**Caudales**

En el sector del túnel, la excavación del túnel Marcelo por debajo del nivel de saturación del macizo rocoso tuvo como consecuencias:

* El drenado del acuífero de fracturas del macizo rocoso, provocando la disminución del nivel piezométrico y el secado temporal de algunos puntos de afloramientos de agua en la superficie del terreno por encima de la traza del túnel.
* El drenado del subálveo del arroyo Turbio, causando una disminución del caudal superficial de este curso de agua.

El agua del drenado del macizo rocoso y del subálveo del arroyo Turbio se condujo a través del túnel y se monitoreó en la estación MAR-1, mientras que el agua superficial remanente del tramo inferior del arroyo Turbio se monitoreó en la estación LA-1A.

Los aumentos marcados en el caudal del arroyo Turbio durante la etapa de túnel abierto fueron eventuales y posteriores a periodos caracterizados por precipitaciones de nieve intensas, especialmente los ocurridos en los años 2015 y 2017, que afectaron toda la zona y sus efectos fueron registrados en las estaciones de monitoreo aguas abajo. Los eventos de caudal alto del agua del túnel monitoreada en MAR-1estuvieron relacionados a la intercepción de zonas de alto fracturamiento durante la excavación del túnel, los cuales se estabilizaban a medida que descendía el nivel piezométrico, y sucediendo inviernos de nevadas intensas (e.g. verano de 2018).

Luego del cierre de las válvulas del tapón del túnel en enero de 2018, el caudal en el arroyo Turbio aumentó rápidamente a valores en torno a 75 L/s y luego fue decreciendo hasta valores actuales de ~30 L/s. En el portal del túnel, se registró un caudal máximo de unos 13 L/s inmediatamente luego del cierre y se estabilizó rápidamente en el orden de 5 L/s.

El caudal residual en MAR-1 se mantuvo en torno a 5-6 L/s desde mayo de 2018 y no registró variaciones relevantes, a pesar de las variaciones anuales (en el orden de 7 a 10 m) en la altura piezométrica correspondiente a la solera del túnel obturado en la cual se registraron máximos en marzo-abril de cada año (XXXX). Tampoco se manifestaron cambios relacionados con las variaciones de caudal del arroyo Turbio.

Gráfico, Gráfico de líneas

Descripción generada automáticamente

**Se concluye que la obturación del túnel Marcelo es un mecanismo eficiente para la contención del agua que drenaría a túnel abierto, manteniendo caudales residuales (~5 L/s) de aproximadamente un 25% de los permitidos por La Autoridad (20 L/s)[[1]](#footnote-2), los cuales no se han visto afectados ni por variaciones en la presión hidrostática aguas arriba del tapón ni por variaciones en el caudal del arroyo Turbio.**

En el sector inmediatamente aguas arriba de la desembocadura del agua superficial de las cuencas de Canito y Turbio en el río de Las Taguas, las variaciones más relevantes de caudal estuvieron relacionadas a las obras de desconexión y conexión de ambas cuencas. Se observaron aumentos más bien eventuales del caudal, relacionadas a años de registros de alta precipitación nival (e.g. 2015 y 2017), que afectaron toda la zona.

En el sector del río de Las Taguas, se observaron los mismos picos de caudal relacionados a años de precipitaciones intensas de nieve y no se notaron variaciones que puedan correlacionarse directamente con las obras de desvío en las cuencas de Canito y Turbio. A partir de la obturación total del túnel Marcelo en enero de 2018, puede notarse una disminución de los caudales en este tramo, aunque esta tendencia es similar a la del arroyo Turbio y parece estar relacionada a una disminución general de las precipitaciones en los últimos 5 años. Incluso el periodo de máximo caudal en el túnel, ~200-250 L/s entre diciembre de 2016 y marzo de 2017, coincidió con el periodo de máximo registro del caudal en el río de Las Taguas, 2200-3200 L/s en LA-16, aunque la contribución del caudal del túnel fue de menos del 10% del caudal del río de Las Taguas y es poco probable que haya causado tales picos.

**Se concluye que las variaciones relevantes y medibles en el caudal del río de Las Taguas, desde su punto de confluencia en LA-8, están relacionadas principalmente a años hidrológicos de distinta característica y no al desarrollo del túnel ni a su posterior obturación.**

**Calidad de agua**

Los informes de monitoreo desde la etapa de línea de base y los distintos estudios hidroquímicos han mostrado que las concentraciones más altas en sulfato, aluminio, hierro y cobre (además de otros metales como zinc, níquel y cobalto) provienen de la cuenca del arroyo Turbio, cuya cabecera escurre por la zona de intensa alteración hidrotermal del yacimiento Pascua-Lama. De esta forma, el arroyo Turbio es un contribuyente importante de los parámetros mencionados al río de Las Taguas.

Se considera que la inclusión de las cargas de solutos (caudal x concentración en fecha coincidente) es una herramienta muy útil para evaluar la contribución de la química de un afluente a un receptor, ya que la observación de las concentraciones por sí solas no permite evaluar la fracción de determinado parámetro que llega a dicho receptor. Por esta razón, la influencia de la obturación del túnel Marcelo fue evaluada por medio de las cargas de soluto. Se evaluó además el pH como un parámetro indicador relacionado a la contribución de agua ácida y el tratamiento de regulación con cal apagada.

En el sector del túnel, el pH ligeramente más alto registrado previo al tratamiento (MAR-1) en comparación con el arroyo Turbio, puede deberse a un consumo menor de acidez por parte del cemento del revestimiento del túnel y/o una mayor influencia de la infiltración de agua de deshielo en el macizo. La carga de sulfato disminuyó con la disminución del caudal en el arroyo Turbio durante el drenado de su subálveo por el túnel, luego se recuperó rápidamente luego del cierre de las válvulas, por recuperación de su caudal y posible redisolución de yeso precipitado durante caudal bajo, y luego mostró una tendencia decreciente. En el portal del túnel, la carga de sulfato se ha mantenido en torno a un valor muy bajo en el orden de 45 kg/h. Las cargas metálicas de aluminio, hierro y cobre presentaron una tendencia decreciente en el periodo de drenaje libre del túnel, con una recuperación y una estabilización luego del cierre de las válvulas. Estas cargas se mantienen en valores mínimos en el portal luego de la obturación del túnel.

**Se concluye que en el sector del túnel, los cambios de pH más relevantes se dieron en el portal por la adición de cal, valores que están tendiendo a estabilizarse luego del cierre del túnel y cese del tratamiento de adición de cal. Las cargas de solutos están mostrando una tendencia a valores previos al drenado por el túnel en el arroyo Turbio y se mantienen en valores muy bajos y estables en el portal.**

En LA-8, estación actual de monitoreo inmediatamente aguas arriba de la confluencia con el río de Las Taguas, el pH aumentó durante el periodo en que el principal contribuyente fue el arroyo Canito. El pH retornó a sus valores previos a las obras de desvío luego de la reconexión de ambas cuencas. Las cargas de sulfato, aluminio, hierro y cobre mostraron una evolución similar, con una disminución y estabilización en valores bajos durante el periodo de desvíos y desconexión entre ambas cuencas y una tendencia ascendente hacia valores previos a los desvíos.

**Se concluye que los cambios en la calidad del agua superficial en este sector están relacionados principalmente a las obras de desvío que aislaron y reconectaron ambas cuencas.**

En el sector del río de Las Taguas, si bien el pH se encuentra actualmente dentro del rango establecido antes de la apertura del túnel, ha decrecido desde el cierre del túnel y la mayor parte de los puntos se ha estabilizado en valores en torno a 5-6. Las cargas de sulfato, aluminio, hierro y cobre mostraron una evolución similar con valores relativamente altos durante el periodo de túnel abierto y una tendencia a estabilizarse en valores más bajos luego del cierre del túnel, cercanos a los previos a la excavación del túnel.

Con los datos disponibles, pueden realizarse estimaciones expeditivas para obtener una primera idea de las contribuciones más importantes del sector del túnel y arroyo Turbio al río de Las Taguas. La fracción aproximada de sulfatos del arroyo Turbio puede estimarse en aproximadamente 20-25%, mientras que la fracción actual desde el portal sería del 2% o inferior. La contribución de aluminio desde el portal del túnel (TUR-1) fue de más del 50% durante el periodo de túnel abierto y adición de cal, disminuyendo al 3-5% luego del cierre. Actualmente, la principal contribución de aluminio al río de Las Taguas proviene del arroyo Turbio (~40-60%). Situaciones similares se observan para hierro y cobre desde el portal del túnel, con contribuciones generalmente superiores al 60% durante el periodo de túnel abierto y adición de cal, y fracciones actuales de ~4-5% desde los caudales residuales (MAR-1). El mayor contribuyente actual de hierro y cobre al río de Las Taguas es el arroyo Turbio (en general más del 70% de la carga metálica).

**Se concluye que, actualmente, las cargas más significativas de sulfato y metales (Al, Fe y Cu, entre otros) provienen actualmente del arroyo Turbio, cuyo caudal ha aumentado luego del cierre del túnel y tiende a valores previos al túnel. Las cargas de sulfato y metales provenientes del portal del túnel son mínimas, con fracciones mínimas (2-5%) y estables.**

1. Expediente N° 1100 5074 – B – 12 del Ministerio de Minería de la provincia de San Juan [↑](#footnote-ref-2)