del informe de Impacto Ambiental del Proyecto Pascua Lama 2006).

La nueva actualización que se encuentra en curso busca mejorar la representación del modelo precisamente en el entorno del túnel Marcelo, incorporando por ejemplo, información geológica e hidrogeológica colectada durante la construcción del túnel y la información que se está obteniendo de los sensores de presión dentro del macizo y los pozos en la superficie alineados al eje del túnel en la parte superior del macizo. Esta información de la presión registrada dentro del macizo es enviada a la Autoridad diariamente en respuesta al Acta 109, punto 1.

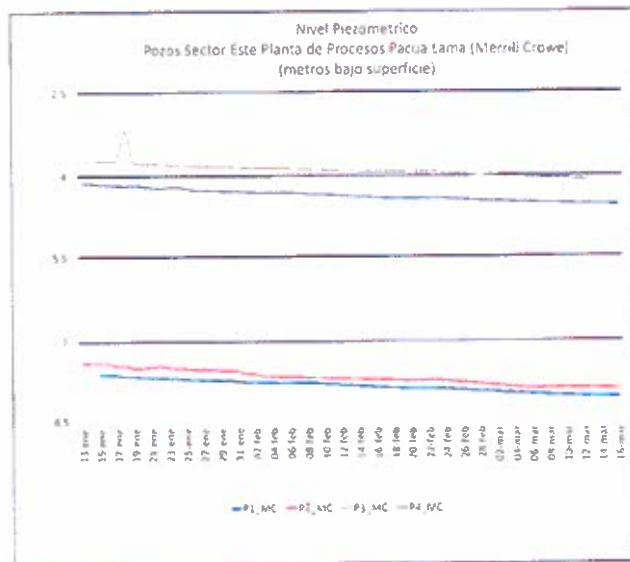
Junto a lo anterior, el modelo será actualizado con información de niveles de agua subterránea que se está midiendo en pozos instalados en el sector de la planta de procesos (Merrill Crowe), información que se grafica más abajo y que muestra que con posterioridad al cierre de las válvulas del túnel, no se ha registrado variación significativa en los niveles de agua en dicho sector, destacando que en el sector de la planta los niveles de agua han permanecido estables y el nivel freático ha bajado sensiblemente debido a la estacionalidad, sin que se prevea afloramientos adicionales ni afectaciones a la flora.

Una vez finalizado este modelo, podrá ser compartido a esta Autoridad, considerando los tiempos que demanda la elaboración de un informe de esta naturaleza.

A continuación, se muestran los gráficos correspondientes a los niveles piezométricos de los pozos en el sector del túnel Marcelo y el mapa con la ubicación de los mismos:



Seguidamente, se detalla el gráfico correspondiente a los niveles piezométricos de los pozos en el sector Este de la planta de procesos y el mapa con la ubicación de los mismos:



Teniendo en cuenta los datos aportados más arriba, no se prevén afectaciones adicionales a las ya declaradas e identificadas durante la fase constructiva sobre la biota del Arroyo Turbio. Los niveles freáticos aguas arriba del Portal del Túnel Marcelo se están estabilizando según lo planificado y en el sector de la planta de procesos no existen variaciones significativas en el nivel del agua, el comportamiento de las napas muestra una tendencia de niveles ligeramente decreciente conforme transcurre la temporada estival.

Requerimiento:

ACTA 112 - Punto 6: Deberá presentar a la brevedad un plan de manejo del túnel, en el cual deberá incluir, manejo de agua infiltrada, estudio de las presiones en el macizo, piezómetros, manómetros, medidas de prevención para emergencia, entre otros. Dicho plan de manejo deberá acordarse con la autoridad, en un plazo no mayor a 5 días.

Respuesta:

A fin de poder acordar con la Autoridad el contenido de un Plan de Manejo Integral del Túnel en su etapa actual, solicitamos mantener una reunión en día y horario en el que Usted nos notifique.

Así mismo, se aclara que BEASA ha presentado documentos a esta Autoridad que dan respuesta a los requerimientos formulados. Los mismos son: el Plan de Acción de Emergencias para la Obra Tapón Túnel Marcelo y Sistema de desvío de ríos y el Plan de Auscultamiento y Monitoreo de Aguas Obra Obturación Túnel Marcelo Tapón N° 1 – Etapa de Servicio, presentados el 04 de septiembre de 2017.

Teniendo en cuenta lo manifestado, se reitera a la Autoridad la solicitud de aprobación del Plan de Auscultamiento y Monitoreo de aguas de la Obturación del Túnel Marcelo – Fase de Servicio, de acuerdo a lo requerido en la Res. 010-MM-2016, en su punto 11 – letra d, del dictamen de la Secretaría de Gestión Ambiental y Control Minero que forma parte de la citada resolución conforme su artículo primero.

En cuanto al manejo de aguas infiltradas que formará parte del plan de manejo integral del túnel a acordar con la autoridad, a continuación, se presenta el Manejo de Aguas Infiltradas – Fase posterior al cierre de la válvula.

Manejo de Aguas Infiltradas – Fase posterior al cierre de la válvula:

1. Antecedentes Generales

El Túnel de Marcelo fue construido para albergar el sistema de transporte de mineral desde la mina a cielo abierto Pascua-Lama hasta la planta de proceso metalúrgico, ubicada en la parte superior del valle del río Turbio. Desde la construcción del túnel, se observó la infiltración de aguas desde el macizo rocoso. Estas aguas, luego de ser conducidas fuera del túnel y tratadas mediante la adición de cal son restituidas, junto a las aguas del río Turbio superior, al sistema de manejo de aguas que finalmente descarga al río Las Taguas.

A fines del año 2017, se construyó un sistema de obturación del túnel, con el fin de limitar los flujos de infiltración. Esta obra contempla un tapón de hormigón de 15 m de longitud, un sistema de impermeabilización del contacto cemento-roca compuesto de líneas de inyección perimetrales y longitudinales, un sistema de impermeabilización del macizo consistente en abanicos de inyección cementicia e inyección de resinas, y un sistema de manejo de aguas (by-pass), compuesto por 3 tuberías de acero inoxidable provistas de válvulas de cierre.

Este sistema de obturación permaneció abierto hasta el 12 de enero de 2018, fecha a partir de la cual las válvulas fueron cerradas.

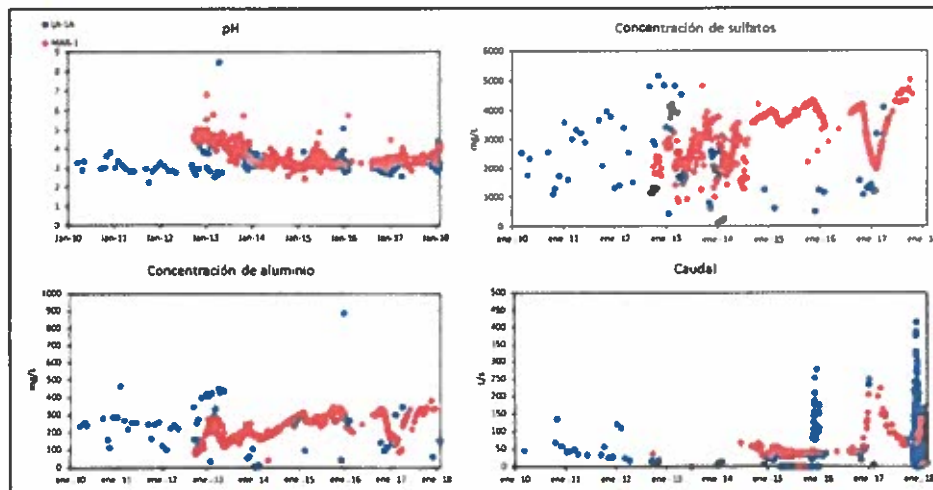
2. Flujos de Infiltración

Las investigaciones hidrogeológicas ya presentadas como por ej. Informe modelo hidrogeológico, SRK, 2015 y 69-2040-18-02-E Evaluación ambiente hidrogeocriológico del Túnel, SRK, 2015, adjunto a la Adenda del cuarto informe de actualización ambiental, muestran que mientras el túnel permaneció abierto, gran parte de las aguas de infiltración ingresaban al túnel a lo largo de los primeros 500 m, tramo donde este interceptaba los flujos subterráneos que fluyen mayormente desde las quebradas ubicadas al norte de la alineación del túnel y se dirigen hacia el centro del valle, donde se desarrolla el río Turbio. Durante el periodo anterior a la instalación del tapón, se registraron flujos saliendo del túnel que variaron en torno a los 40-60 l/s, con picos de hasta 250 l/s. Estos picos coinciden con la estación de derretimiento de nieve y su ingreso se produce principalmente en zonas de falla.

La infiltración de estas aguas hacia el túnel produjo un efecto drenante, que generó una nueva configuración de equilibrio de la superficie freática, la que alcanzó un nuevo régimen estacionario definitivo en el año 2013. El túnel interceptó estas aguas que de otra manera habrían escurrido subterráneas formando parte de la recarga del río Turbio.

Lo anterior queda en evidencia, no sólo en la depresión de los niveles observados en los sondeos ubicados sobre el túnel, sino que también por la clara mejora de la calidad del agua en LA-1A (estación de monitoreo ubicada antes de la descarga desde el túnel), observada con posterior a la construcción del túnel. En dicha estación se observa un aumento del pH promedio de 3 a 3.5 y una reducción equivalente a cerca del 50% en las concentraciones de SO₄, Al y otros metales (ver figura 1 siguiente)

Figura 1: Calidad de agua en la estación LA-1 del Turbio y MAR-1, descarga del túnel. Periodo comparado 2012 a enero 2018



Otro elemento que respalda esta conceptualización es que el caudal en LA-1 (posterior al cierre de la válvula) está acompañado por un aumento de las concentraciones de Al y otros solutos hasta niveles estrechamente análogos a los registrados en el periodo anterior a la construcción del túnel (ver figura 1).

Si bien Barrick ha realizado esfuerzos considerables para maximizar la eficiencia de la contención hidráulica lograda por el tapón (mediante la cuidadosa colocación del tapón en un sector del túnel caracterizado por diorita competente, además de las inyecciones cementicias y de resina), algunas filtraciones residuales a través del macizo en el sector entre la entrada y tapón son inevitables. Cualquier infiltración o recarga que ingrese al sector del túnel entre el portal y la ubicación del tapón continuará produciendo infiltración, tal como se indicó anteriormente en el "Plan de Emergencia para la Obra; Tapón Túnel Marcelo y Sistema de Desvío de Ríos", presentado a la autoridad con fecha 4 de septiembre de 2017.

Efectivamente, con posterioridad al cierre de la válvula del túnel, se han observado flujos de infiltración provenientes de estos primeros 200 metros del túnel. Estos flujos han aumentado desde casi 1-2 l/s al inmediatamente después del cierre hasta aproximadamente 8-9 l/s. Estos flujos, cuyo caudal y calidad se informa diariamente a la autoridad, siguen siendo captados y sometidos a la adición de cal hasta que su pH se ubique en el rango 5-8, conforme requerimientos que surgen de la Declaración de Impacto Ambiental de proyecto.

De acuerdo a la estimación realizada en el proyecto de obturación del Túnel Marcelo, basada en un modelo analítico muy general, la evolución futura de los flujos de infiltración desde el tramo del túnel ubicado entre el portal y el tapón más aquellos provenientes de la zona ubicada aguas arriba del tapón sugiere que los caudales podrían llegar a un máximo de alrededor de 30 l/s (+10%), después de lo cual se producirá una reducción del flujo residual. Esta reducción constituirá una respuesta a la redistribución progresiva de los niveles piezométricos al norte y al oeste del tapón, más una reducción en la recarga a medida que avance la temporada de invierno. A la fecha, esta estimación ha resultado bastante conservadora, ya que los flujos no han superado los 12 l/s y ya se puede ver una reducción en los piezómetros ubicados antes y después del tapón.

De acuerdo a lo anterior y conforme a estudios realizados, los flujos que se proyectan a más largo plazo (años) debieran mostrar una ciclicidad estacional y flujos máximos - en las estaciones de fusión de nieve- del orden de 15 l/s.

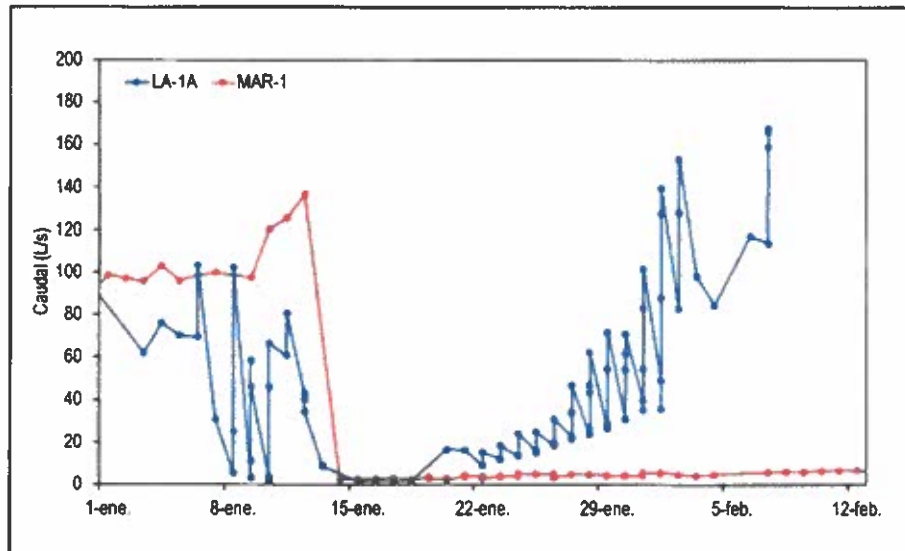
3. Calidad de las aguas de infiltración

Antes del inicio de la excavación del túnel (2011), la calidad del agua en el río Turbio se caracterizaba por presentar naturalmente una muy mala calidad, con niveles de pH muy bajos (llegando incluso hasta valores de 2.1) y alta concentración de sulfatos (3225 mg/l es el máximo registrado durante la línea base hasta 2009). Por su parte, las aguas del túnel medidas antes del cierre de la válvula, mostraban también niveles de pH bajos (normalmente bajo 4) y alto nivel de Sólidos totales disueltos (STD) (>3g/L) y metales, siendo catalogadas como sulfatadas-cálcicas, similares a las que se observan en el río Turbio (ver Estudio Ampliado del Agua – IDIH 2006).

Con la construcción del túnel la calidad del agua del río Turbio aguas arriba de la descarga del túnel, se vio mejorada. Con posterioridad al cierre de la válvula (12/01/18), es posible observar que junto a un leve aumento en el escurrimiento en LA-1A (figura 2), también han aumentado las concentraciones de Al y

otros solutos a valores similares a los que se observaban con anterioridad al periodo de construcción del túnel (figura 1).

Figura 2: Registro de caudales en LA-1 y MAR-1 inmediatamente antes y después del cierre del Túnel Marcelo



4. Niveles de agua subterránea en torno al túnel

Luego del cierre de la válvula, se ha podido observar una recuperación de los niveles de agua en los pozos localizados sobre la traza del túnel. Esta recuperación fue más rápida durante los primeros días, alcanzando niveles por arriba de los niveles que mostraban los pozos antes de la construcción del túnel, y ha ido estabilizándose e incluso bajando recientemente (ver figura 3).

Figura 3: Registro de niveles inmediatamente antes y después del cierre del Túnel Marcelo

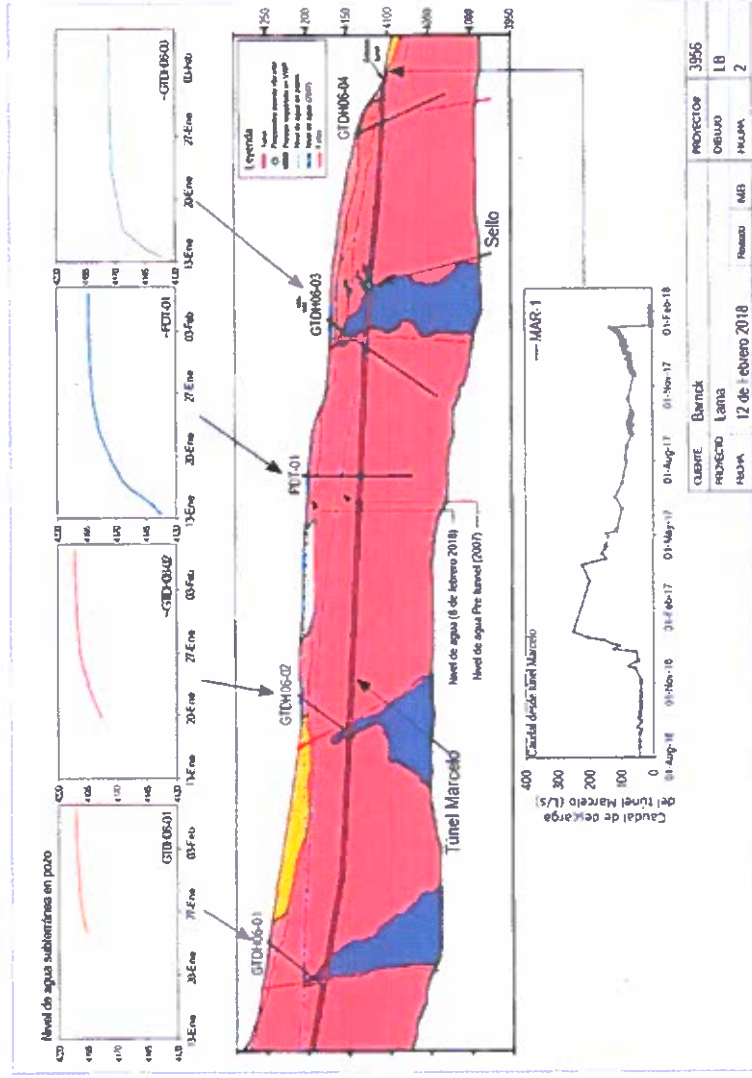
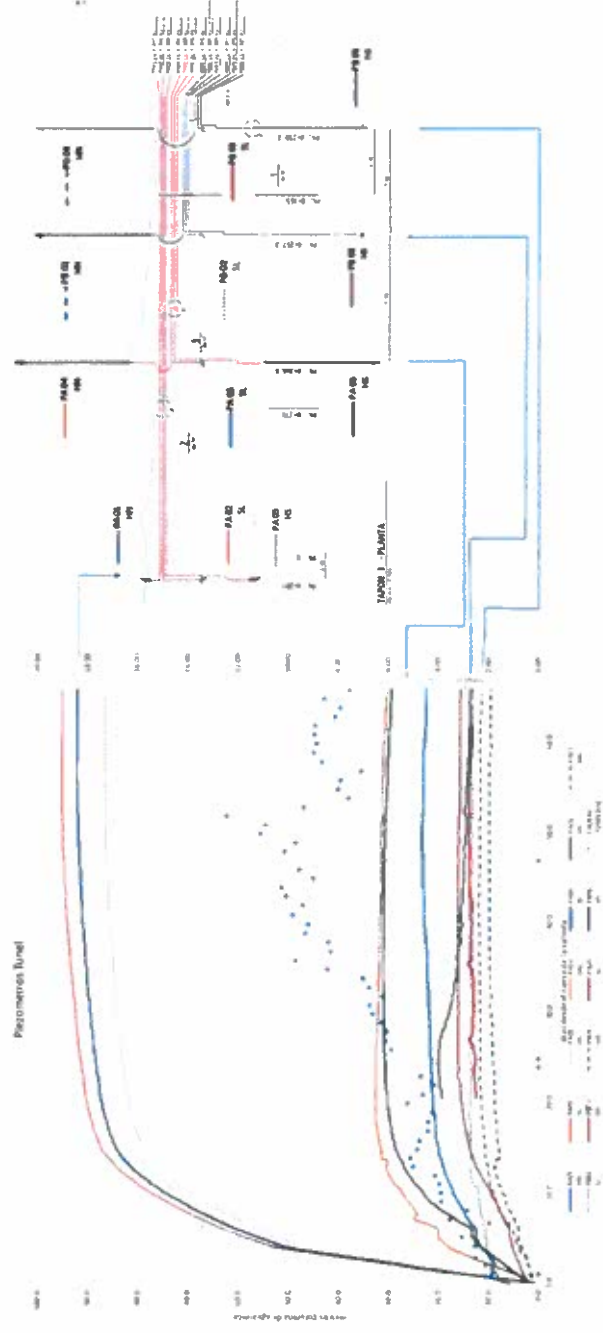


Figura 4: Registro de presiones y caudales después del cierre del Túnel Marcelo



Asimismo, los sensores de presión ubicados al interior del túnel e instalados en el macizo de roca antes y después del tapón, también han mostrado un comportamiento similar: crecimiento durante los primeros días que siguieron al cierre de la válvula, y subsecuente estabilización; mostrando incluso una leve reducción en los últimos días (ver figura 4).

Este comportamiento, es congruente con un sistema que se encuentra en proceso de estabilización hacia condiciones de línea base. Los niveles debieran continuar bajando a medida que el agua almacenada en el túnel se infiltra de vuelta en el macizo rocoso y alcanza las vertientes que existían con anterioridad y descarga hacia el curso del río Turbio como naturalmente funcionaba el sistema en condiciones de línea base.

5. Efecto del tratamiento de aguas con anterioridad al cierre de la válvula.

Los datos de monitoreo recopilados durante el periodo de operación del tratamiento activo en la estación LA-8A/TUR-1, ubicada en el canal CD3 (que refleja el caudal integrado del tramo alto del Turbio, el Canito Norte y la descarga tratada del Túnel Marcelo que ingresa al Río Las Taguas), y, más críticamente, en las estaciones SW9 y LA-16, ubicadas en Las Taguas, sugieren, sin embargo, que el beneficio práctico sobre la calidad del agua derivado del tratamiento del agua del Túnel Marcelo fue mínimo.

En las estaciones SW-9 y LA-16, ubicadas en Las Taguas, los rangos registrados de valores de pH y concentraciones de Al, Fe y prácticamente todos los demás solutos mostraron pocas diferencias entre el periodo anterior a la construcción del túnel, el periodo de tratamiento del agua del túnel y el periodo posterior al cierre. Esto refleja en gran medida la tendencia al equilibrio natural de la masa de solutos, con una significativa precipitación de metales, en respuesta al aumento del pH que se produce en la zona de mezcla en la confluencia del Turbio con Las Taguas.

Esto suprime la sensibilidad de la calidad del agua de las estaciones SW-9 y LA-16 de Las Taguas a las variaciones de la carga de masa que emana de la cuenca del Turbio. Por lo tanto, es posible afirmar que el tratamiento histórico del agua del Túnel Marcelo ejerció poca influencia en la calidad final del agua de estas estaciones, ya que la inducción artificial de la precipitación de metales mediante la adición de cal en el portal del túnel simplemente replicó un proceso que de otro modo se hubiera producido naturalmente en la zona de mezcla entre el Turbio y Las Taguas.

6. Efecto del tratamiento de aguas con posterioridad al cierre de la válvula.

La instalación del tapón en el interior del túnel ha restituido de cierta manera el régimen hídrico de línea base, permitiendo que las aguas anteriormente captadas por el túnel como si fuera un dren, sigan su curso y descarguen hacia el río Turbio o se transformen en recarga subterránea.

Considerando la mala calidad del agua que naturalmente se descarga desde el Turbio hacia las Taguas, no se espera que flujos residuales de agua de infiltración desde el túnel (comparativamente menores y con una calidad análoga) tengan un efecto significativo en el punto de cumplimiento LA-16.

Adicionalmente, es importante destacar la clara tendencia a la mejora que se observa en la descarga residual del túnel desde la fecha de cierre de válvulas. Esta mejora se produce por dos fenómenos:

- a) La inundación de las rocas que forman la pared detrás del tapón impide la oxidación de sulfuros y el desarrollo de condiciones anóxicas en la zona de saturación debería impedir la producción de acidez. Las mediciones del pH de descarga en febrero de 2018 sugieren que los niveles han aumentado sistemáticamente por encima de 4.
- b) Las aguas que ingresan al túnel entre el portal y el tapón, son una mezcla entre las aguas almacenadas en el tapón, que actualmente se encuentran en proceso de re-infiltración hacia el macizo, y aguas nuevas de recarga, provenientes del sector norte y alto de la cuenca, aguas que naturalmente tienen una mejor calidad. Esto se confirma por la disminución en los niveles de conductividad eléctrica medidas al interior de los sondeos ubicados por arriba de la traza del túnel.

En modelos utilizados para simular la calidad del agua en diferentes puntos del sistema con y sin el aporte de las aguas de infiltración provenientes del túnel, sin tratamiento previo, es posible concluir que no se observa una diferencia significativa en los niveles de pH o en la concentración de solutos entre ambos escenarios. Es decir, descargar las aguas de infiltración del túnel sin tratamiento no produce un efecto significativamente diferente en SW-9 y LA-16 que cuando se simula la ausencia de descarga.

7. Manejo y Monitoreo

Tomando en consideración el escaso efecto positivo que tuvo el tratamiento de la descarga del Túnel Marcelo (ver punto 5 anterior), sumado a que no se espera que la continuación de este tratamiento tenga un efecto significativo en la calidad del río Turbio y menos en el río Las Taguas (ver punto 6 anterior), se propone:

1. Continuar con las siguientes medidas de monitoreo propuestas en el Plan de Auscultamiento y Monitoreo de Aguas, Obra Obturación Túnel Marcelo Tapón N°1 -Fase Servicio-
 - a. Piezómetros: sin modificaciones.
 - b. Manómetros: sin modificaciones
 - c. Calidad y cantidad de Aguas de Drenaje Túnel Marcelo: modificar la frecuencia de registro manual diario a quincenal, y de toma de muestras quincenal a mensual, en la medida que las condiciones climáticas lo permitan. La observación de la información colectada hasta la fecha permite indicar que tanto la calidad como la cantidad se encuentra en un proceso de estabilización y no presentan gran variabilidad.
2. Detener la adición de cal a las aguas de infiltración provenientes de interior del túnel, descargando estas a TD2 sin tratamiento.
3. Agregar al monitoreo mensual de niveles y si las condiciones lo permiten, mediciones de calidad de agua instrumentales de campo, en los siguientes sondeos ubicados en la traza del túnel:

GTDH06-01, PDT-01, GTDH06-02 y GTDH06-03. En caso de que las condiciones climáticas o de acceso no permitan alcanzar dichos pozos, se considera la instalación de 2 sensores de nivel con data-loggers incorporados, cuyos datos se recogerán al momento que el acceso sea posible. Este monitoreo se realizará hasta que los niveles se consideren estabilizados.

Por lo antes indicado se solicita a esta autoridad modifique el requerimiento que surge del condicionante 109 de la Declaración de Impacto Ambiental, permitiendo la descarga del agua proveniente del túnel Marcelo en forma directa a los cursos de agua, es decir eliminar la adición de cal, considerando como punto de monitoreo de cumplimiento el LA-16.

Con relación a lo anterior y en cuanto a la frecuencia de reportabilidad de datos monitoreo, se propone la siguiente:

- Lectura de piezómetros (acta 109), caudales y niveles de pozo en línea de túnel, remisión por correo electrónico en forma mensual.
- [Actas N° 32 punto 8-f y N° 33 punto 2) un único informe mensual de caudales, pH y conductividad, excluyendo parámetro de hidrocarburo totales. En cuanto a la frecuencia de medición de pH y conductividad, se propone que la misma será quincenal.
- (Actas N° 53 punto h, N° 85 punto 4): Suprimir el reporte vía correo electrónico, en cuanto a los datos referidos a caudales, turbidez, pH, sólidos totales disueltos (STD), contenido de sal, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto medidos en los puntos de los arroyos turbio, canito, túnel, LA16, SW9 y LA8a, serán informados en el reporte de monitoreo semestral.

Requerimiento:

ACTA 113 – Punto 7: Se definirá fecha de monitoreo en conjunto con personal de CIPCAMI, de agua, previo al tapón.

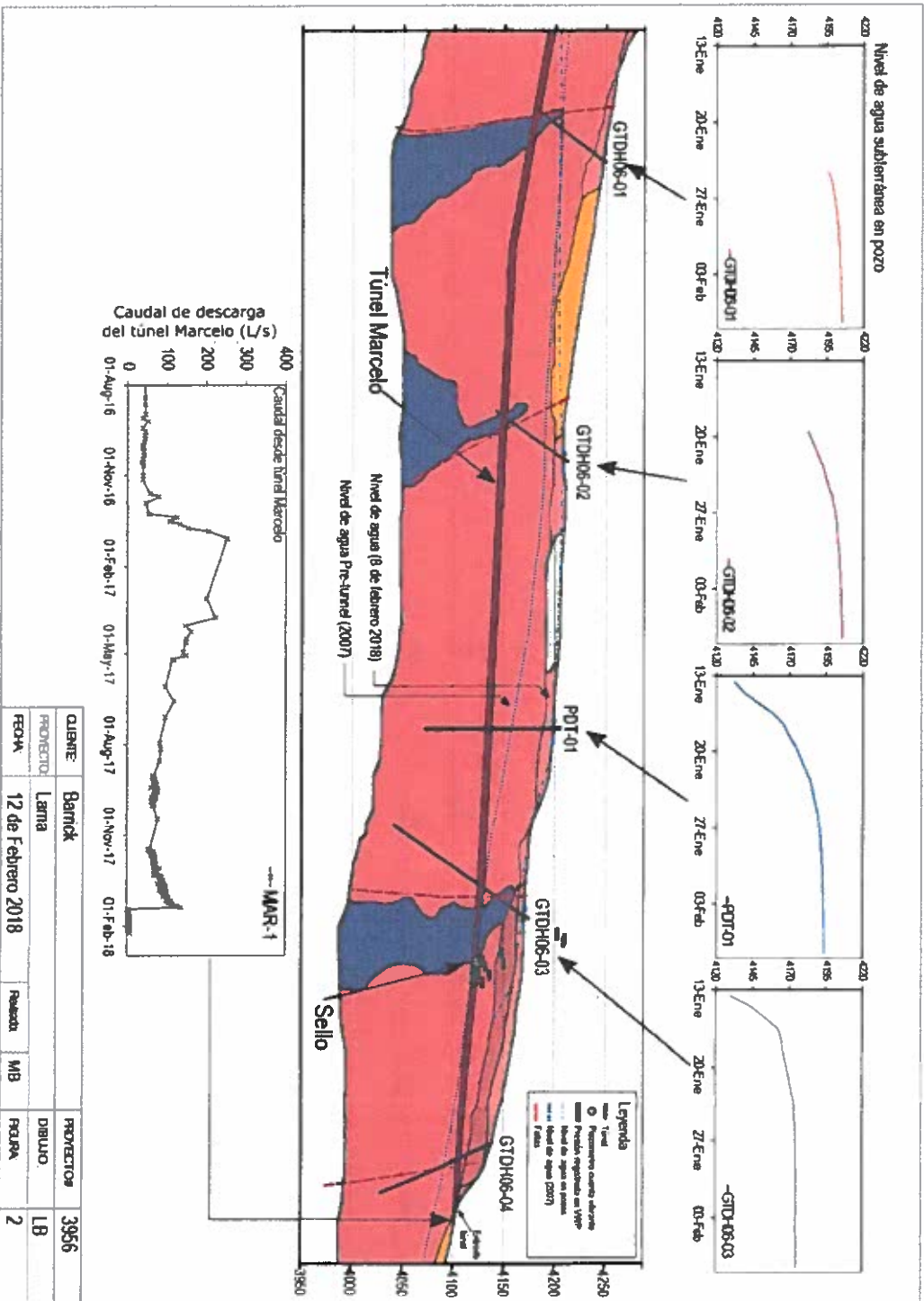
Respuesta:

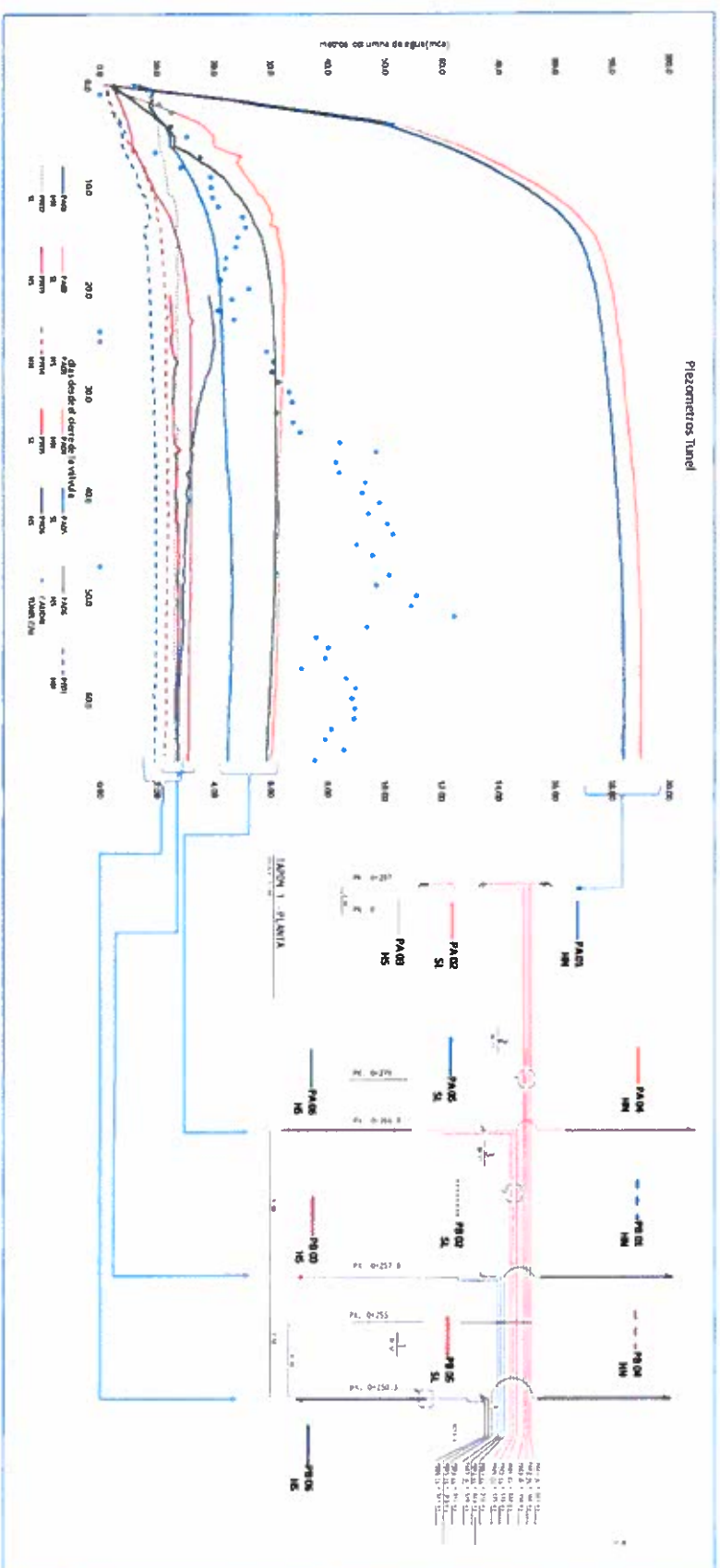
A efectos de dar cumplimiento a la toma de muestras a realizar por parte del CIPCAMI, se solicita informe con anticipación esta fecha, a fin de prever las acciones necesarias en terreno.



Marcelo Avecilla
Gerente de Proyecto

FIGURAS N° 3 Y 4 – Tamaño A3





Memo Técnico CA035-QA033

Segunda etapa de inyecciones de contacto

Para:	D. Donis, R. Bally	Fecha:	27/01/2018
Empresa:	BEASA	De:	F. Garate, A. Verri
Con Copia:	S. Fuentes, L. Warren	ID Doc:	CA035-QA033-A
Asunto:	Segunda etapa de inyecciones de contacto		

1 Observaciones

A partir de la finalización de la segunda etapa de inyecciones de contacto, se ha solicitado a SRK realizar una evaluación de sus resultados y recomendaciones para las etapas posteriores de impermeabilización ya definidas en el documento CA035-QA22.

2 Respuestas

Luego de la finalización de las coronas A03.III a A01.III se produjo el cierre de válvulas del sistema de by-pass. La presión monitoreada al momento de realizar la segunda etapa de inyecciones cementicias de contacto es de aproximadamente 8bar en la cara aguas arriba del tapón.

Esta etapa comprende las líneas de inyección anulares A04 a A08 en el contacto roca-hormigón y líneas de inyección internas dispuestas en algunas juntas entre dovelas. No se inyectan en esta etapa las líneas longitudinales en el contacto roca-hormigón.

2.1 Reinyecciones cementicias en mangueras perimetrales

La dosificación empleada para la segunda etapa de inyecciones de contacto consiste en la siguiente proporción:

- 100 kg de microcemento Spinor A20
- 0.4 kg Sikament 235 E
- 0.05 kg de microsílíce Sikafume
- 100 litros de agua

Los resultados de los ensayos sobre la lechada se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1: Ensayos sobre lechada de inyección de microcemento

Medición	30'
T° Ambiente [°C]	9.1
T° Lechada [°C]	10.6-12.2
Densidad [gr/cm3]	1.41-1.42
Viscosidad [s]	30.07-30.32
Decantación [%]	1

La segunda etapa de inyecciones cementicias se realizó con el siguiente procedimiento:

- Circulación con agua y purgado de aire del circuito.
- Llenado de lechada del circuito.
- Inyección de contacto a 1 MPa (10 bares) de presión. El proceso es detenido cuando el caudal es menor o igual a 2 l/min durante un minuto, o cuando el caudal cae a cero más de una vez en un intervalo de 15 segundos.
- Lavado del circuito de inyección con abundante agua a 0.2-0.3 MPa (2-3 bares). En caso de que la presión de agua no fuera suficiente para vencer las pérdidas y expulsar la lechada (esto dependió del circuito en cuestión), se hizo circular lechada en sentido inverso al utilizado durante la inyección.

Se realizó la segunda etapa de inyecciones de contacto con 131 litros de lechada de microcemento, con un consumo promedio de 1.1 l/m en las mangueras transversales (A04 a A08).

En la siguiente tabla se resumen los resultados principales obtenidos. La información adicional recabada en terreno se observa en el Apéndice.

Tabla 2: Resumen de resultados de segunda etapa de inyección de contacto

Denominación	Volumen total [lts]	Observaciones
A04	16	A04-C: mangueras tapada, no reinyectable
A05	34	A05-A: manguera tapada, no reinyectable
A06	27	A02-B y A02-C: mangueras tapadas, no reinyectable
A07	24	A07-A y A07-B: mangueras tapadas, no reinyectable
A08	30	A08-A: manguera tapada, no reinyectable

En lo que respecta a la efectividad de las inyecciones no puede observarse reducción de infiltración por la cara del tapón (junta entre dovelas #8 y #10). Sin embargo, tampoco se observan filtraciones importantes a través de la interfaz roca-hormigón.

2.2 Tratamiento en mangueras colocadas en juntas frías

Se realizó la segunda etapa de inyecciones de contacto con 51 litros de lechada de microcemento, con un consumo promedio de 1.1 l/m en las mangueras ubicadas en las juntas frías (H01 a H06). En la siguiente tabla se resumen los resultados principales obtenidos. La información adicional recabada en terreno se observa en el Apéndice.

Tabla 3: Resumen de resultados de segunda etapa de inyección de contacto

Denominación	Volumen total [lts]	Observaciones
H01	13	
H02	12	
H03	8	
H04	6	
H05	7	
H06	5	
D01	-	Manguera obstruida

Una vez finalizada la reinyección en las mangueras de las juntas frías con lechada cementicia, se procedió al sellado mediante resina Foamjet260LV con una presión de corte de 10 bar. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4: Resumen de resultados de sellado de mangueras en juntas frías

Denominación	Volumen total [lts]	Observaciones
H01	15	
H02	25	
H03	16	
H04	15	
H05	24	
H06	8	
D01	23	Esta manguera se consideraba no apta para inyección

La resina resultó apta para su inyección con el sistema de mangueras instaladas en la estructura, lográndose volúmenes de inyección efectivo del orden de 1.5 l/m. Incluso pudieron inyectarse mangueras que se consideraban obturadas por la lechada cementicia en la inyección previa (H04 y H06)

2.3 Conclusiones

Se realizó la segunda etapa de inyecciones de contacto en las mangueras A04 a A08 tal como estaba previsto en el plan de trabajos. La cantidad inyectada resultó en 131 litros, con un consumo promedio de 1.1l/m.

En este momento no se observan filtraciones importantes por la interfaz tapón-roca, pero al encontrarse el sistema en un transitorio se deberá observar su evolución durante las próximas semanas.

Se comprobó mediante una prueba que la resina disponible en terreno Foamjet260LV resultó apta para su inyección con el sistema de mangueras SikaFuko instaladas en la estructura, por lo que puede analizarse entre las variantes de resinas a inyectar a futuro en el sistema, con fines de sellado.

La mayor parte de las mangueras del perímetro se encuentran disponibles para reinyectar con lechada de microcemento. Aquellas que se encontraran obturadas al momento de reinyectar, pueden sellarse con resina colocada a una presión de hasta 10 bar.

La reinyección de contacto en las mangueras existentes en la juntas frías (H01 a H06) no tuvieron efectos en las filtraciones que se observan en la junta entre la dovela #8 y #10.

Se deberá evaluar nuevamente esta infiltración una vez finalizada la etapa de inyecciones químicas en las mangueras longitudinales (L01 a L10), y en caso de que no sea controlada con este método, proceder a su sellado mediante un tratamiento de la junta con resina o lechada cementicia.

Prepararon:
F. Garate, A. Verri
SRK Consulting

Apéndices

Appendix A Informe de inyecciones, Ecominera

En las Figura 2-1 a Figura 2-3 se incluye el informe de inyecciones realizado por Ecominera.

A04-A-1	24/01/2018	10.9	8	8	Presión
A04-B-1	23/01/2018	3.8	8	10	Presión
A04-C-1				10	Tapado
A05-A-1	23/01/2018	10.1	4	4	Presión
A05-B-1				4	Tapado
A05-C-1	24/01/2018	7	20	20	Presión
A06-A-1	23/01/2018	8.5	7	7	Presión
A06-B-1	23/01/2018	10.7	27	27	Presión
A06-C-1				27	Tapado
A07-A-1	23/01/2018	3.3	10	10	Presión
A07-B-1	24/01/2018	10.2	8	14	Presión
A07-C-1	24/01/2018	10.00	10.00	29	Presión
A08-A-1	23/01/2018	5	13	13	Presión
A08-B-1	24/01/2018	10.3	8	21	Presión
A08-C-1	24/01/2018	11	8	30	Presión
Totales Acumulados			87	191	

Figura 2-1. Reinyección cementicia de anillos A04-A08.

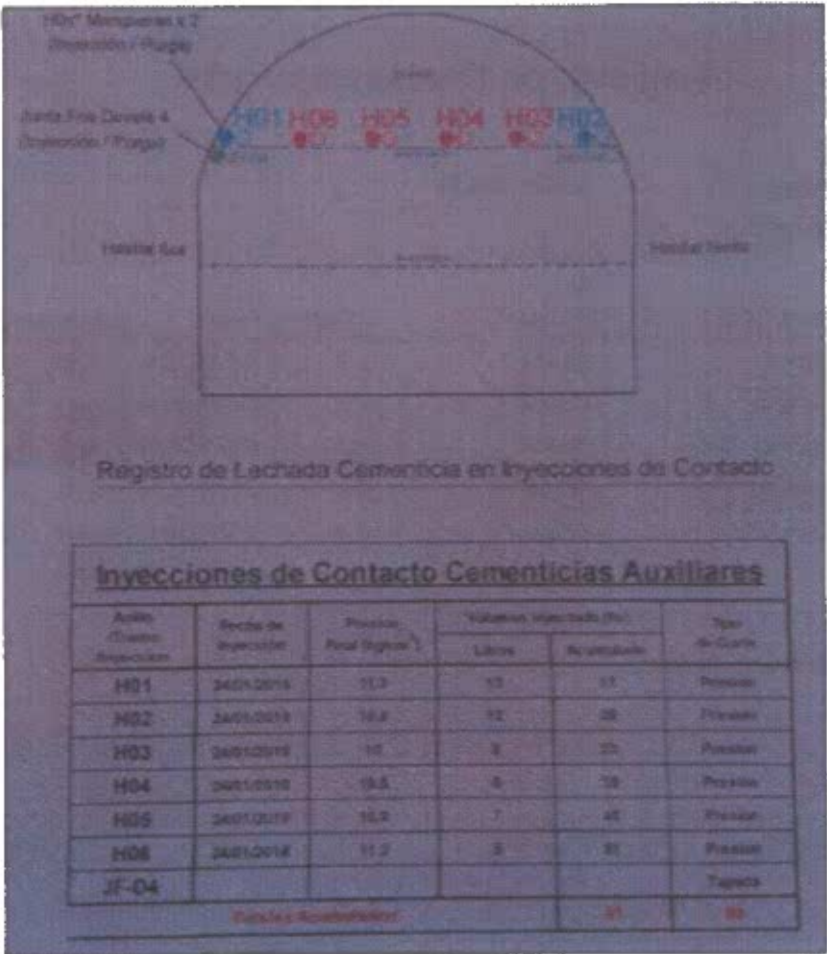


Figura 2-2. Reinyección cementicia de juntas H01-H06.

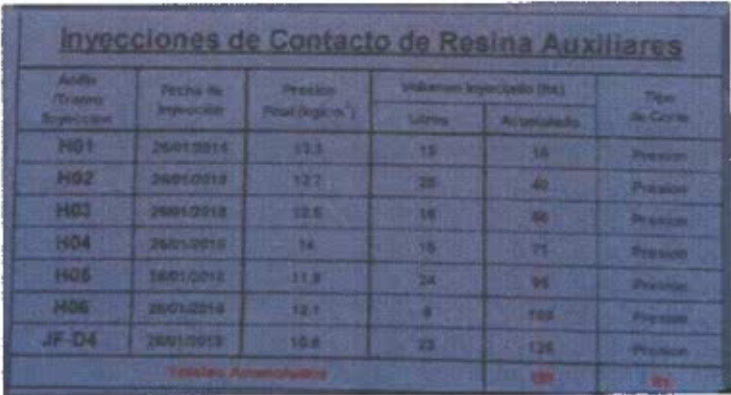


Figura 2-3. Sellado con resina de juntas H01-H06.

Registro de Distribución SRK

N° Informe: CA035-QA033
N° Revisión: A

Nombre/Título	Empresa	Copia	Fecha	Autorizado por
S. Fuentes	BEASA	1	27/01/2018	AVK
R. Basañes	BEASA	2	27/01/2018	AVK
M. Yanzón	BEASA	3	27/01/2018	AVK
L. Morasse	BEASA	4	27/01/2018	AVK
D. Donis	BEASA	5	27/01/2018	AVK

Firma de aprobación:

ALEJANDRO VERRI KOZŁOWSKI
INGENIERO CIVIL
MAT. CPIC(BA) 15584
MAT. CPIA(SJ) 4212

Revisión	Cambios	Fecha	Autorizado por

Este reporte está protegido por derechos de autor de SRK Consulting. No puede ser reproducido ni transmitido en ninguna forma a ninguna persona sin el consentimiento de SRK.

Memo Técnico CA035-QA034-A

Finalización de Inyecciones Terciarias

Para:	D. Donis, R. Bally	Fecha:	27/01/2018
Empresa:	BEASA	De:	F. Garate, A. Verri
Con Copia:	S. Fuentes, L. Warren	ID Doc:	CA035-QA034-A
Asunto:	Finalización de Inyecciones Terciarias		

1 Observaciones

A la fecha de redacción de la redacción del presente documento, la situación de la obra de inyecciones terciarias es la siguiente:

- Se han perforado e inyectado 270m en la corona A03, con un volumen inyectado efectivo (descontando cámaras) de 4.6 L/m. Esto supera el requerimiento del 50% de los pozos de esta corona inyectados.
- Se han perforado e inyectado 112m en la corona A02, con un volumen inyectado efectivo (descontando cámaras) de 4.0 L/m. Esto supera el requerimiento del 75% de los pozos de esta corona inyectados.
- Se han perforado e inyectado 96m en la corona A01, con un volumen inyectado efectivo (descontando cámaras) de 5.6 L/m. Esto supera el requerimiento del 75% de los pozos de esta corona inyectados.
- Las inyecciones troncocónicas (A03 a A01) han sido finalizadas con longitudes de pozo inyectadas totales mayores al requerimiento del 75% de lo dispuesto en los planos ejecutivos (93%)
- Las inyecciones de la corona C01.III a C03.III se han perforado con longitudes de pozo conforme a lo especificado. Se ha inyectado en cada una de estas coronas una longitud total de 88 con un volumen inyectado efectivo (descontando cámaras) de 3.5 L/m.

Una vez finalizadas las inyecciones, se procedió al sellado de los pozos que presentaban infiltraciones y aquellos auxiliares que no habían sido sellados previamente conforme al documento C-A035-QA031A-B. Se sellaron los pozos #8-A01, #7-A02, #8-A02, #3-A03, #6-A03, #13bis-A03, #14bis-A03, #16bis-A03, #2-A03 con el procedimiento descrito por Ecominera en un documento separado.

Los volúmenes de resina inyectados y las longitudes de pozo cumplen los criterios mínimos establecidos por SRK en el proyecto ejecutivo y los pozos que presentaban infiltraciones fueron sellados

En el sector de la bóveda a la altura de la PK0+251.5, se observaron nuevas filtraciones que se iniciaron luego del sellado de los pozos. Durante las tareas de inyección se ha detectado el agrietamiento en el shotcrete con algunos desprendimientos puntuales, por lo que se considera que las tareas no pueden intensificarse sin evaluar riesgos en lo que respecta al sostenimiento de ese sector localizado de la bóveda.

Se recomienda realizar un análisis de riesgo geotécnico del sostenimiento y determinar eventuales medidas mitigación en la progresiva 0+251.50, donde la infiltración a través del shotcrete y las presiones durante las tareas de inyección parecen haber debilitado localmente el soporte.

Esta tarea puede complementarse con el análisis de riesgo de sostenimiento en el tramo 0+000 a 0+255 ya iniciadas por SRK y BEASA durante el mes de Mayo

Aún se observan filtraciones en la junta horizontal entre la dovela #8 y la dovela #10 que deberán tratarse mediante inyecciones de contacto cementicias y químicas durante el período de monitoreo, juntamente con la reinyección de todas las líneas de inyección radiales (A01 a A08) y longitudinales (L01 a L10), de acuerdo al plan de trabajos previsto.

Las inyecciones de contacto que restan ejecutarse no forman parte de los alcances de la obra de inyecciones terciarias por lo que se la contratista podría comenzar la desmovillización una vez finalizadas de las tareas pendientes incluidas en el Punch List enviado el día 25 de enero

Respecto a los caudales de infiltración que resultan de las infiltraciones relevadas, si bien el sistema se encuentra aún en un estado transitorio y restan aún etapas de inyecciones de contacto, el caudal residual medido a la fecha cercano a los 5 L/s es consistente con valores de referencia para casos de obturación similares (Lang, 1999).

Los caudales residuales deberán ser monitoreados periódicamente por BEASA juntamente con las presiones en el macizo, hasta verificar una situación estacionaria de todo el sistema.

Prepararon:
F. Garate, A. Vera
SRK Consulting

2 Referencias

Lang, B. (1999). Permanent sealing of tunnels to retain tailings or acid rock drainage. IMWA Congress. Sevilla.

Registro de Distribución SRK

N° Informe: CA035-QA034
N° Revisión: A

Nombre/Título	Empresa	Copia	Fecha	Autorizado por
S. Fuentes	BEASA	1	27/01/2018	AVK
R. Basañes	BEASA	2	27/01/2018	AVK
M. Yanzón	BEASA	3	27/01/2018	AVK
L. Morasse	BEASA	4	27/01/2018	AVK
D. Donis	BEASA	5	27/01/2018	AVK

Firma de aprobación:

ALEJANDRO VERRI KOZLOWSKI
INGENIERO CIVIL
MAT. CPIC(BA) 15584
MAT. CPIA(SJ) 4212

Revisión	Cambios	Fecha	Autorizado por

Este reporte está protegido por derechos de autor de SRK Consulting. No puede ser reproducido ni transmitido en ninguna forma a ninguna persona sin el consentimiento de SRK.

10

10

INFORME TRABAJOS DE REINYECCIONES TÚNEL MARCELO

FECHA INFORME: 21 de Marzo de 2018.

INSPECCIONES: 20 y 21/03/2018

PARTICIPANTES: Raúl Rizzotti: Supervisor de Construcción Beasa Lama.

Gabriel Arana: Brigadista de Eficiencia Empresaria Lama.

Ceferino Castro: Supervisor Disei.

Damián Palacios: Prevencionista Disei.

Mauricio Atencio: Oficial Eléctrico Disei.

Cristián Garro: Ayudante Disei.

Calixto Muñoz: Ayudante Disei.

FECHA TRABAJOS: 20 y 21 de Marzo de 2018. Se ingresa al túnel Marcelo para realizar reinyecciones cementicias en las mangueras sikafuko anulares y longitudinales colocadas durante el proceso de construcción del tapón del túnel.

EQUIPO Y MATERIALES PARA REALIZAR LAS REINYECCIONES:

- Bomba Peristáltica A20 Accelerator Putzmeister.
- Hormigonera de 130 litros.
- 90 kg de micro cemento pesado en bolsas de 10 kilos.
- 120 litros de agua en botellas de 500 cm³.
- 10 kg micro sílice.
- 500 cm³ de Aditivo Sikament 235 E.
- Herramientas de mano.

CIRCUITOS DE ANILLOS PERIMETRALES MANGUERAS SIKAFUKO A01 A A08:

En estos circuitos anulares se habían realizado las inyecciones y dos re inyecciones más durante los meses de noviembre a enero.

Se procede a verificar el circuito de inyección de los Anillos Perimetales A04 a A08 con agua utilizando la bomba peristáltica A20. En ningún caso se pudo hacer circular agua por el circuito. Se encuentran tapados los circuitos de las mangueras de inyección. Las mangueras de los anillos A01 a A03 ya se encontraban obstruidas, razón por la cual no se realiza inyección de agua en dichos circuitos.



FOTO 1 y 2: Conexiones circuito mangueras A08.



FOTO 3 y 4: Prueba con agua de circuito A06.

CIRCUITOS DE MANGUERAS SIKAFUKO LONGITUDINALES L01 A L10:

En estos circuitos longitudinales sólo se había realizado inyección durante el mes de noviembre. No se habían realizado reinyecciones.

Se procede a verificar con agua los circuitos de inyección de las mangueras longitudinales L01 a L10. Sólo en una se pudo verificar circulación de agua por el circuito: L07. En los restantes circuitos no se pudo, se encuentran tapadas.



FOTO 5 y 6: Conexiones circuitos manguera L01 a L10.



FOTO 7: Circuito L07 funciona al inyectar agua. FOTO 8: Prueba con agua Circuitos L01 a L10.



FOTO 9 y 10: Prueba de inyección con agua circuitos L01 a L10.

Se procede a reinyectar lechada cementicia utilizando la siguiente dosificación para el circuito L07:

- 20 kilos de Micro cemento Spinor A-20.
- 20 litros de Agua.
- 0,07 litros de Aditivo Sikament 235 E.
- 0,01 kg de Micro sílice.

Se prepara la misma en hormigonera y se procede a inyectar con la bomba Peristáltica A-20. Se logra inyectar unos 8 litros de lechada cementicia.



FOTO 11 y 12: Preparación lechada cementicia con micro cemento.



FOTO 13 y 14: Reinyección con lechada cementicia circuito L07.

CONCLUSIÓN: Los circuitos de inyección de los anillos de manguera sikafuko A01 a A08 se encuentran obstruidos, no pudiendo realizar trabajo de reinyección. Mientras que en los circuitos longitudinales L01 a L10 sólo uno de ellos no estaba obstruido. Se procedió a inyectar lechada cementicia en el mismo ingresando 8 litros. Todo indica que los circuitos de inyección se encuentran obstruidos por el trabajo de la resina colocada en los trabajos de inyecciones químicas realizados durante los meses de diciembre y enero.

Handwritten signature:
Raúl Rizootti
 21/03/2018

2



PITEAU ASSOCIATES UK
GEOTECHNICAL AND
WATER MANAGEMENT CONSULTANTS

CANON COURT WEST
ABBAY LAWN
SHREWSBURY
SY2 5DE
UNITED KINGDOM
TEL: +44 1743 243 825
www.piteau.com

Archivo de Piteau: 3928 TM02

Fecha: 19 de marzo de 2018

email: mwilliams@piteau.com

MEMORÁNDUM

PARA: Barrick Exploraciones Argentina S.A.
CON COPIA A: Simon Mansell (Piteau Associates Chile)
DE: Martin Williams

REF.: Efecto de las filtraciones residuales desde el Túnel Marcelo sobre la calidad del agua en el sector de aguas abajo luego del taponeo hidráulico del 12 de enero de 2018.

1 Introducción

1.1 Antecedentes

Barrick Exploraciones Argentina S.A. (BEASA) solicitó la preparación de este memorándum con el propósito de realizar una evaluación cuantitativa del posible efecto de la descarga residual desde el Túnel Marcelo sobre la calidad natural del agua en el sector de aguas abajo del proyecto Lama en San Juan, Argentina, según lo observado durante el período posterior al cierre de las válvulas de regulación del caudal instaladas en el tapón del túnel, de fecha el 12 de enero de 2018.

El Túnel Marcelo fue construido durante el período de 2011 a 2013 para ser utilizado en el transporte del mineral desde la mina a rajo abierto Pascua-Lama, hasta una planta de procesos metalúrgicos ubicada en el sector alto de la cuenca del río Turbio en Argentina.

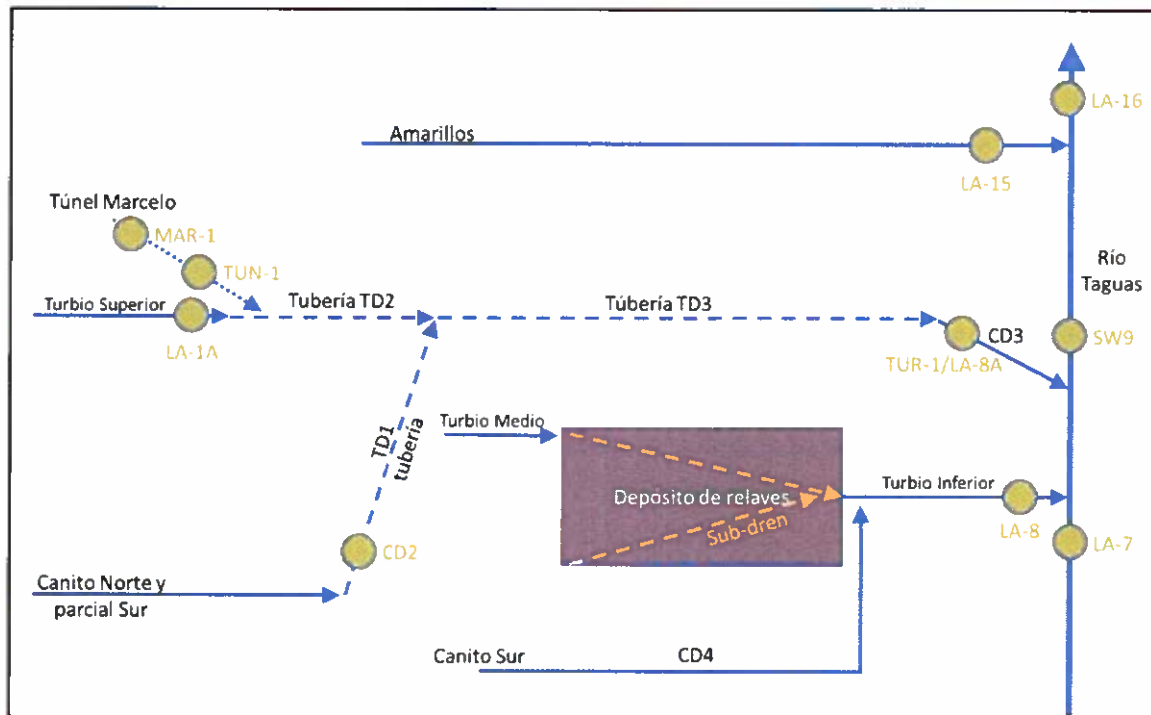
Durante el período entre la construcción del túnel y la instalación de un tapón cerca del portal a fines de 2017, el túnel descargaba agua libremente al tramo alto del Turbio a caudales que variaban entre unos pocos l/s a más de 250 l/s. Investigaciones hidrogeológicas realizadas han mostrado que gran parte de esta agua ingresa al túnel a lo largo de un tramo de 500 m que se extiende entre la cota del portal, a 4.105 msnm, y una cota interior aproximada de 4.250 msnm. Similar a lo monitoreado en el río Turbio durante la línea base, la descarga desde el túnel tiene un bajo pH (generalmente bajo de 4) y altos niveles de STD (> 3 g/l) y metales. En general, los niveles de Al, Fe y Cu exceden los 100 mg/l, 200 mg/l y 15 mg/l respectivamente.

1.2 Historia de la construcción y el manejo del agua en el Túnel Marcelo

Junto con la construcción del Túnel Marcelo, el desarrollo de infraestructura para el proyecto a rajo abierto Pascua Lama (actualmente en etapa de suspensión temporal) requirió una modificación sustancial de la red natural de drenaje superficial del Turbio. La escorrentía proveniente de los sectores altos de las cuencas del Turbio y el Canito se ha

desviado alrededor de la huella del depósito de colas, como se muestra en la Figura 1. El agua proveniente del tramo alto del Turbio es canalizada al norte del depósito de colas mediante una tubería, TD2, mientras que el caudal proveniente de la subcuenca del Canito Norte y parte de la subcuenca del Canito Sur (que anteriormente ingresaba al Turbio aguas arriba de la estación de monitoreo LA-8 de Barrick) actualmente es canalizado al norte del depósito de colas mediante una tubería denominada TD1. Tanto TD1 como TD2 ingresan a una tubería denominada TD3, que descarga a un canal abierto, CD3, antes de ingresar al Río de Las Taguas, alrededor de 300 m aguas abajo de la confluencia natural del Turbio con Las Taguas. Por lo tanto, la descarga del Turbio a través de su confluencia natural con Las Taguas disminuyó y esencialmente comprende el componente de la escorrentía de la cuenca del Turbio que pasa a través del subdren del depósito de colas más un componente de caudal proveniente del Canito Sur, conducido por el sur del depósito de colas a través del canal CD4 (Figura 1).

Figura 1: Representación esquemática del sistema de manejo de agua del Turbio-Canito



Barrick operó una planta de tratamiento con cal en el portal del túnel a partir de 2013 con el propósito de aumentar el pH a un rango de 5–8, cumpliendo de este modo con las condiciones impuestas en el numeral 109 de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Sin embargo, durante el período de operación de la planta de tratamiento con cal se observó que la introducción de alcalinidad a un sistema con características naturales de alta acidez resultó en el crecimiento de algas en las cercanías del desagüe de CD3. Por lo tanto, el 11 de agosto de 2015 Barrick presentó a la autoridad una segunda Adenda del Cuarto Informe de Actualización del IIA, en el que efectúa una nueva propuesta de manejo de aguas del Túnel Marcelo, consistente en un proyecto de obturación a través del taponeo. Esta medida de control hidráulico fue aprobado por la autoridad ambiental minera y desde el punto de vista sectorial por el Departamento de Hidráulica de la Provincia de San Juan.

En el 2017 se llevó a cabo la instalación del tapón en el túnel para inhibir la descarga del agua. Este tapón construido de cemento con una longitud de 15 m en el túnel está distante entre 255 m y 270 m desde el portal, controlándose la descarga a través de válvulas instaladas en el tapón que fueron cerradas el 12 de enero de 2018.

A partir de la fecha del cierre de la válvula de control del caudal instalada en el tapón del Túnel Marcelo, Barrick ha realizado el monitoreo de los niveles de agua subterránea atrás del tapón además del monitoreo de cualquier caudal que emana desde el sector del túnel que se extiende entre el tapón y el portal. Se ha observado que la recuperación de los niveles de agua subterránea, monitoreada utilizando piezómetros de cuerda vibrante instalados en el túnel y en una serie de sondajes ubicados sobre la alineación del túnel, es rápida, registrándose un ascenso de la superficie freática de más de 90 m inmediatamente aguas arriba de la ubicación del tapón durante un período aproximado de un mes hasta inicios de marzo. Los niveles de agua subterránea posteriores al cierre en los sondajes para los cuales se monitorearon las cotas en 2007 sugieren que los niveles de los sondajes que están ubicados muy cerca del túnel son más altos que los registrados antes de la construcción del túnel, mientras que en un sondaje más distal, GTDH06-01, el nivel sigue estando alrededor de 12 m más abajo que la cota de la referencia definida en 2007. Sin embargo, en este sondaje siguió observándose una tasa de ascenso aproximada de 0,2 m por día durante febrero de 2018. De acuerdo a los datos de monitoreo recopilados hasta la fecha, se prevé que la evolución de los niveles de agua subterránea durante el resto del año 2018 implicará el establecimiento de una distribución de la carga piezométrica estrechamente análoga a la existente antes de la construcción del túnel. El ascenso temprano del agua subterránea inmediatamente detrás del tapón será progresivamente más moderado, mientras que las cotas de las aguas subterráneas seguirán elevándose al norte y más extensamente al oeste.

Si bien BEASA ha realizado considerables esfuerzos por maximizar la eficiencia del sistema de contención hidráulica del tapón del Túnel Marcelo (a través de la instalación del tapón en un sector del túnel caracterizado por roca diorítica competente además de la colocación de gran cantidad de cemento y resina), es inevitable que se produzcan algunas filtraciones residuales. Cualquier infiltración o recarga que ingrese al sector del túnel entre el portal y la ubicación del tapón seguirá produciendo descarga. El monitoreo de los caudales desde el portal del túnel a partir de la fecha de cierre, el 12 de enero de 2018, sugiere que se ha producido un aumento progresivo de la descarga residual generada por el aumento de la carga piezométrica detrás del tapón. Hasta mediados de febrero de 2018, existían caudales del orden de 1-2 l/s, los que fueron aumentando posteriormente hasta alrededor de 12 l/s en la segunda semana de marzo, y luego bajando hasta aproximadamente 7 l/s. Estas mediciones son menos de los máximos de 33 l/s previstos en base de un modelo numérico elaborado por SRK (2016). Sin embargo, los cálculos de la conductividad hidráulica de la roca alrededor del tapón efectuados por BEASA en 2017 indica que el modelo de SRK (2016) es potencialmente sobre-conservador. Esta conclusión se ha respaldado por mediciones de caudales residuales en la segunda parte de marzo del 2018. Durante este período se ha observado caudales reducidos en respuesta a la redistribución progresiva de las cargas piezométricas al norte y al oeste del tapón además de una reducción de la recarga a medida que avanza la temporada de invierno de 2018. Se proyecta que en el largo plazo los caudales provenientes del portal presentarán una ciclicidad estacional de la misma magnitud que observada en febrero y marzo del 2018.

2 Manejo de aguas infiltradas del Túnel Marcelo

2.1 Perspectiva general

En las secciones restantes de este memorándum se aborda la estrategia de manejo para asegurar que la descarga residual del Túnel Marcelo no provoque efectos negativos en la calidad del agua en el sector abajo. Para los efectos de una evaluación, se considera un resultado óptimo las mismas condiciones en el punto de cumplimiento normativo LA-

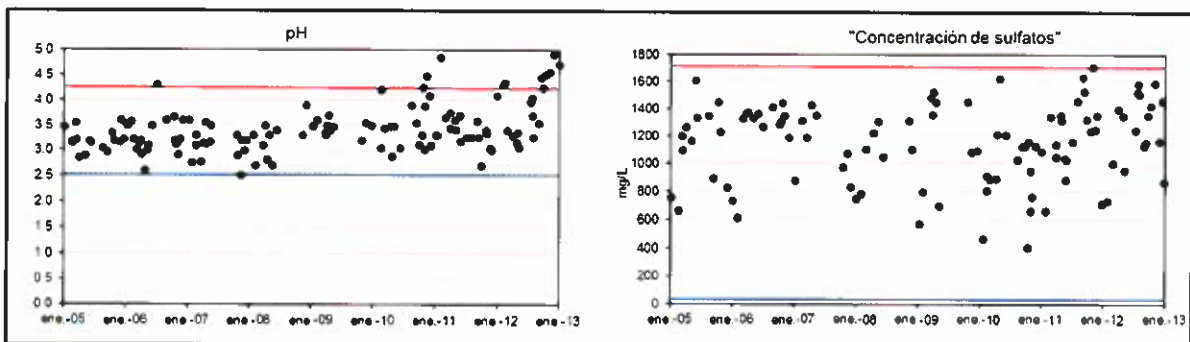
16 que existían antes de la construcción del Túnel Marcelo, y los cambios del sistema de drenaje superficial en la cuenca del Turbio (Figura 1).

2.2 Condiciones de la línea base y efecto de la construcción del Túnel Marcelo

Antes de la introducción de descarga a través del Túnel Marcelo hacia la cuenca del Turbio en 2011, el Turbio se caracterizaba por una calidad química natural baja. En la Figura 2 se muestra el pH y la concentración de SO_4 en el agua de la estación LA-8, ubicada en el tramo bajo del Turbio inmediatamente aguas arriba de la confluencia del Turbio con Las Taguas. Antes del 2011, el nivel del pH en esta estación se encontraba característicamente entre 2,5 y 3,5. Este nivel aumentó levemente después de 2012, con posterioridad al aislamiento de LA-8 de la escorrentía natural derivada del tramo alto del Turbio mediante la derivación de esta agua a través de TD2. Si bien las concentraciones de sulfato estaban sujetas a variabilidades estacionales, se mantuvieron característicamente entre 1200 - 1400 mg/L en las condiciones de la línea base. Las concentraciones de diversos metales, incluyendo el Fe, el Al y el Cu, variaron entre >10 y >100 mg/L.

Los datos del monitoreo histórico para la estación LA-1A (Figura 3) muestran que la baja calidad química del agua que descargaba naturalmente del Turbio a Las Taguas en las condiciones de la línea base es atribuible en gran medida al pH particularmente bajo y a las altas cargas de SO_4 y metales asociadas al drenaje desde el sector alto de la cuenca del Turbio. El pH del agua de LA-1A corresponde naturalmente a alrededor de 3, mientras que los valores de SO_4 y metales son comúnmente más elevados que los valores registrados en LA-8 (Turbio Inferior) por un factor de dos. El diferencial de las concentraciones de solutos entre LA-1A y LA-8, bajo el régimen de flujo natural de la cuenca para la línea base, fue atribuible al efecto de dilución producido por el ingreso de agua del Canito al Turbio aguas arriba de LA-8.

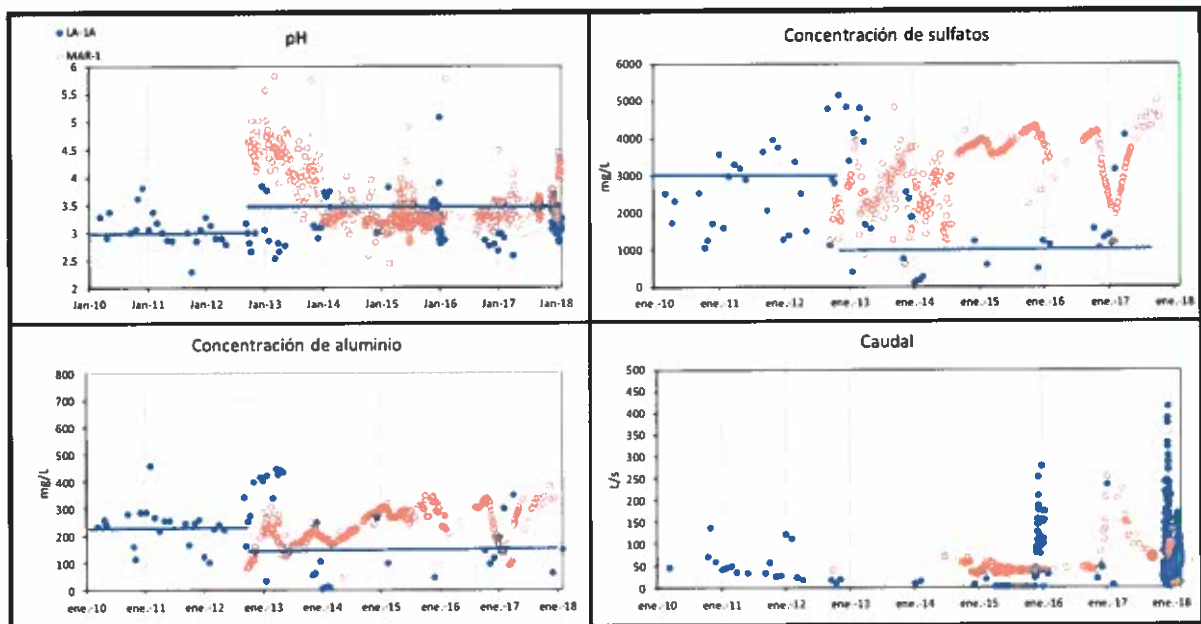
Figura 2: Tendencias del pH y SO_4 en el sector bajo de la cuenca del Turbio en estación LA-8 entre 2005 y 2013. Los valores establecidos en la Línea Base (Instituto de Investigaciones Hidráulicas, Universidad Nacional de San Juan, 2017) como máximos y mínimos anuales de muestran con líneas rojas y azules respectivamente.



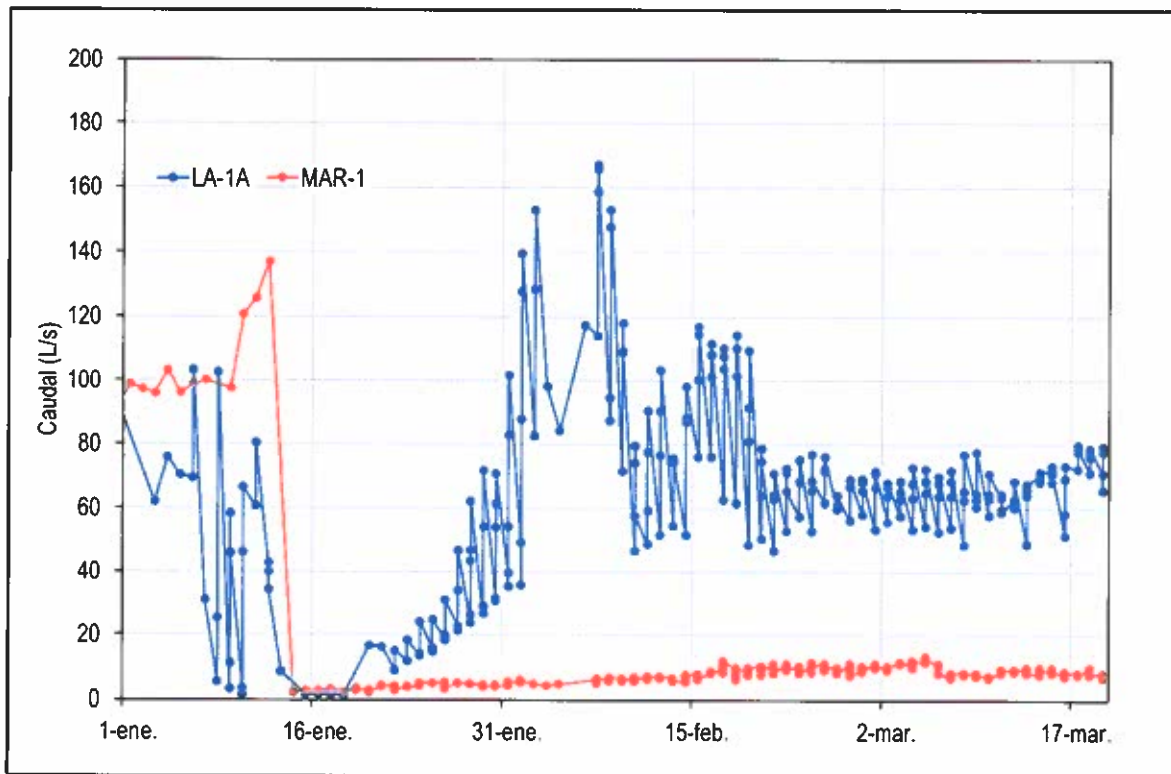
La Figura 3 ilustra las tendencias del pH, el SO_4 y el Al en la estación LA-1A (de Turbio Superior) en los dos años anteriores, y luego de la construcción del Túnel Marcelo. La Figura 3 muestra también las tendencias de la descarga del túnel, medida en la estación MAR-1 desde fines de 2012 en adelante. Una tendencia crítica es el aumento del pH promedio de 3 a 3,5 y una reducción de las concentraciones de SO_4 , Al y otros metales en LA-1A en forma simultánea con el inicio de la descarga desde el túnel (ver líneas azules, en Figura 3, indicando tendencias antes y después del

túnel). Los caudales promedios y máximos en LA-1A también descendieron en dicho momento y se mantuvieron comparativamente bajos durante los cuatro años siguientes. Estas tendencias destacan el efecto hidrológico de la construcción del túnel sobre el régimen natural del caudal base del tramo alto del Turbio. A través de su función como dren, el túnel indujo un fuerte gradiente hidráulico y la captación eficaz del caudal base que emanaba del sector mineralizado al noroeste de la cuenca, que de otro modo habría llegado a LA-1.

Figura 3: Calidad de agua en la estación LA-1A (azul) en el periodo 2010 a 2012, antes del inicio de descarga del Túnel Marcelo, y calidad de agua en LA1A y MAR-1 durante el periodo de descarga del túnel.



Los datos recopilados después del cierre del túnel el 12 de enero de 2018 corroboran la función del Túnel Marcelo en la captación del agua (y, por extensión, de la masa química) que llegaría naturalmente al tramo alto del Turbio. En la Figura 4 se muestran los registros de caudales recopilados para LA-1A y el Túnel Marcelo (estación MAR-1) durante el periodo desde el 1 de enero al 12 de febrero de 2018, es decir, inmediatamente antes y después de la fecha de cierre. Inevitablemente, el caudal de MAR-1 descendió abruptamente de alrededor de 120 a <2 l/s a partir de la fecha de cierre. En un plazo de días desde la fecha de cierre, se observó un aumento correspondiente del caudal en LA-1A, lo que refleja el rejuvenecimiento del caudal base y el interflujo naturales a medida que disminuye el gradiente hidráulico en dirección al túnel. Se ha observado que este aumento del caudal en LA-1A está acompañado por un aumento de las concentraciones de Al y otros solutos hasta niveles estrechamente análogos a los registrados en el periodo anterior a la construcción del túnel.

Figura 4: Registro de caudales en LA-1 y MAR-1 inmediatamente antes y después del cierre del Túnel Marcelo

2.3 Efecto del tratamiento de la descarga del Túnel Marcelo

Antes de la instalación del tapón en el Túnel Marcelo en 2017, la descarga fue del orden de 250 L/s o más. Dada la baja calidad del agua del túnel, se podría haber previsto razonablemente que la carga total de acidez, SO_4 y metales contenida en la descarga total que ingresaba a Las Taguas aumentaría en ausencia de intervención mediante tratamiento. Sin embargo, los datos de monitoreo recopilados durante el periodo de operación del tratamiento activo en la estación LA-8A/TUR-1, ubicada en el canal CD3 (que refleja el caudal que ingresa al Taguas, integrado por el Turbio, el Canito Norte y la descarga tratada del Túnel Marcelo) y, más críticamente, en las estaciones SW9 y LA-16, ubicadas en Las Taguas, sugieren que el beneficio práctico sobre la calidad del agua derivado del tratamiento del agua del Túnel Marcelo fue mínimo.

Mientras que el pH del agua de LA-8A/TUR-1 aumentó sistemáticamente en alrededor de 1 unidad en relación con el régimen natural del Turbio (medido en las condiciones de la línea base en LA-8), la reducción de la carga de metales en TUR-1 durante el periodo de tratamiento fue comparable a grandes rasgos con la reducción registrada simultáneamente en LA-1A (aguas arriba del punto de tratamiento). En la Figura 5-2 se muestra esta tendencia con respecto al Fe, que puede considerarse como característica de la mayoría de los solutos contenidos en el sistema durante todo el período cubierto por los datos presentados. La reducción de las concentraciones de Al evidente en LA-8A/TUR-1 a partir de 2014 es estrechamente comparable con la reducción registrada en LA-1A, si bien está aumentada en alguna medida por la dilución asociada al ingreso de agua del Canito Sur a la derivación de TD3-CD3. En el caso

del Fe, prácticamente no se logró ninguna reducción de la concentración en LA-8A/TUR-1 en relación con LA-1A durante todo el periodo de tratamiento activo.

En las estaciones SW-9 y LA-16, ubicadas en el Taguas, los rangos registrados de valores de pH y concentraciones de Al, Fe y prácticamente todos los demás solutos mostraron pocas diferencias entre el periodo anterior a la construcción del túnel, el periodo de tratamiento del agua del túnel y el periodo posterior al cierre (Figuras 5-1 y 5-2). Esto refleja en gran medida la tendencia al equilibrio natural de la masa de solutos, con una significativa precipitación de metales, en respuesta al aumento del pH que se produce en la zona de mezcla en la confluencia del Turbio con Las Taguas. Esto suprime la sensibilidad de la calidad del agua de las estaciones SW-9 y LA-16 de Las Taguas a las variaciones de la carga de masa que emana de la cuenca del Turbio.

Por lo tanto, es posible afirmar que el tratamiento histórico del agua del Túnel Marcelo ejerció poca influencia en la calidad final del agua de estas estaciones de Las Taguas, ya que la inducción artificial de la precipitación de metales mediante la adición de cal en el portal del túnel simplemente replicó un proceso que de otro modo se hubiera producido naturalmente en la zona de mezcla entre el Turbio y Las Taguas.

Figura 5-1: Registro histórico del Al totales en las estaciones LA-1A, TUR-1, SW-9 y LA-16 antes y durante el periodo de descarga y tratamiento activo del Túnel Marcelo (todos los valores están en mg/l)

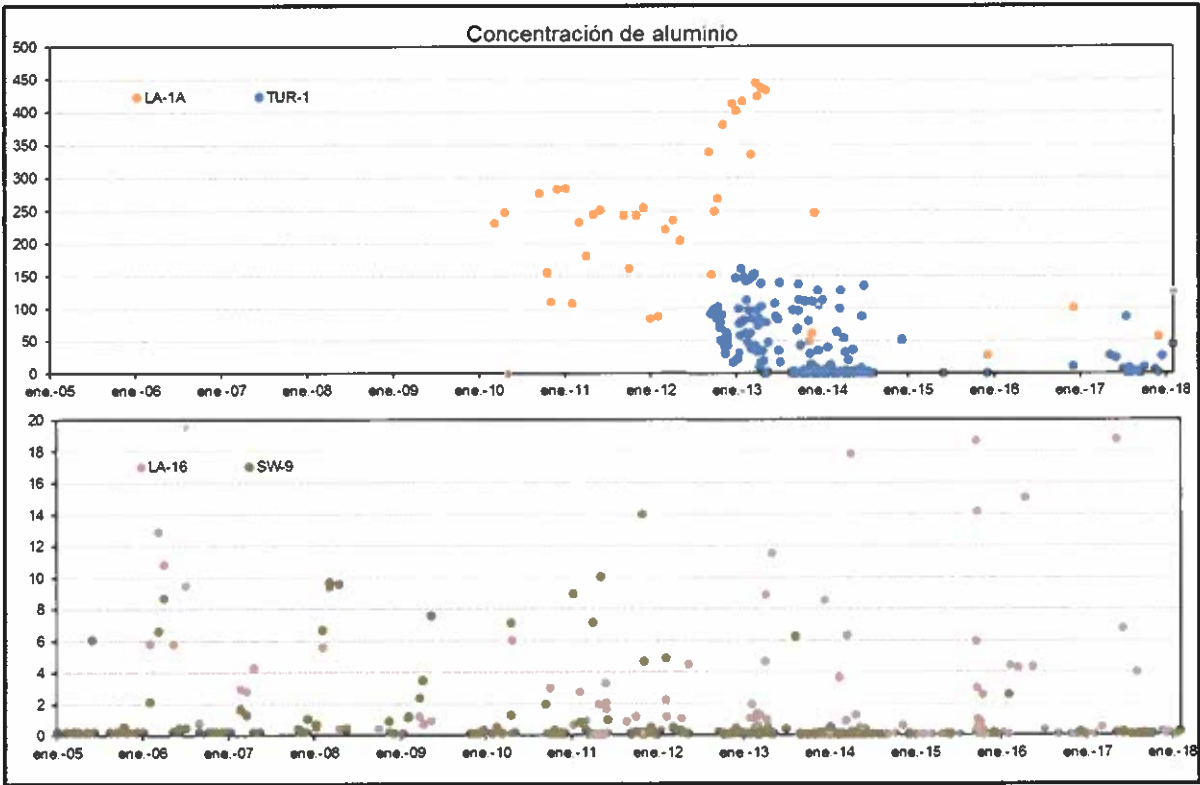
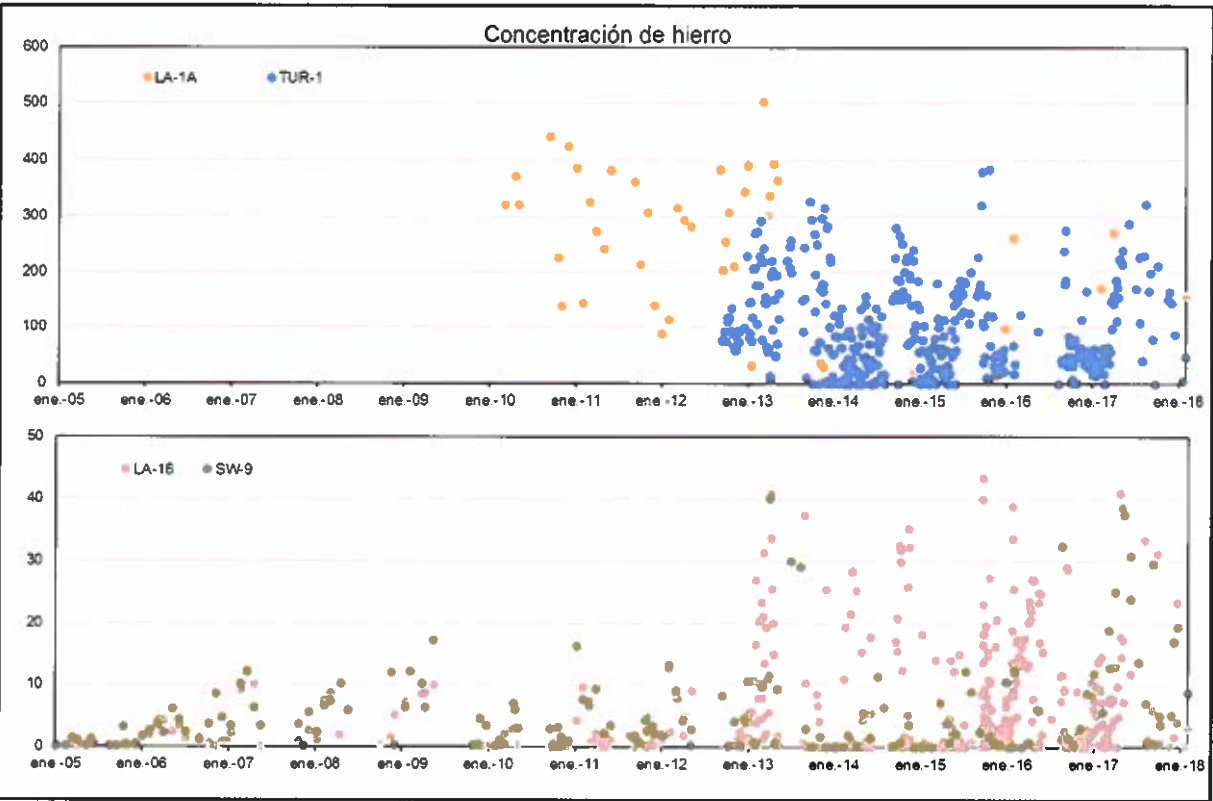


Figura 5-2: Registro histórico de Fe totales en las estaciones LA-1A, TUR-1, SW-9 y LA-16 antes y durante el período de descarga y tratamiento activo del Túnel Marcelo (todos los valores están en mg/l)



2.4 Estrategia futura de manejo de la descarga residual del Túnel Marcelo

Dado el limitado efecto (beneficioso) del tratamiento activo de la descarga del Túnel Marcelo durante el período de cinco años durante el cual no se realizó ningún control de los caudales (y durante el cual los caudales máximos excedieron los 250 L/s), la necesidad de tratamiento continuo de los caudales residuales posteriores al cierre, de hasta 15 L/s, es muy cuestionable en el contexto de la preservación de la calidad de agua correspondiente a la línea base en el agua del sector de aguas abajo del Taguas. Esta afirmación es, de manera general, confirmada por lo siguiente:

- a) La mala calidad del agua que descargaba naturalmente desde el Turbio a Las Taguas. Es poco probable que ésta se vea significativamente influenciada por caudales residuales comparativamente menores de agua con una calidad análoga proveniente del túnel. Otra consideración relacionada es la tendencia de la calidad de la descarga residual del túnel a mejorar desde la fecha de cierre en enero de 2018. Desde la inundación de la roca atrás del tapón, se han suprimido las tasas de oxidación del sulfuro y el desarrollo de condiciones anóxicas en la zona de saturación debería impedir la producción de acidez derivada de la precipitación del hidróxido férrico (Fe(OH₃)). Las mediciones del pH de la descarga realizadas en febrero de 2018 sugieren que los niveles han aumentado sistemáticamente hasta más de 4.
- b) La conceptualización hidrológica del sistema del tramo alto del Turbio descrita en la Sección 2.2 (más arriba), según la cual se puede prever que un volumen finito de caudal base y/o interflujo ingresará al sistema. Este

volumen se distribuye de manera variable entre el túnel y el sector alto de la cuenca natural (LA-1A) de acuerdo a la distribución de la carga piezométrica en el área detrás del tapón del túnel.

- c) La falta de sensibilidad de las aguas del tramo de aguas abajo del Taguas a la carga química que emana de la cuenca del Turbio debido a la precipitación de solutos inducida por el pH en la zona de mezcla.

En conjunto, los factores anteriores sugieren que el tratamiento futuro de la descarga residual del Túnel Marcelo probablemente no tendrá ningún beneficio significativo y, en el peor de los casos, podría generar el riesgo de interferir en el restablecimiento de las condiciones naturales de la línea base aguas abajo. Los riesgos incluyen la estimulación continua de algas en la zona de mezcla en el desagüe de CD3-Taguas, como se observó durante el período de operación activa de la planta de cal en el portal del túnel hasta 2017.

3 Modelamiento numérico del efecto de la ausencia de tratamiento sobre la calidad del agua en el sector de aguas abajo

3.1 Base del modelamiento

Se construyó un modelo integrado de balance hídrico físico y balance geoquímico de masa para el sistema del Turbio-Las Taguas, cuyo 'límite del dominio' de aguas abajo correspondió a LA-16. El modelo, desarrollado mediante la plataforma estándar de la industria GoldSim, se construyó principalmente para evaluar los efectos de las configuraciones alternativas para un sistema de manejo de aguas en el Turbio sobre la hidrología natural y la calidad del agua del sistema de aguas abajo. El modelo incorpora una capacidad probabilística para simular toda la gama de condiciones climáticas que podrían ocurrir en el dominio del modelo. En todo el mundo, las autoridades reguladoras reconocen ampliamente que estos modelos proporcionan las mejores bases defendibles para la evaluación de los impactos sobre la calidad del agua asociados a ajustes inducidos artificialmente o naturales en el régimen hidrológico físico y/o el flujo entrante de contaminantes.

3.2 Escenarios del modelo

Para evaluar el posible impacto de la descarga residual desde el Túnel Marcelo a los caudales previstos en las condiciones de 'cierre' hidráulico del tapón del túnel, se aplicó el modelo GoldSim para simular la calidad del agua en TUR-1, SW-9 y LA-16 durante un período de seis años, a partir de una fecha nominal equivalente al 1 de marzo de 2018. El modelamiento se desarrolló considerando dos escenarios alternativos:

- A) La descarga continua de 15 L/s de agua no tratada con una química correspondiente a la monitoreada en MAR-1 (descarga no tratada del Túnel Marcelo) en febrero de 2018.
- B) Cero caudal y carga química desde el Túnel Marcelo al sistema del Turbio/Las Taguas.

El escenario A inevitablemente representa un escenario demasiado conservador en el sentido de que se prevé que la descarga de agua residual desde el Túnel Marcelo sólo alcanzará un caudal de 15 L/s durante períodos esporádicos cada año. Por el contrario, el Escenario B podría considerarse no conservador, ya que probablemente ni la contención hidráulica total ni el tratamiento de cualquier descarga residual del túnel hasta un contenido de cero STD sean factibles en la práctica.

3.3 Construcción del modelo y datos de entrada

Simulación del caudal

El modelo físico de balance hídrico está configurado de manera de realizar simulaciones con una resolución diaria durante el período de simulación del modelo, equivalente a seis años. Los caudales para cada intervalo de tiempo se aplican utilizando una combinación de secuencias de datos estocásticas y determinísticas, las que se resumen en la Figura 6. Se asignan caudales diarios al tramo alto del Turbio (LA-1A), al tramo medio del Turbio (que ingresa al subdren del depósito de colas), al tramo bajo del Turbio (LA-8 incluyendo la derivación CD4 del Canito Sur) y a la tubería TD1 utilizando un algoritmo probabilístico desarrollado por SRK (2017). El algoritmo define la escorrentía, el interflujo y el caudal base en cualquier día determinado en función de las precipitaciones, la nieve acumulada y el deshielo controlado térmicamente. Para cada una de estas ubicaciones, se generó una distribución probabilística de los caudales diarios mediante la ejecución de 50 simulaciones individuales con el modelo. Esto permitió realizar el cálculo de los caudales a través de todo el Turbio sobre la base de una distribución porcentual desde el percentil 5 al 95.

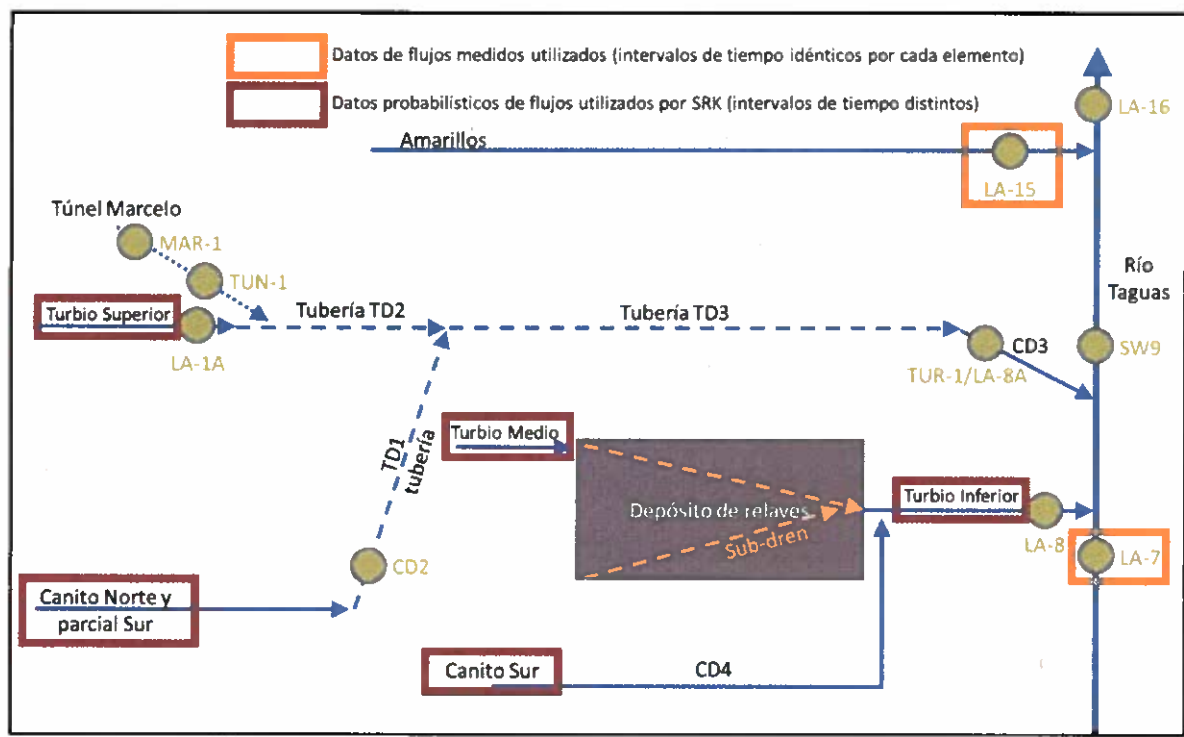
Bajo el Escenario A, se supuso que emanaba un caudal constante de 15 L/s desde el Túnel Marcelo. Este caudal, junto con los caudales diarios probabilísticos que ingresan al Río Las Taguas a través del canal CD3 y a través del curso natural del río aguas abajo de LA-8, se integran en el modelo con los caudales determinísticos (históricos) medidos durante un período de monitoreo entre 2005 y 2011. Este método hace más conservadora la evaluación de los impactos, dado que, en ciertos intervalos, los caudales altos provenientes de la cuenca del Turbio generados sintéticamente inevitablemente se mezclan con las condiciones de caudal bajo del Taguas. Los caudales del Taguas inicialmente se definieron utilizando datos determinísticos para LA7 y LA-15. Estos se sumaron a los caudales sintéticos para la cuenca del Turbio y se calibraron en función de los registros empíricos para SW9 y LA-16.

Datos químicos de entrada

Los datos químicos de entrada, incluyendo los valores de pH, SO_4 y una amplia gama de metales traza, se ingresaron en el modelo como conjuntos de datos empíricamente registrados para las estaciones LA-1, LA-8, CD4, LA-7 y LA-15. Se definieron los valores para cada parámetro correspondientes a los percentiles 5 y 95 del rango registrado entre 2005 y 2011. A continuación, estos valores se ingresaron en el modelo en forma aleatoria en cada intervalo de tiempo diario del mismo. Si bien las concentraciones de solutos de algunos puntos dentro del dominio del modelo muestran alguna correlación con los datos empíricos o una correlación inversa con el caudal, se consideró que el ingreso de los valores aleatorios para el percentil 25 y 75 en cada intervalo probablemente haría más conservador al análisis de los impactos aguas abajo a través de la inevitable coincidencia esporádica de altas cargas provenientes de la cuenca del Turbio con bajas condiciones de caudal en Las Taguas. La elección de este método también se fundó en el hecho de que no se encuentran disponibles conjuntos de datos suficientemente completos como para poder establecer relaciones entre el caudal y la química para el período de la línea base en diversas ubicaciones dentro del dominio del modelo.

Los datos químicos de entrada del modelo usados para representar a MAR-1 se asignaron sobre la base de los valores registrados en este punto para los percentiles 25 y 75 durante el período de 2013 a 2017. En todos los casos, estos valores representan la química de las aguas del túnel antes del tratamiento. Nuevamente, el modo de selección de los datos puede considerarse conservador, dado que la calidad del agua ha mostrado significativas evidencias de haber mejorado desde la fecha de cierre, el 12 de enero de 2018.

Figura 6: Resumen de la derivación de los datos de caudales de entrada para el modelo de calidad de agua del Turbio-Taguas



3.4 Efecto de los escenarios alternativos sobre la calidad del agua de Las Taguas

En las Figuras 7-1, 7-2, 8-1 y 8-2 se muestran los resultados de las proyecciones mediante GoldSim de la calidad del agua en las estaciones SW-9 y LA-16, ubicadas en Las Taguas, durante un período de seis años que comienza nominalmente el 1 de marzo de 2018 bajo los escenarios A y B (según lo especificado en la Sección 3.2, anterior). Para cada escenario, se presentan los resultados para ilustrar el nivel de pH y las concentraciones de SO_4 , HCO_3 , Fe, Cu, Al y Mn pronosticados en los niveles de los percentiles 5 y 95 del rango probabilístico de valores diarios generado a partir de 50 simulaciones del modelo. Para efectos de comparación, se grafican los valores para cada parámetro registrados en SW9 y LA-16 durante el período de 2005 a 2011. Este período se seleccionó como base de comparación (de preferencia con respecto a datos más recientes) debido a que excluye cualquier período en el cual se haya inducido la modificación artificial de la química del agua del río Las Taguas como consecuencia del tratamiento con cal del agua del Túnel Marcelo (período de 2012 a 2017).

Las principales observaciones evidentes a partir de los resultados del modelo presentados en las Figuras 6 y 7 son las siguientes:

- 1) Tanto en SW-9 como en LA-16, el pH y las concentraciones de solutos pronosticados para los Escenarios A y B son prácticamente idénticos en sus percentiles 5 y 95 respectivamente. Por lo tanto, es posible concluir que el efecto diferencial de la adición de un caudal constante de 15 L/s de agua no tratada proveniente del Túnel Marcelo a la carga de masa total descargada desde el Turbio, en relación con un escenario de cero descarga

desde el túnel, es despreciable. En LA-16, que es el punto de cumplimiento normativo de Barrick establecido para el proyecto Lama, las líneas del percentil 5 y el percentil 95 correspondientes al Escenario A y al Escenario B se encuentran prácticamente superpuestas.

- 2) Tanto en SW-9 como en LA-16, los niveles de pH y los rangos de concentraciones de SO_4 , HCO_3 y Mn pronosticados durante el período de seis años de simulación del modelo para los Escenarios A y B se asemejan estrechamente o se encuentran dentro del rango natural para la línea base. Las concentraciones de Fe, Cu y Al pronosticadas para el percentil 95 son inferiores a las concentraciones máximas registradas en la línea base natural bajo ambos escenarios.
- 3) En LA-16, las simulaciones del modelo para ambos escenarios, si bien son estrechamente comparables, sobreestiman las concentraciones de algunos metales, como queda ejemplificado por el Cu y el Fe, que se encuentran en el extremo inferior del espectro de percentiles. Se puede afirmar casi con toda certeza que ésta es una consecuencia del supuesto aplicado en el modelo que asigna valores conservadores a estos metales en solución entre SW-9 y LA-16, mientras que en la realidad se produce una significativa precipitación.

En conjunto, los resultados del modelamiento numérico de la calidad del agua en SW-9 y LA-16 bajo los escenarios contrastantes seleccionados sugieren que ni el tratamiento ni la eliminación de los caudales residuales provenientes del Túnel Marcelo ejercerían influencia beneficiosa significativa.

3.5: *Efecto de la opción de no tratar la descarga del Túnel Marcelo sobre la descarga del sistema de derivación del Turbio*

Bajo la actual configuración del sistema de derivación de agua del Turbio, la mayor parte de la descarga se libera a través del canal CD3 y está caracterizada químicamente por el agua que pasa a través de la estación LA-8A/TUR-1. No existe ninguna línea base para esta ubicación, debido a que antes del inicio de las obras de infraestructura minera y derivación del agua superficial del Turbio, toda el agua que pasaba a través de LA-8A/TUR-1 llegaba a LA-8, ubicada en los tramos inferiores del curso natural del Turbio. Por lo tanto, los resultados de las simulaciones de la calidad del agua mediante el modelo construido utilizando GoldSim para el Escenario A (en el cual se supone un aporte continuo de 15 L/s de agua no tratada del Túnel Marcelo al caudal total en LA-8A/TUR-1) se han comparado con la química del agua de LA-8 definida utilizando los datos para el período entre 2005 y 2011 como una variable sustitutiva, como se muestra para parámetros seleccionados en la Figura 9.

Figura 7-1: Valores pronosticados de pH y concentración de solutos de sulfato, bicarbonato y hierro, seleccionados de importancia normativa, en la estación de monitoreo del Taguas SW9 bajo los escenarios A (descarga de 15 L/s de agua no tratada desde el Túnel Marcelo) y B (ausencia de descarga desde el Túnel Marcelo) del modelo. Se presentan los resultados para los percentiles 5 y 95 de los rangos probabilísticos de pH y concentraciones de solutos entregados por GoldSim para un período de simulación de seis años que se inicia el 1 de marzo de 2018. También se muestran los valores de referencia para cada parámetro de acuerdo al monitoreo realizado durante el período de 2005 a 2011.

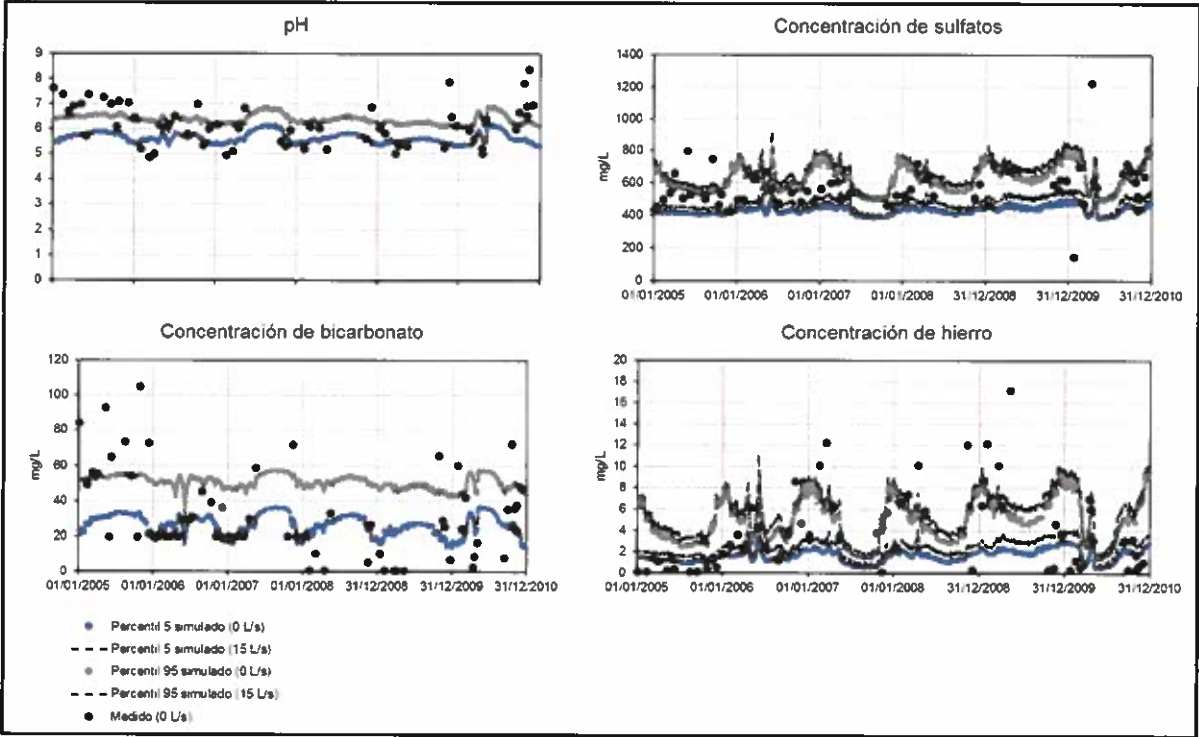


Figura 7-2: Valores pronosticados de concentración de solutos de cobre, aluminio y manganeso, seleccionados de importancia normativa, en la estación de monitoreo del Taguas SW9 bajo los escenarios A (descarga de 15 L/s de agua no tratada desde el Túnel Marcelo) y B (ausencia de descarga desde el Túnel Marcelo) del modelo. Se presentan los resultados para los percentiles 5 y 95 de los rangos probabilísticos de pH y concentraciones de solutos entregados por GoldSim para un período de simulación de seis años que se inicia el 1 de marzo de 2018. También se muestran los valores de la línea de referencia para cada parámetro de acuerdo al monitoreo realizado durante el período de 2005 a 2011.

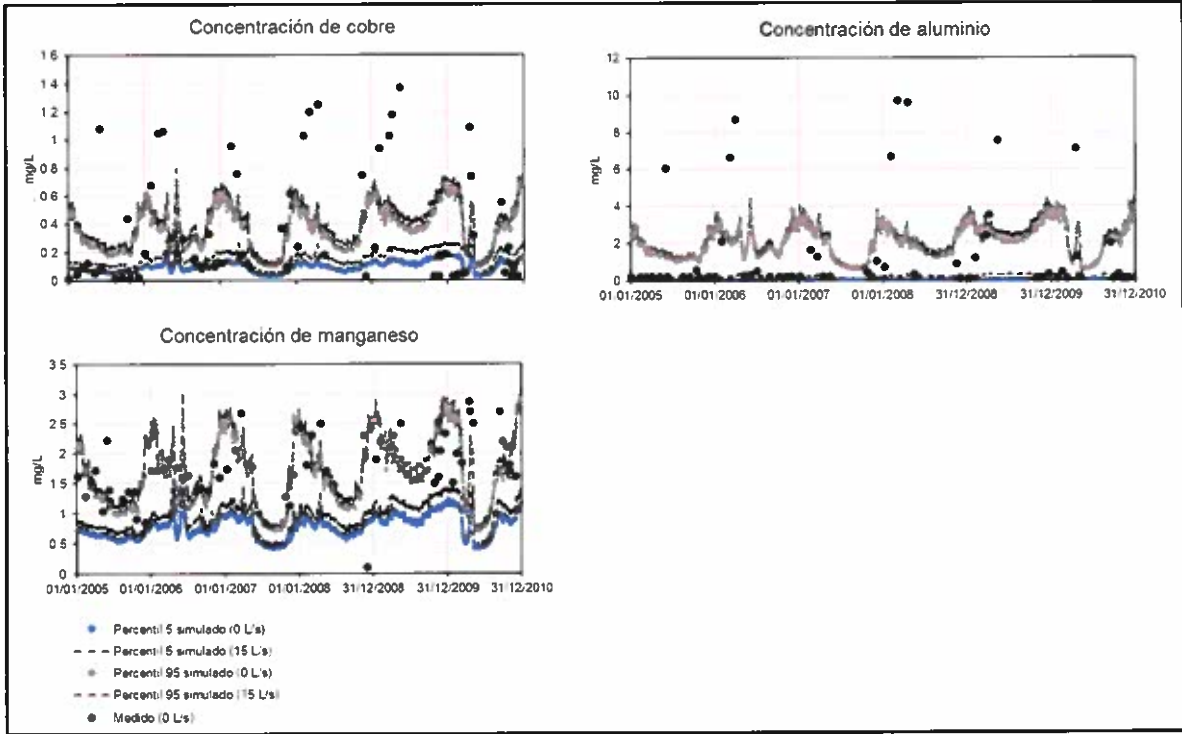


Figure 8-1: Valores pronosticados de pH y concentración de solutos de sulfato, bicarbonato y hierro, seleccionados de importancia normativa, en la estación de monitoreo del Taguas LA-16 bajo los escenarios A (descarga de 15 L/s de agua no tratada desde el Túnel Marcelo) y B (ausencia de descarga desde el Túnel Marcelo) del modelo. Se presentan los resultados para los percentiles 5 y 95 de los rangos probabilísticos de pH y concentraciones de solutos entregados por GoldSim para un período de simulación de seis años que se inicia el 1 de marzo de 2018. También se muestran los valores de la línea base para cada parámetro de acuerdo al monitoreo realizado durante el período de 2005 a 2011.

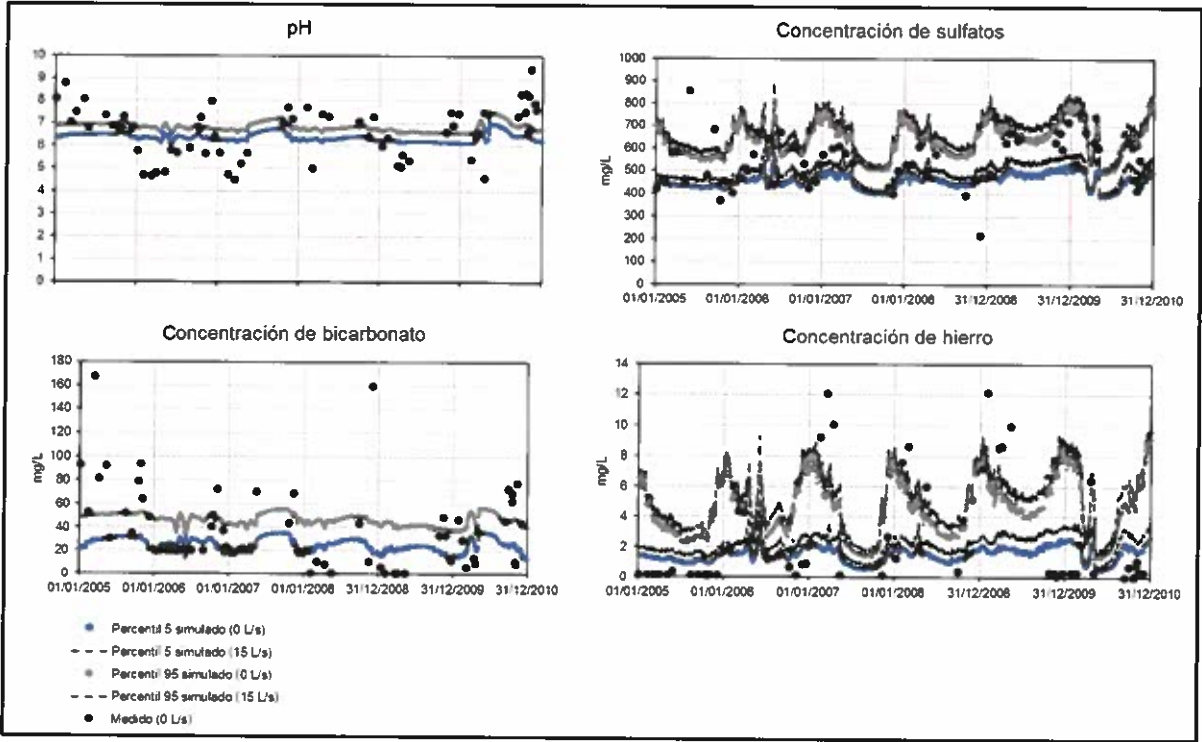


Figure 8-2: Valores pronosticados de concentración de solutos de cobre, aluminio y manganeso, seleccionados de importancia normativa, en la estación de monitoreo del Taguas LA-16 bajo los escenarios A (descarga de 15 L/s de agua no tratada desde el Túnel Marcelo) y B (ausencia de descarga desde el Túnel Marcelo) del modelo. Se presentan los resultados para los percentiles 5 y 95 de los rangos probabilísticos de pH y concentraciones de solutos entregados por GoldSim para un periodo de simulación de seis años que se inicia el 1 de marzo de 2018. También se muestran los valores de la línea base para cada parámetro de acuerdo al monitoreo realizado durante el periodo de 2005 a 2011.

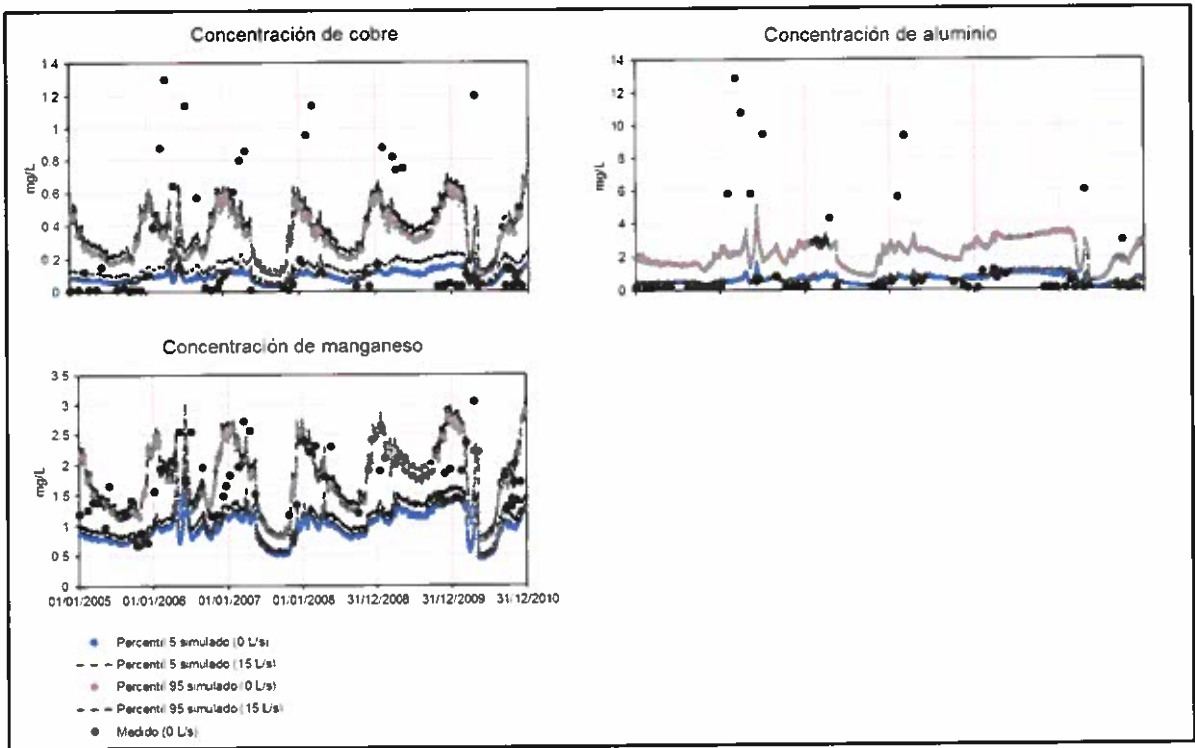
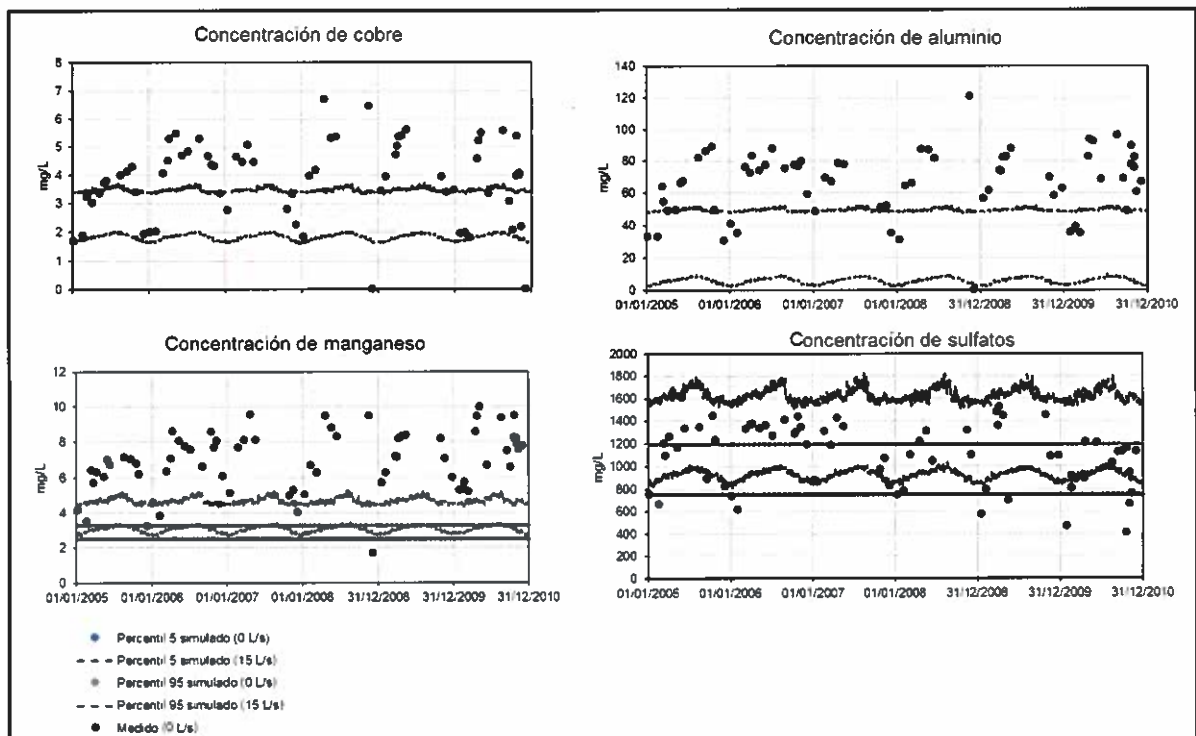


Figure 9: Concentraciones diarias de Cu, Al, Mn y SO₄ en LA-8A/TUR-1 pronosticadas para el percentil 95 bajo el escenario A (descarga de 15 L/s de agua no tratada desde el Túnel Marcelo) del modelo para un período de simulación de seis años que se inicia nominalmente el 1 de marzo de 2018 (línea discontinua). Los valores de la línea de referencia para cada parámetro registrado durante el período de 2005 a 2011 en la estación LA-8 (tramo bajo del Turbio) se presentan para comparación (puntos abiertos).



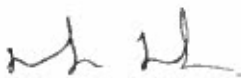
Para todos los parámetros modelados, excepto el pH y el SO₄, para los cuales las simulaciones en LA-8A/TUR1 para el percentil 95 coinciden estrechamente con el rango histórico en LA-8, los valores modelados para el percentil 95 caen debajo de los rangos típicos medidos antes de las intervenciones en el Turbio. Esto es atribuible a un aumento de la relación entre el agua del Canito y el Turbio en LA-8A/TUR1 y el agua que llegaba naturalmente a LA-8 bajo las condiciones de la línea base anteriores al desarrollo. Un aspecto crítico es que no existe evidencia para ningún parámetro del modelo de que los valores para el percentil 95 excedan los valores para la línea base natural en LA-8 bajo la configuración del Escenario A (sin tratamiento).

4 Resumen y conclusiones

Es posible extraer las siguientes conclusiones principales a partir del análisis de los datos empíricos descrito en este memorándum con respecto a las tendencias hidrológicas físicas y de la calidad del agua de la cuenca del Turbio a la fecha a partir del modelo numérico para pronosticar la calidad futura del agua del sistema del Turbio-Las Taguas bajo escenarios alternativos de manejo de la descarga residual desde el Túnel Marcelo:

- 1) Los ajustes hidrológicos físicos y de la química del agua observados en el Turbio desde el cierre de la válvula de control del caudal instalada en el tapón del túnel a mediados de enero de 2018 sugieren que el sistema está evolucionando rápidamente hacia un estado natural. El caudal de agua superficial del sector alto de la cuenca, que descendió marcadamente en forma paralela a la apertura del túnel, ha aumentado casi hasta alcanzar los niveles de la línea base, impulsado por la recuperación de las cargas piezométricas en el sector noroeste de la cuenca. Simultáneamente, el caudal residual del túnel se ha reducido en forma proporcional. Estas observaciones junto con las amplias similitudes de la química de la descarga del túnel y el caudal de LA-1 sugieren que la carga de masa incremental que ingresaba incuestionablemente al Turbio durante el período de drenaje libre del Túnel Marcelo ha sido esencialmente eliminada. Además, es probable que las cargas químicas futuras se vean progresivamente reducidas debido al mejoramiento de la calidad de la descarga residual desde el túnel, como se observa desde mediados de enero de 2018.
- 2) El modelamiento numérico predictivo de la calidad del agua del Taguas en las estaciones SW-9 y LA-16, realizado bajo escenarios contrastantes que involucran (A) la descarga continua de 15 L/s de agua no tratada desde el túnel al Turbio y (B) cero descarga desde el túnel, sugiere que ambas alternativas no producirían ninguna diferencia sustancial en el pH o las concentraciones de solutos en ninguna de las estaciones. Las simulaciones del modelo, realizadas con una resolución diaria durante un período de seis años iniciado nominalmente en marzo de 2018, sugieren que en el percentil 95 del rango probabilístico todas las concentraciones de solutos se mantendrían dentro del rango establecido para las estaciones SW-9 y LA-16 durante el período de 2005 a 2011, independientemente de la adopción del Escenario A o el Escenario B.
- 3) Basado en lo anterior, el tratamiento futuro de la descarga residual desde el Túnel Marcelo puede considerarse como fundamentalmente no justificado sujeto al control continuo de los caudales provenientes del túnel dentro de un rango aproximado de hasta 20 L/s. Bajo estas condiciones, el tratamiento probablemente no ayudaría al restablecimiento de una condición de línea base natural en Las Taguas, sino que podría interferir en este proceso. Puede extraerse una conclusión similar para el Turbio, dada la calidad naturalmente baja de las aguas de la cuenca y la tendencia natural de las aguas a equilibrarse químicamente con el régimen de pH casi neutro en la zona de mezcla en el punto de descarga del agua del Turbio a Las Taguas.

Atentamente



Dr Martin Williams, Gerente Global, Geoquímica, Piteau Associates