

## MEMORÁNDUM TÉCNICO

---

Fecha	25 de octubre de 2022
Dirigido a	Roberto Bally (Gerente de Proyecto Lama, BEASA)
Con copia a	Simon Mansell Piteau Associates, Chile
De	Martin Williams Asesor de Geoquímica del Grupo, Piteau Associates Correo electrónico: <a href="mailto:mwilliams@piteau.com">mwilliams@piteau.com</a>
Asunto:	<b>Evaluación actualizada sobre la influencia del cierre del Túnel Marcelo en la calidad del agua del río Las Taguas, Proyecto Lama, Argentina</b>

---

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

El presente memorando se elaboró a petición de Barrick Exploration Argentina S.A. (BEASA) en respuesta a una solicitud recibida por BEASA desde el Ministerio de Minería del Gobierno de San Juan, con fecha 13 de septiembre de 2022. La solicitud hace referencia a:

- 1) La entrega, por parte de BEASA, de datos actualizados sobre el monitoreo de la calidad del agua, a fin de evaluar el impacto sobre la calidad del agua del río Las Taguas que ejerce el Túnel Marcelo (localizado dentro del Proyecto Lama de BEASA).
- 2) La verificación, a partir de los datos de monitoreo disponibles actualmente, de las predicciones del modelo presentadas en un memorando de Piteau Associates de marzo de 2018, según el cual el cierre del Túnel Marcelo con un tapón y el cese del tratamiento del agua en la boca del Túnel no implicarían un impacto significativo en la calidad del agua del río Las Taguas.

El Túnel Marcelo se construyó, originalmente, con la finalidad de transportar mineral desde el rajo abierto para su explotación durante la vida del proyecto Pascua-Lama hasta una planta de procesamiento en la cuenca superior del río Turbio. Debido a la suspensión del proyecto Pascua-Lama en 2013, toda la actividad de construcción del túnel también se suspendió ese mismo año. Hasta 2017, el agua descargaba libremente desde la boca del túnel hacia el arroyo del extremo superior del río Turbio, a un caudal de hasta 250 L/s. La descarga de agua contenía un pH bajo (<4) con altos niveles de TDS (3.000 a 5.000 mg/L) y metales

(principalmente Fe, Al, As, Cu, Mn y Zn). Para evitar los impactos negativos en la calidad del agua en el sistema del río Las Taguas, en el que desemboca el río Turbio, el tratamiento de la descarga del túnel se realizó de modo tal que tuviese efecto desde la etapa temprana del período de construcción (2011) a través de la adición de cal en un lugar inmediatamente exterior a la boca del río.

En 2017 se instaló un tapón de hormigón en la boca del túnel Marcelo. Para permitir el control del nivel freático se instalaron 12 piezómetros y la presión de agua detrás el tapón es limitado por tres tuberías de descarga en el eje central del tapón. El tratamiento del flujo residual de las tuberías se mantuvo hasta principios de 2018, momento en el que las válvulas de salida se cerraron, con lo que también se cerró el flujo de agua acumulado detrás del tapón.

En los meses inmediatamente posteriores al cierre del tapón del drenaje del túnel a principios de 2018, la superficie piezométrica detrás del tapón se elevó hasta 90 metros. Los caudales registrados en la estación de monitoreo LA-1A en el extremo superior del río Turbio inmediatamente aguas arriba del Túnel Marcelo aumentaron significativamente. Piteau (2018) analizó una modelización numérica para predecir el flujo probable a largo plazo de la erogación de aguas provenientes del túnel. Se llegó a la conclusión de que, tras el equilibrio de las cargas hidráulicas detrás del tapón, era probable que se produjera un caudal de hasta 15 L/s a perpetuidad.

En 2018, Piteau llevó a cabo una modelización acoplada de balance de agua y balance de masa química con el fin de evaluar los posibles impactos químicos en el agua del río Las Taguas por la infiltración residual del Túnel Marcelo, asociados a la suspensión del sistema de tratamiento de cal implementado durante el período de drenaje del túnel abierto (2011 a 2018) y posterior al cierre del mismo, hasta abril 2019. Se modelaron dos escenarios utilizando un enfoque probabilístico en la plataforma de software GoldSim:

1. Descarga del túnel cero.
2. 15 L/s de descarga del túnel sin tratar (basado en el flujo residual máximo previsto por las simulaciones del modelo de aguas subterráneas para condiciones estables a largo plazo).

Los resultados presentados por Piteau en marzo de 2018 (memorándum 3728TM02) respaldaron la conclusión de que los efectos diferenciales sobre la calidad del agua que tendrían estos dos escenarios serían insignificantes. En ambos casos, se previó que la calidad del agua en las estaciones de monitoreo de Las Taguas SW-9 y LA-16 (ubicadas aguas abajo de la confluencia de los ríos Turbio y Las Taguas) se mantendría dentro de los valores de referencia de la línea base.

## 1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO PARA 2022

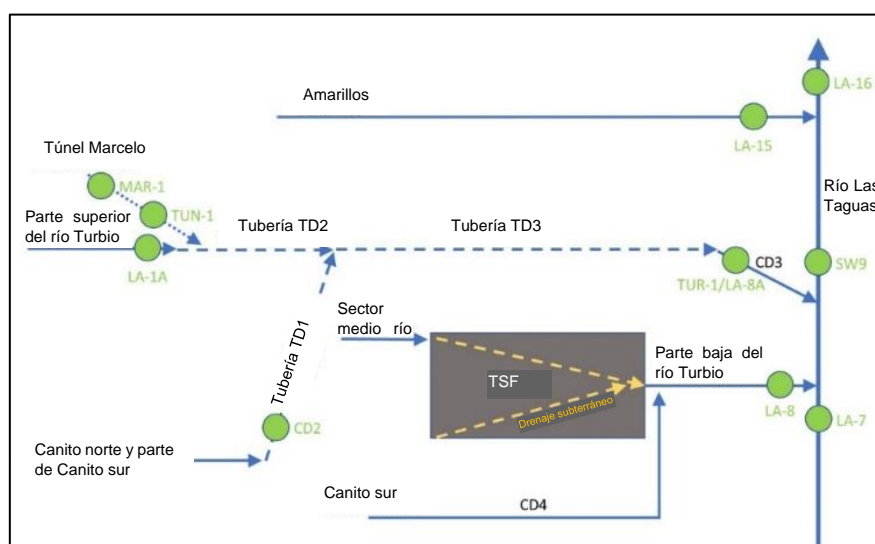
Luego del cierre del túnel se ha continuado realizando un seguimiento de los caudales y de la calidad del agua en múltiples puntos de los ríos Turbio y Las Taguas. Lo anterior facilita evaluar cuán exactas son las predicciones del modelo de calidad del agua generadas con GoldSim 2018 de Piteau en relación con los impactos de la descarga residual del Túnel Marcelo en el sistema de drenaje natural. El presente memorándum expone una revisión de los datos de seguimiento recopilados durante el período 2018-2022 y una evaluación de su grado de concordancia con las predicciones de los modelos documentados en 2018.

## 2 CONFIGURACIÓN DE LA CONDUCCIÓN DEL AGUA Y CONTROL DEL CAUDAL

### 2.1 CONFIGURACIÓN DEL CAUDAL HASTA 2020

Entre 2013 y 2020, la descarga de la boca del Túnel Marcelo más el caudal natural que emana de la cuenca del Turbio (aguas arriba del túnel) se dirigió a través de un sistema de tuberías (TD2 y TD3) a través del sector norte del valle del Turbio hasta un punto de descarga en Las Taguas, en la estación TUR-1 (también conocida históricamente como LA-8A), como se ilustra en la Figura 1. Este desvío se realizó para permitir la construcción de una instalación de almacenamiento de relaves (TSF) en los tramos medios del Turbio. Su efecto fue la reducción significativa del caudal en el Turbio inferior, como se registró en la estación LA-8 (véase la Figura 2.1). La descarga total de la cuenca del río Turbio al río Las Taguas experimentó un aumento neto, ya que se conservaron los caudales naturales y se introdujo agua suplementaria procedente del Túnel Marcelo.

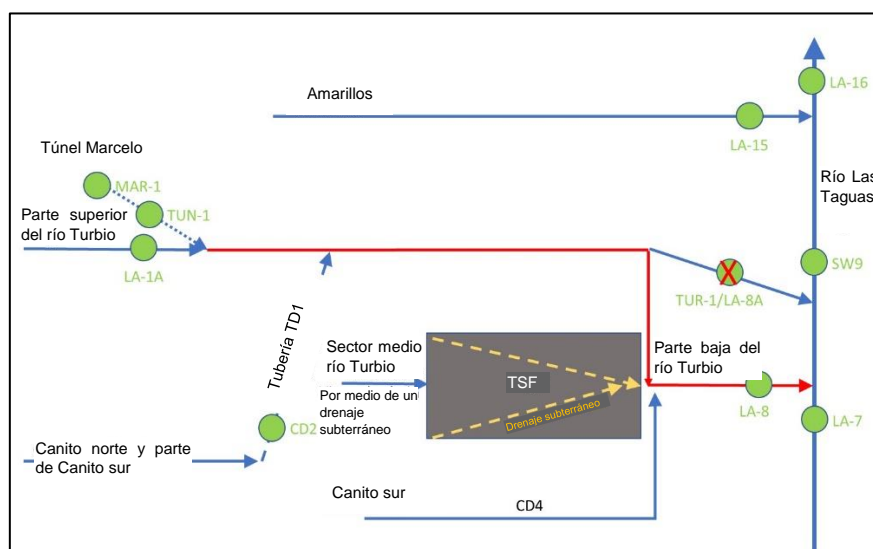
*Figura 2.1: Representación esquemática del sistema de gestión del agua Turbio-Canito hasta 2020*



### 2.2 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS A PARTIR DE 2020

En 2020, en base al plan de optimización de las obras de manejo de aguas del proyecto, aprobado por el Departamento de Hidráulica de San Juan, el sistema de tuberías TD2/TD3 fue desmantelado. El caudal natural de la parte superior del río Turbio, así como las filtraciones residuales de la boca del túnel, se desviaron para unirse a la parte inferior del río Turbio, descargando en el río Las Taguas aguas abajo de la estación LA-8. La Figura 2.2 muestra esta configuración actualizada.

*Figura 2.2: Representación esquemática del sistema de gestión de aguas Turbio-Canito desde 2020*



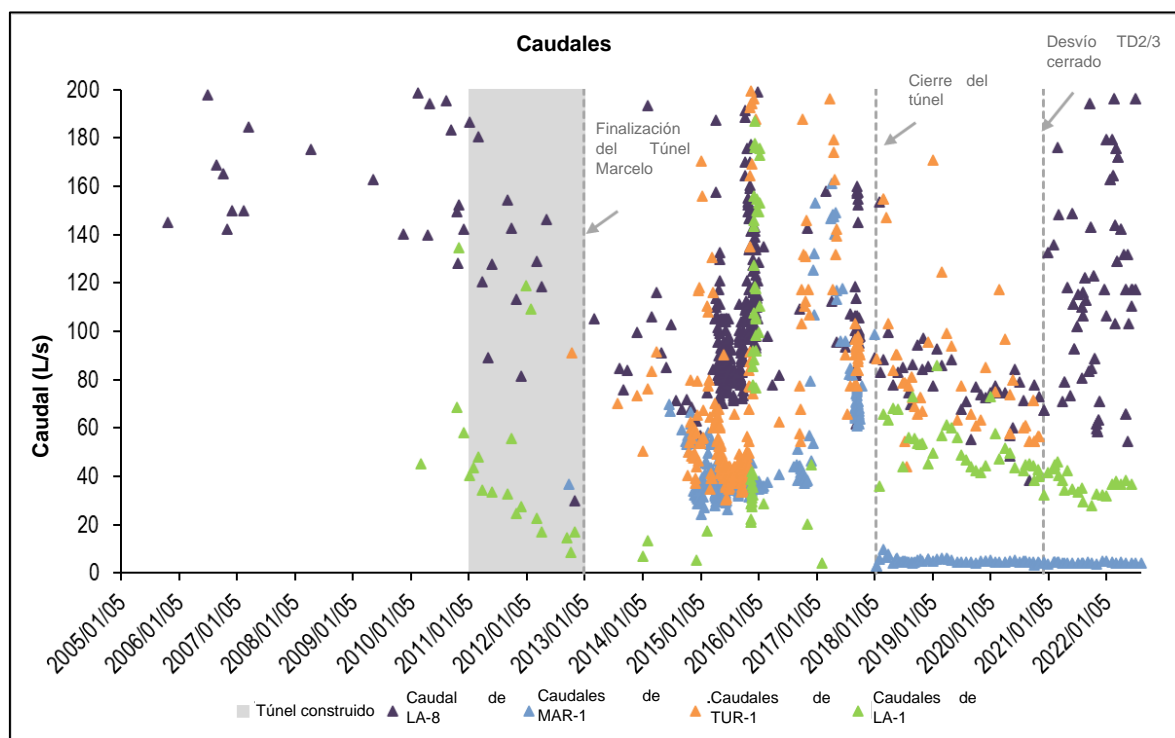
## 2.3 MONITOREO DEL CAUDAL

La Figura 2.3 muestra los datos de caudal disponibles de los principales puntos que aportan agua desde la cuenca del Turbio al sistema del río Las Taguas. La serie cronológica comienza en el período de desarrollo del proyecto pre-Lama (2005), pasando por el período de construcción del túnel (2011-2013), el período de drenaje libre (2013 a 2018) y el período posterior en el que el túnel fue sellado con un tapón hidráulico (desde 2018). Las principales tendencias a partir de los datos históricos incluyen las siguientes:

- La estación MAR-1 representa la descarga medida desde el Túnel Marcelo. A partir del «cierre» del tapón efectuado a principios de 2018, este caudal ha disminuido desde los niveles previos a 2018, de 20 a 200 L/s, hasta un caudal residual relativamente constante de unos 5 L/s.
- LA-1A representa el régimen de caudal del río Turbio superior, desde aguas arriba de la boca del túnel. Durante el período de 2013 hasta principios de 2020, esta agua se transportó a través de la tubería TD2/TD3 junto con la descarga del Túnel Marcelo hasta un desagüe en el río Las Taguas cerca de la TUR-1. Posteriormente, la conexión natural de la LA-1A con la parte inferior del río Turbio fue restaurada, contribuyendo actualmente al caudal de la LA-8 registrado a partir de 2020. Dentro del registro del caudal de LA-1A, destaca su tendencia a disminuir durante e inmediatamente después del desarrollo del túnel, además de aumentar temporalmente tras el «cierre» el tapón a principios de 2018. Durante el período de drenaje libre, el túnel actuó efectivamente como un drenaje para el agua que, de otra manera, se hubiese remitido al Turbio superior como caudal base.

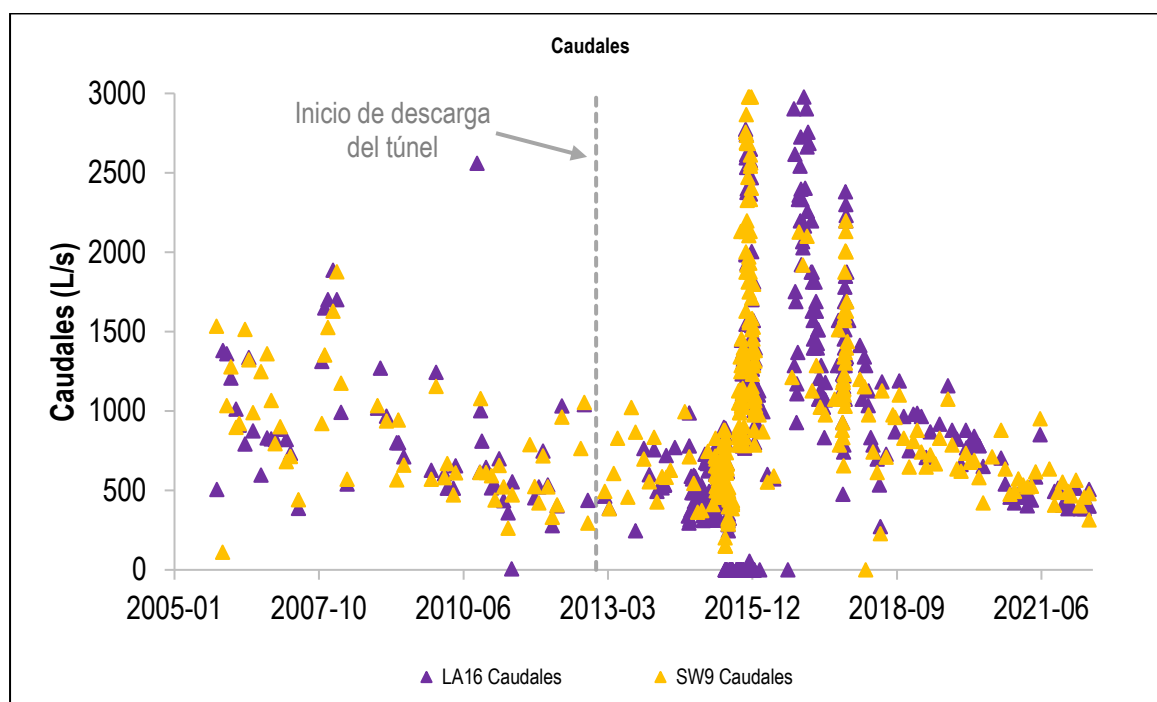
- Una característica fundamental de los registros de monitoreo de flujo presentados en la Figura 2.3 es la similitud del rango de caudal en LA-8 registrado durante el período 2020 a 2022, en relación con el que caracterizó el período de desarrollo previo al proyecto Lama. Aunque inevitablemente el caudal total de la cuenca del río Las Taguas se vio incrementado por la descarga del túnel durante el período de drenaje libre desde la boca del río (2013 a 2018), no existe evidencia de que los caudales totales desde el cierre del túnel hayan sido mayores que los de la línea base anterior al proyecto.

*Figura 2.3: Registro de caudales de las estaciones de control de la cuenca del río Turbio LA-1A (parte superior del Turbio), LA-8 (parte inferior del Turbio), MAR-1 (Túnel Marcelo) y TUR-1 (derivación TD2/TD3) para el período comprendido entre 2005 y 2022*



La Figura 2.4 presenta los registros de caudal de las estaciones SW-9 y LA-16 del río Las Taguas, aguas abajo de la confluencia de este río con el Turbio. En el SW-9, los caudales anteriores al proyecto Lama oscilaban entre 400 y 1800 L/s, con un caudal medio anual de aproximadamente 750 L/s. Este caudal, más el registrado en LA-16, ha mostrado un descenso sostenido en los últimos años de registro (2019 a 2022), con una mediana anual desde 2020 de unos 500 L/s. Como se muestra en la Figura 2.3, la reducción del caudal no es atribuible a la disminución de la descarga del río Turbio, sino que refleja un cambio en la condición hidrológica en los sectores aguas arriba del río Las Taguas. Los cálculos de la contribución fraccional al hidrograma del SW-9 a lo largo del período histórico de monitorización sugieren que tanto antes de la construcción del Túnel Marcelo como a lo largo del período de drenaje del túnel abierto, entre el 7 y el 10% del caudal medio anual en el SW-9 procedía normalmente de la cuenca del río Turbio. A partir de 2020, este ha aumentado entre el 15 y el 30%.

*Figura 2.4: Registro de caudales de las estaciones de control SW-9 y LA-16 para el período comprendido entre 2005 y 2022*



### 3 CALIDAD DEL AGUA

La Figura 3.1 presenta un registro histórico de la calidad del agua en las estaciones del río Turbio superior e inferior LA-1A y LA-8 respectivamente, en la descarga del Túnel Marcelo sin tratar (MAR-1) y en el agua conducida a través del desvío TD2/TD3. La duración de los registros varía entre las estaciones, lo que refleja los ajustes históricos de la red del caudal que se produjeron durante el avance del proyecto Lama, tal y como se describe en el apartado 2.1 (más arriba). Las siguientes tendencias son de especial importancia:

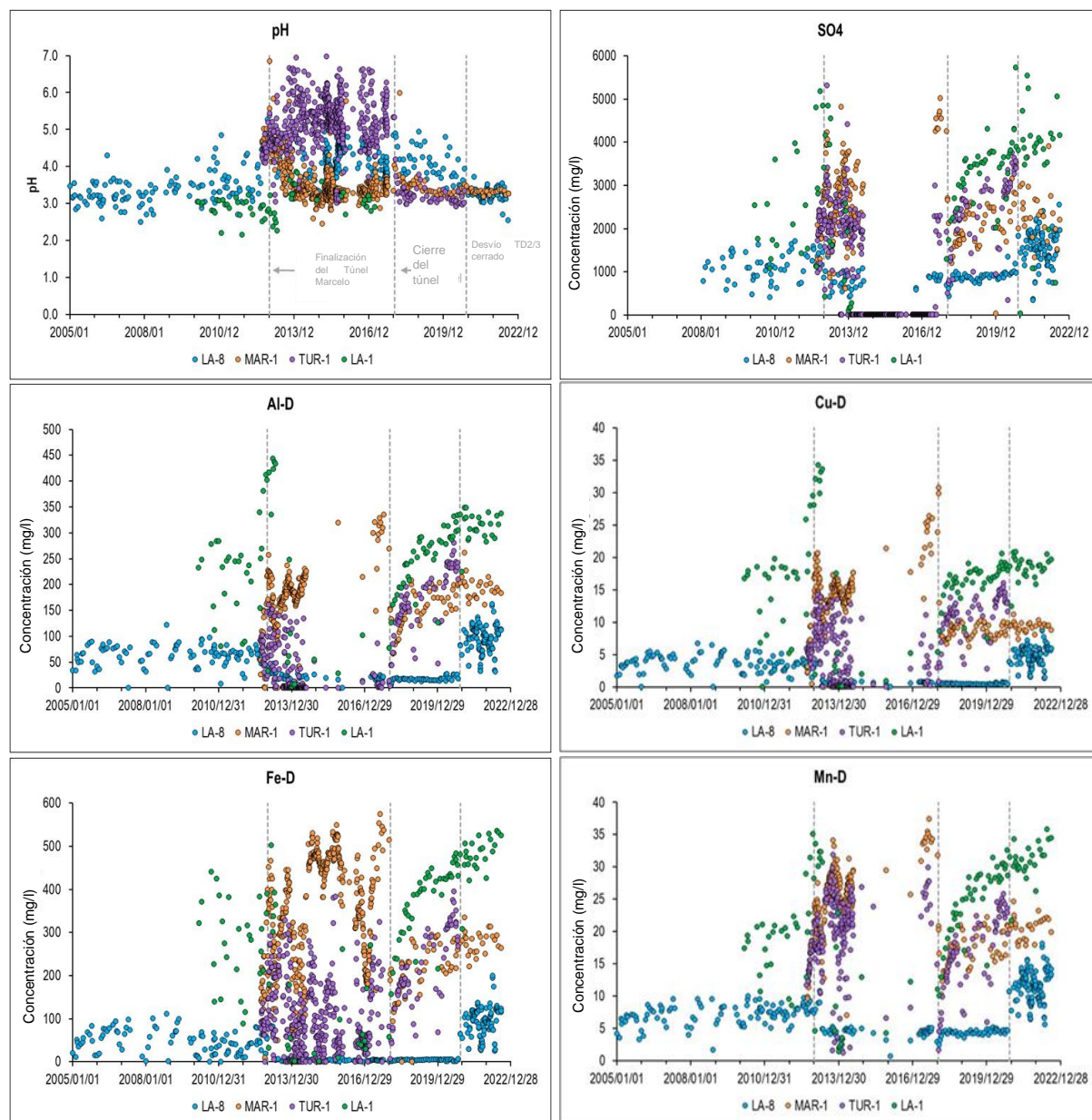
- Previo a cualquier descarga desde el Túnel Marcelo, el río Turbio era naturalmente de muy baja calidad. En la parte inferior del río Turbio (LA-8), el pH anterior a 2011 solía estar entre 2,5 y 3,5. Esta cifra aumentó marginalmente con respecto a 2013 debido al desvío de la escorrentía extremadamente ácida (pH 2,5 a 3) del Turbio superior (procedente de LA-1A) a través del desvío TD2/TD3. Desde la restitución del régimen natural de caudales en el Turbio en 2020, el régimen de pH de LA-8 ha vuelto a su condición de referencia, con un pH de aproximadamente 3.
- En términos de pH, el agua generada por el Túnel Marcelo fue, durante el período de drenaje libre (2013 a 2018), estrechamente comparable al agua de línea de base de LA-1A. Por lo tanto, se puede considerar que coincide con la característica natural del Turbio superior.
- Las aguas del Turbio superior (LA-1A) y del inferior (LA-8) difieren naturalmente, y de forma significativa, respecto de las concentraciones de  $\text{SO}_4$  y de metales, tal y como muestran los valores de referencia anteriores al proyecto Lama. La ubicación original

se caracterizaba por presentar aguas con concentraciones con un factor de dos a tres veces mayor que las de LA-8. Esta es una expresión lógica de la dilución natural del agua del bajo Turbio por los aportes recibidos del drenaje del Canito. Desde poco después del inicio de la descarga del Túnel Marcelo, el efluente (MAR-1) mostró una química análoga a la de la línea base natural LA-1A con respecto a la mayoría de los metales, al tiempo que parecía intermedio entre LA-1A y LA-8 con respecto al  $\text{SO}_4$ .

- Una tendencia clave en el conjunto de datos de LA-1A es la notable mejora de la calidad del agua (que implica un aumento del pH medio de 3 a 3,5 y una reducción del doble de las concentraciones de  $\text{SO}_4$ , Al y otros metales) tras el inicio de la descarga del túnel en 2013. Los caudales medios y máximos en la LA-1A también disminuyeron en ese momento por causas naturales (véase la Figura 2.3). Estas tendencias apuntan a que el túnel actuó como drenaje de las aguas subterráneas naturales de la zona de mineralización que, de otro modo, habrían descargado en el Turbio superior. Por lo tanto, el cambio neto de la carga química en el sistema asociado a la construcción del túnel fue menor. Un cambio también insignificante parece haber ocurrido con la implementación del cierre, que restauró en gran medida el flujo natural y la carga química en el Alto Turbio.



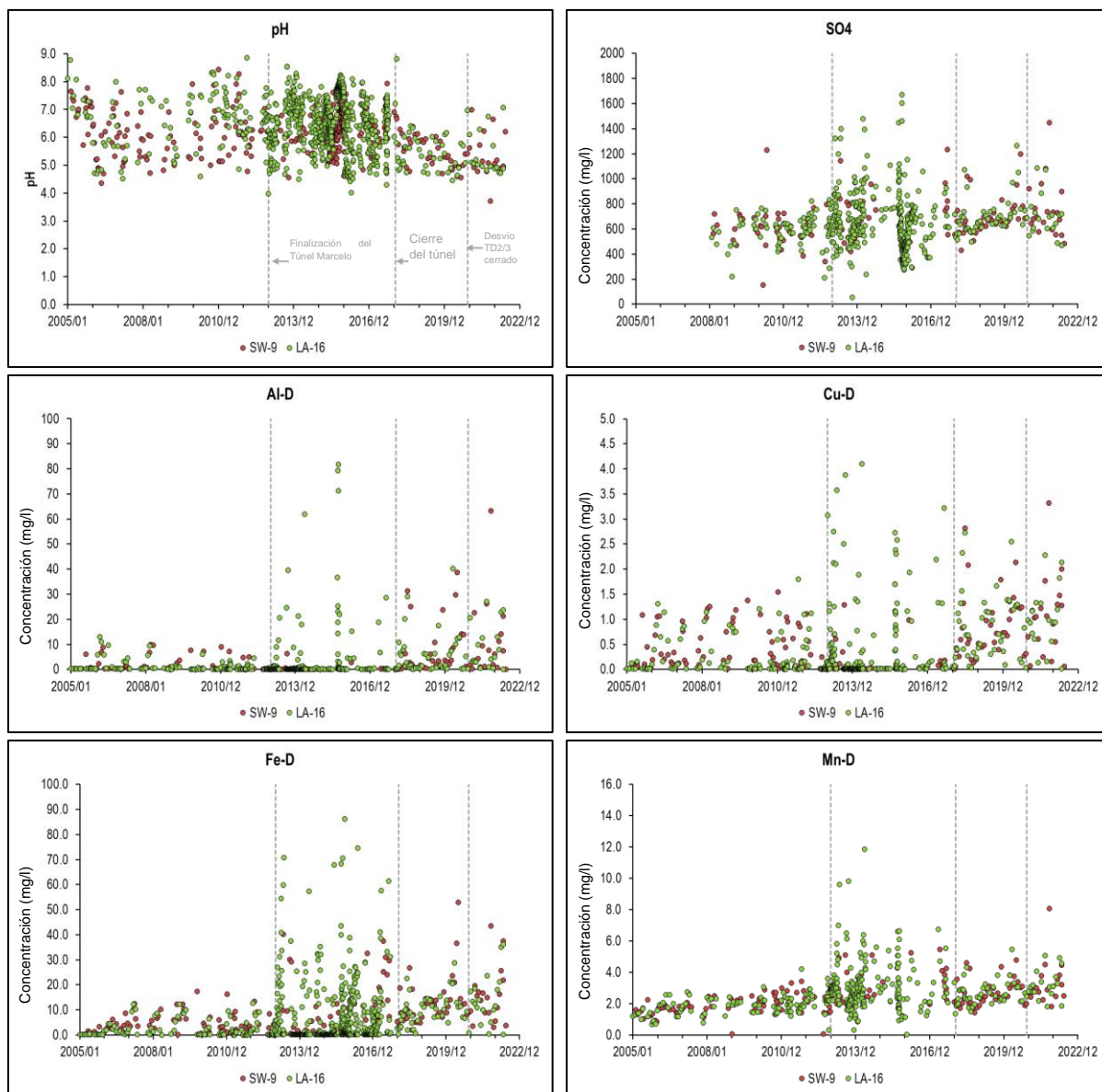
*Figura 3.1 Registro de la calidad del agua (pH, SO<sub>4</sub>, Al, Cu, Fe y Mn) para las estaciones de control de la cuenca del Turbio LA-1A (parte superior del Turbio), LA-8 (parte inferior del Turbio), MAR-1 (Túnel Marcelo) y TUR-1 (derivación TD2/TD3) para el período 2005 a 2022*





La Figura 3.2 muestra el registro histórico de monitoreo de la calidad del agua en las estaciones de Las Taguas SW-9 y LA-16 (aguas abajo de la confluencia de los ríos Las Taguas y Turbio) desde 2005 hasta 2022. En ambas estaciones, la calidad del agua es muy parecida, lo que permite hablar de ambos lugares simultáneamente.

*Figura 3.2: El registro histórico de monitoreo de la calidad del agua en las estaciones de Las Taguas SW-9 y LA-16 desde 2005 hasta 2022.*



Las principales observaciones a partir de la Figura 3.2 son las siguientes:

- Con respecto al pH, no se produjeron cambios sustanciales ni significativos desde el período de línea base previo al proyecto hasta el período en el que se realizó el drenaje y el tratamiento del agua del Túnel Marcelo (desde 2013 hasta principios de 2018). En cuanto al límite inferior del rango de pH de SW-9 y LA-16, no se han producido cambios desde el cierre del tapón del túnel en 2018. La estrategia de gestión del agua adoptada desde 2018 puede considerarse, en consecuencia, eficaz para evitar cualquier cambio negativo del pH del río Las Taguas.
- Mientras que los límites inferiores de pH se han mantenido sin cambios durante los últimos 17 años en SW-9 y LA-16, las variaciones a corto plazo del pH y, en particular, la frecuencia de aparición de niveles en el rango de 6 a 8, han disminuido desde 2020. Esto no representa una afectación producto del cese de la adición de cal al sistema, ya que los valores de pH en este rango más alto también se produjeron de forma intermitente en la línea de base anterior al proyecto. La causa de este cambio está relacionada con la hidrología física del sistema. Los caudales en la parte superior del río Las Taguas, como se indica en la sección 2.3 (más arriba), han disminuido naturalmente, lo que ha dado lugar a un aumento sostenido de la contribución del agua de la cuenca del Turbio a los hidrogramas SW-9 y LA-16. Esto parece haber estabilizado el pH de SW-9 y LA-16 en aproximadamente 5.
- El cambio de la contribución fraccional del agua del río Turbio al caudal de SW-9 y LA-16 posterior a 2018, aunque no ha producido un aumento global de la carga de solutos, ha ocasionado una tendencia al aumento de las concentraciones de ciertos metales disueltos en SW-9 y LA-16. Esto es más evidente en el caso del Fe. Estas tendencias se ven agravadas por el cambio de régimen de pH descrito anteriormente. En ausencia de períodos en los que el nivel de pH del río Las Taguas se eleva significativamente por encima de 5, el Fe y otros metales permanecen significativamente más solubles.

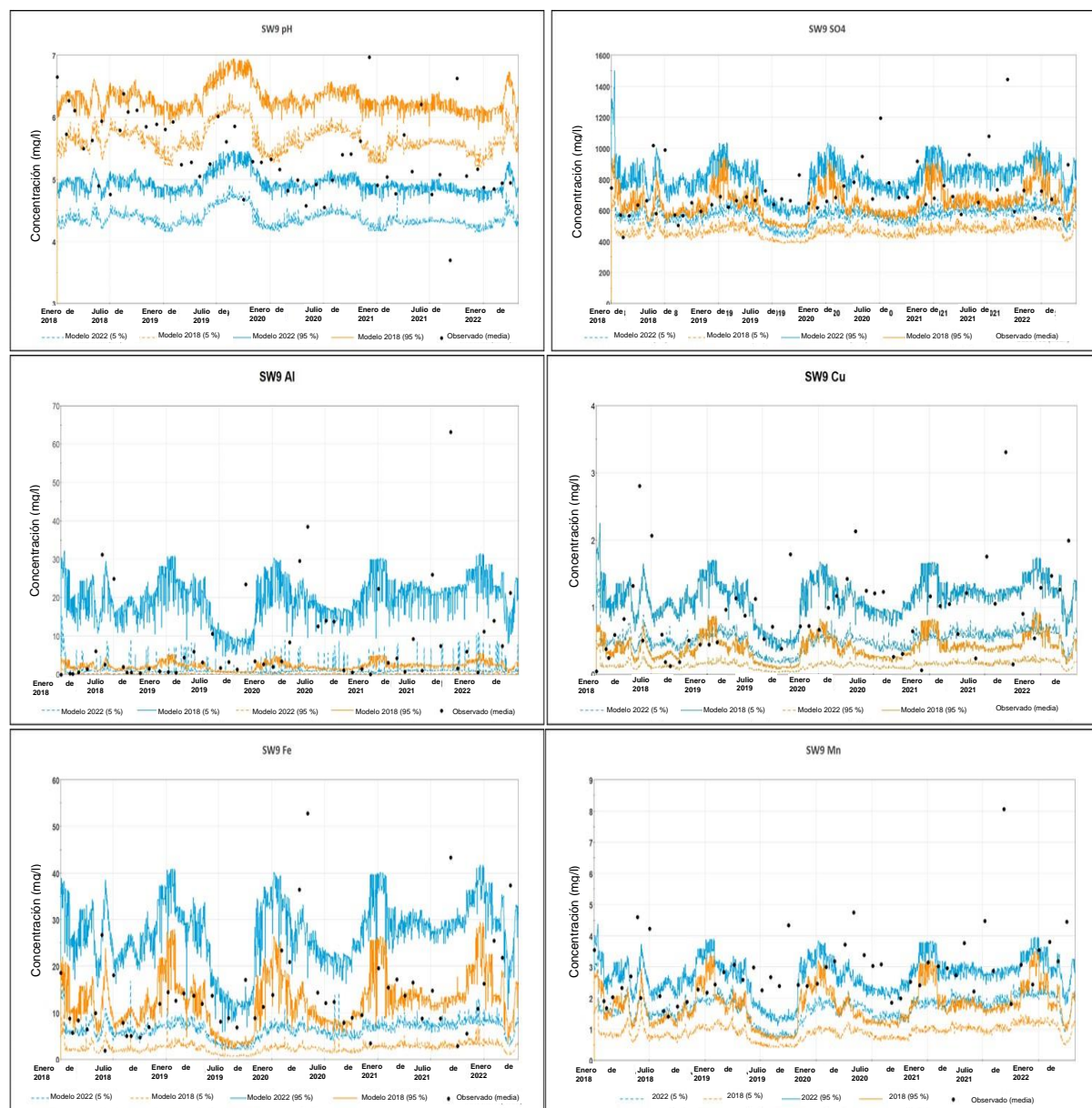
## 4 VALIDEZ DE LAS PREDICCIONES DEL MODELO DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LAS TAGUAS

El modelo GoldSim desarrollado por Piteau en 2018 para predecir el impacto potencial en la calidad del agua del río Las Taguas de cualquier filtración residual del Túnel Marcelo tras la implementación del cierre de tapón del túnel (y el cese de la adición de cal) asumió, de forma conservadora, un flujo posterior al cierre de 15 L/s de agua no tratada derivada del túnel. El seguimiento posterior sugiere que esta estimación fue excesivamente conservadora, con caudales observados en torno a los 5 L/s durante todo el período de 2019 a 2022.

La Figura 4.1 muestra los datos empíricos de la calidad del agua para pH, SO<sub>4</sub>, Al, Cu, Fe y Mn en SW-9 recopilados durante el período de 2018 a 2022. Los percentiles 5 y 95 del pH y las concentraciones de solutos previstos, asumiendo el rango de condiciones físicas del hidrograma pronosticadas probabilísticamente para el SW-9 en el modelo de 2018, se representan en color naranja en los gráficos de la Figura 4.1. Estos van acompañados de otro conjunto de simulaciones que incorporan el rango de caudales en el Turbio y el alto Las Taguas en el período 2018 a 2022. Con estos caudales, el modelo sigue prediciendo en

general las condiciones de calidad del agua del SW-9 de manera fiable. La principal excepción es el pH, para el cual el modelo es posiblemente demasiado conservador.

*Figura 4.1 Comparación del registro empírico con las predicciones probabilísticas de calidad del agua del 5º y el 95º percentil, generadas para el SW-9, utilizando las entradas del balance hídrico físico de 2018 y 2022.*



## 5 CONCLUSIONES

Este memorándum presenta una evaluación de la calidad del agua del sistema de drenaje Turbio-Las Taguas durante el período transcurrido desde la suspensión de adición de cal activa a la descarga del Túnel Marcelo a uno de drenaje libre luego del cierre del tapón del túnel, a principios de 2018. Conscientes de que cierto nivel de filtración residual del túnel puede rodear al tapón, en 2018 se desarrolló un modelo para evaluar las posibles

implicaciones para la calidad del agua en las estaciones Las Taguas SW-9 y LA-16. Este modelo se ha evaluado a la luz de los datos empíricos recopilados para el período 2018-2022.

En el período de cuatro años desde la implementación de la estrategia de cierre del tapón del Túnel Marcelo, la calidad del agua en las estaciones SW-9 y LA-16 de Las Taguas no ha sufrido ningún impacto relevante significativo y, en general, sigue siendo análoga a la línea de base anterior al proyecto. La utilidad del modelo desarrollado en 2018 para la predicción de la calidad del agua en Las Taguas parece seguir resultando confiable. El modelo puede continuar utilizándose para efectuar más predicciones en el futuro.


## 6 LIMITACIONES

Esta investigación se realizó utilizando un estándar de cuidado compatible con el esperado de profesionales científicos y de ingeniería que realizan trabajos similares en todo el mundo. No se ofrece ninguna garantía expresa o implícita. Este memorándum se ha elaborado para el uso exclusivo de Barrick y sus filiales. Cualquier uso, interpretación o dependencia de la información contenida en este documento por parte de terceros se hará bajo su propia responsabilidad. Piteau Associates no acepta ninguna responsabilidad por el uso no autorizado de este documento.

## 7 CIERRE

Confiamos en que lo anteriormente expuesto es adecuado para sus necesidades actuales. En caso de que surjan dudas, o si necesita cualquier tipo de asistencia, puede contactarnos a la brevedad.

Presentado con el debido respeto



### **PITEAU ASSOCIATES UK LTD.**

Martin Williams, BSc. PhD.

Asesor de Geoquímica del Grupo