



## **ANEXO N°1.1**

### **INFORME DE ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DE EFECTOS**

**CARGO N° 1 RES. EX. N°1 / ROL D-018-2019**

**SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE**

**DOCUMENTO PREPARADO POR**

**GP** *Consultores Ltda.*<sup>®</sup>  
Recursos Hídricos y Medio Ambiente

**Versión 1**

**Julio 2019**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. RESUMEN Y CONCLUSIONES .....	4
2. INTRODUCCIÓN.....	6
3. ANTECEDENTES .....	7
3.1 Información de Estaciones de Monitoreo .....	7
3.2 Plan de Monitoreo Robusto (PMR) del Recurso Hídrico – Calidad.....	7
3.3 Condiciones Hidrológicas en Período de Monitoreo.....	8
4. MARCO METODOLÓGICO .....	12
5. ANÁLISIS DE EFECTOS DEL HECHO INFRACCIONAL .....	13
6. APÉNDICES.....	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Ubicación Estaciones de Monitoreo de Interés en sector Depósito de Lastre ..	5
Figura 3-2: Caudales en el río Ramadillas (aforos, L/s), en 3 estaciones con mayor longitud de registros históricos.....	9
Figura 3-3: Precipitaciones anuales en estación DGA Iglesia Colorada. ....	10
Figura 3-4: Ubicación estaciones pluviométricas DGA próximas a la zona de estudio. ....	10
Figura 3-5: Precipitaciones mensuales en estación Refugio Mina (Caserones) .....	11
Figura 5-1: Parámetro pH (medición terreno).....	14
Figura 5-2: Parámetro SDT (medición laboratorio).....	14
Figura 5-3: Parámetro CE (medición terreno). ....	14
Figura 5-4: Parámetro Cobre Total (Cu, medición laboratorio).....	15
Figura 5-5: Parámetro Sulfato (SO <sub>4</sub> -2, medición laboratorio).....	15
Figura 5-6: Parámetro Hierro Total (Fe, medición laboratorio). ....	15
Figura 5-7: Parámetro Manganeseo (Mn, medición laboratorio). ....	16
Figura 5-8: Parámetro Molibdeno (Mo, medición laboratorio).....	16
Figura 5-9: Parámetro Arsénico (As, medición laboratorio).....	16
Figura 5-10: Relación (cualitativa) entre Precipitación y el Incremento de niveles freáticos y concentraciones en sector aguas abajo depósito de Lastre. ....	17
Figura 5-11: Parámetro Sulfato en estaciones LM-30, LM-31, LM-36 y LM-51. Se incluye variación de Precipitaciones en la zona. ....	21
Figura 5-12: Parámetro Sólidos Disueltos Totales en estaciones LM-30, LM-31,.....	22
Figura 5-13: Parámetro Conductividad Específica estaciones LM-30, LM-31,.....	22

---

Figura 5-14: Parámetro Sulfato en estaciones PZL-01, MNL-3A, MNB-4A y MNB-4B. Se incluye variación de Precipitaciones en la zona. ....	26
Figura 5-15: Parámetro Sólidos Disueltos Totales en estaciones PZL-01, MNL-3A, MNB-4A y MNB-4B. ....	27
Figura 5-16: Parámetro Conductividad Específica en estaciones PZL-01, MNL-3A, MNB-4A y MNB-4B. ....	27

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Pozos de Monitoreo en área de Estudio .....	7
Tabla 5-1: Promedio de caudales históricos en estaciones LM-31, LM-30 y LM-36. ....	23

## 1. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Mediante Res. Ex. N°1/Rol D-018-2019, la Superintendencia de Medio Ambiente ha formulado un cargo (Cargo 1) en contra de SCM Minera Lumina Copper Chila (SCM MLCC) por la omisión de dar aviso a la autoridad competente, y ejecutar las acciones necesarias para hacerse cargo de los impactos ambientales no previstos en el sector aguas abajo del depósito de Lastre. Señala que existe una alteración progresiva de la calidad del agua del medio acuífero aguas abajo del depósito de lastre en los parámetros conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales y sulfatos, desde el mes de agosto de 2016.

Para evaluar los eventuales efectos de fugas desde el depósito de Lastre, en el presente informe se analiza la calidad de las aguas en dirección del flujo de las aguas superficiales y subterráneas, considerando puntos de monitoreo adicionales aguas abajo de los que detectaron alteración. El análisis de la calidad de las aguas superficiales y subterráneos en esos puntos se efectúa para Sulfatos, Sólidos Disueltos Totales y Conductividad Específica<sup>1</sup>. Los principales resultados corresponden a lo siguiente:

### Aguas Superficiales:

Las mediciones de calidad en la estación LM-51 (aguas superficiales ubicada inmediatamente aguas abajo del depósito de Lastre) muestran alteración a partir de finales del año 2015 (parámetros CE, SDT y SO<sub>4</sub>). No obstante, esa calidad medida tiende a ser similar a las aguas medidas en las otras quebradas del sistema, incluyendo una quebrada donde no hay instalaciones de la faena minera, por lo cual podría corresponder a una marca natural de la cuenca, activada por una hidrología caracterizada por años más húmedos (a partir del año 2015).

Las aguas superficiales de la quebrada donde se ubica el depósito de Lastre son interceptadas y conducidas por el canal Sur-Poniente hacia el río Ramadillas. En este canal la calidad de las aguas es medida en LM-36 (antes descarga al Ramadillas). En este punto (LM-36) no se observa un efecto aguas abajo del depósito de Lastre, ya que la calidad de las aguas en este sistema se encuentra controlada principalmente por el aporte de las otras quebradas aportantes (de mayores caudales y que no tienen presencia de instalaciones de la minera) y no desde el sector del depósito de Lastre.

---

<sup>1</sup> De estos 3 parámetros (Sulfatos, SDT y CE), se considera de mayor utilidad el análisis de las concentraciones de sulfatos, ya que dicho parámetro se utiliza como indicador, toda vez que los otros parámetros con alteración (SDT y CE) están relacionados y presentan un comportamiento muy similar

### Aguas Subterráneas:

Las mediciones de calidad en la estación PZL-1 (aguas subterráneas inmediatamente aguas abajo del depósito de Lastre) muestran alteración a partir de finales del año 2015 (parámetros CE, SDT y SO<sub>4</sub>). A partir del año más húmedo 2015, la calidad de agua medida en PZL-1 tiende a ser más similar a las aguas medidas en las otras quebradas aportantes al sistema La Brea (MNB-4) que no tiene influencia de instalaciones de la minera, lo cual podría corresponder a una marca natural de la cuenca, activada por una hidrología caracterizada por años más húmedos.

Las mediciones en el punto MNL-3A (pozo ubicado inmediatamente aguas arriba del canal interceptor Sur Poniente), se observa un leve incremento en las concentraciones de los parámetros, con valores en torno a los límites establecidos en la norma NCh-1333. Estos valores son inferiores a los observados en otros puntos de monitoreo de aguas naturales de la cuenca (MNB-4).

Por lo anterior, actualmente no se verifica un efecto significativo del Depósito de Lastre en las aguas subterráneas del sistema acuífero de la Quebrada La Brea, que haya requerido de una acción distinta a la aprobada ambientalmente.

**Figura 1-1: Ubicación Estaciones de Monitoreo de Interés en sector Depósito de Lastre**



Fuente: GP, 2019.

## 2. INTRODUCCIÓN

Con fecha 19 de febrero de 2019, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) formula cargos en contra de SCM Minera Lumina Copper Chile (SCM MLCC), mediante la Res. Ex. N°1/Rol D-018-2019. En este contexto, SCM MLCC ha definido presentar un Programa de Cumplimiento (PDC), dentro del cual es requerido hacer entrega de informes de efectos asociados a los hechos, actos u omisiones que constituyen la infracción en que se ha incurrido.

En virtud de lo anterior, el presente informe técnico responde a la necesidad de evaluar los potenciales efectos asociados al **Cargo N°1**, el cual se refiere a: “La omisión de dar aviso a la autoridad competente, y ejecutar las acciones necesarias para hacerse cargo de los impactos ambientales no previstos, consistentes en la alteración progresiva del medio acuífero aguas abajo del depósito de lastre en los parámetros conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales y sulfatos, desde el mes de agosto de 2016”.

Considerando lo anterior, el objetivo general del presente estudio es verificar si se han producido variaciones en la calidad de las aguas (subterráneas o superficiales) en el sector aguas abajo del depósito de lastre que hayan requerido una acción distinta a la aprobada ambientalmente. En caso de haberse producido, investigar su origen, el que podría corresponder al proyecto mismo o a alguna otra condición (p.e. variaciones naturales por condiciones hidrológicas).

Para el logro de lo anterior, se desarrollan los siguientes objetivos específicos:

- Identificación de estaciones de monitoreo y análisis de la evolución temporal de los principales elementos/compuestos químicos que pueden ser asociados a actividades mineras de explotación de cobre (y molibdeno).
- Comparación de los valores de estos parámetros relevantes con la normativa aplicable y con la Línea Base proporcionada por MLCC.
- Identificación del origen y alcance de las alteraciones que se detecten.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 Información de Estaciones de Monitoreo

En la **Tabla 3-1** (ver **Figura 1-1**) se identifica puntos de control regular de calidad de aguas de MLCC relevantes en el área estudio.

**Tabla 3-1: Pozos de Monitoreo en área de Estudio**

ID Monitoreo MLCC	Descripción	Coordenadas (WGS 84)		Tipo
		Este	Norte	
PZL-1	Pozo muro cortafuga Depósito Lastre	443.654	6.885.551	Subterránea
LM-42	Quebrada aguas abajo Depósito Lastre	443.680	6.885.528	Superficial
LM-51	Muro cortafuga Depósito de Lastre	443.622	6.885.600	Superficial
LM-31	Quebrada en bocatoma canal interceptor C (Qda Roco)	441.365	6.888.634	Superficial
LM-30	Quebrada en bocatoma canal interceptor A-1 (Qda La Brea)	440.429	6.887.167	Superficial
LM-36	Descarga sur, interceptores Depósito de Lamas	437.874	6.885.901	Superficial
MNL-3	Qda La Brea. Pozo Multinivel aguas arriba de la bocatoma IP-A1. Línea A con agua	440.654	6.887.534	Subterránea
MNB-4	Qda Roco. Pozo Multinivel aguas arriba depósito de Lamas. Líneas A/B con agua.	441.713	6.888.973	Subterránea

Fuente: Elaboración Propia.

Se destaca que en el sector del depósito de Lastre las estaciones presentan estadística con períodos sin datos, específicamente en período invernal, en donde se presentan problemas de acceso a los puntos de monitoreo.

#### 3.2 Plan de Monitoreo Robusto (PMR) del Recurso Hídrico – Calidad.

Respecto de la Metodología considerada en el PMR en el sector Depósito de Lastre, se establece al pozo PZL-1, ubicado Aguas abajo del Depósito de Lastre (ver Figura 1-1), como de alerta temprana. En este pozo se mide pH, el cuál en caso de entregar valores inferiores al mínimo establecido en la NCh 1333 (de 5,5 upH) se procederá a activar la Remediación.

La zona aguas abajo del PZL-1 presenta un estrechamiento hidrogeológico en donde ha sido construido un muro cortafugas que atraviesa el relleno y llega a roca.

El Plan de Remediación consiste en un sistema de tratamiento pasivo que aumentará el pH del agua proveniente del botadero. El agua interceptada por el muro corta fuga será conducida gravitacionalmente hacia un lecho alcalinizante (canal de mezcla), de modo de aumentar su pH hasta llevarlo a un valor aceptado por la Norma NCh 1333. Las aguas, luego de ser tratadas serán tomadas por un canal de desvío y entregadas al Río Ramadillas. Para controlar la eficiencia del sistema de tratamiento pasivo se cuenta con un pozo con monitoreo multinivel ubicado aguas arriba de la bocatoma IP-A1 (pozo MNL-3).



### 3.3 Condiciones Hidrológicas en Período de Monitoreo.

El efecto de la disminución de precipitaciones entre los años 2009 a 2013/14 (disminución de los volúmenes de agua disponibles, denominado “*crisis hídrica*” en Chile) incidió en la calidad de las aguas desde la Región Metropolitana hacia el Norte. Así lo publicó Christian Maurer, Bioquímico de la División de Fiscalización Superintendencia de Servicios Sanitarios, en la revista de AIDIS-Chile (N°48, Octubre 2014). Maurer (2014) señala que los problemas de calidad se pueden asociar a ciertas zonas o localidades y que si bien en algunos casos no se superan los límites normativos, existe una tendencia permanente al alza.

De acuerdo a lo anterior, la hidrología podría incidir en la calidad de las aguas en el área del proyecto. En **Figura 3-2** se presentan los aforos realizados en el río Ramadillas en las 3 estaciones con mayor longitud de registros históricos: LM-23 (sector Ramadillas Alto, antes de ingresar al área del proyecto), LM-10 (sector Ramadillas Medio, antes quebrada La Brea) y LM-05 (Sector Ramadillas Bajo, antes confluencia con río Vizcachas). Se observa que hasta diciembre 2015 (**Figura 3-2**) existe una tendencia temporal a la disminución de los caudales en el río Ramadillas (exceptuando el período de deshielo del año 2014-2015: verano 2015). Esa tendencia muestra cambios (aumento de caudales en el período de deshielo) a partir del año 2016.

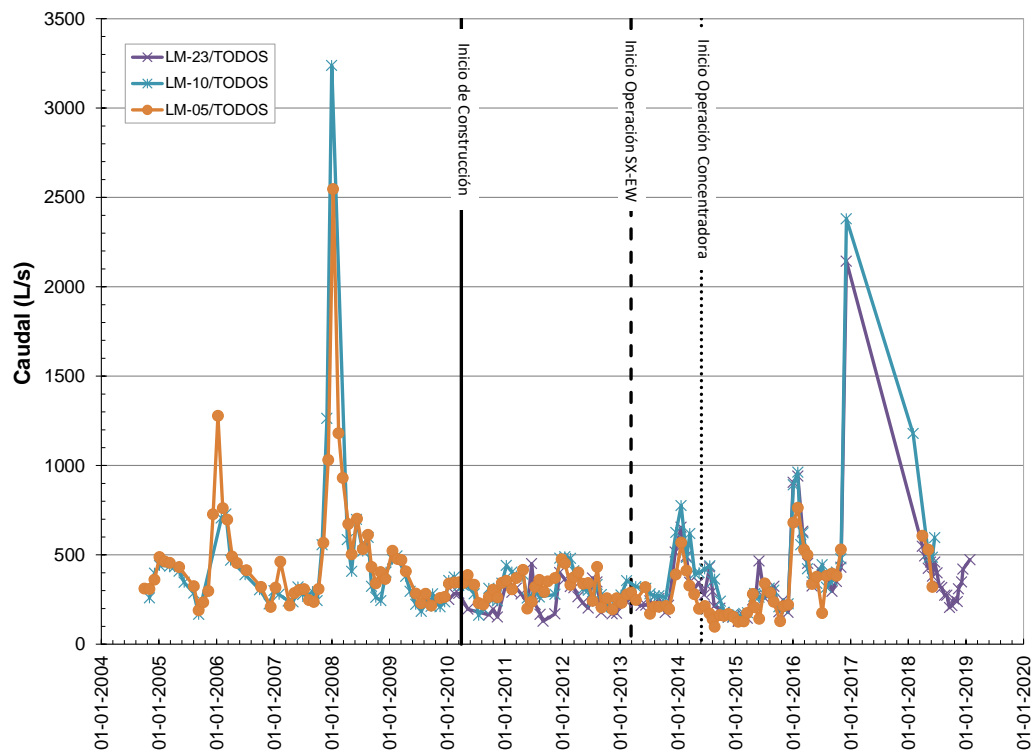
En las **Figuras 3-3 y 3-4**, se muestran las estaciones hidrometeorológicas de la Dirección General de Aguas (DGA) próximas a la zona en estudio. De ellas, se han graficado las precipitaciones anuales (año hidrológico) de la estación Iglesia Colorada (estación actualmente vigente más cercana al área de estudio). Se observa que a partir de abril 2003 y hasta marzo 2014, se presentaron menores precipitaciones que el promedio histórico. A partir de abril/2014-marzo/2015 se observa una tendencia a revertir la situación, con un aumento de los montos de agua precipitados.

Se requiere tener presente en el análisis que la estación Iglesia Colorada se ubica a una altitud significativamente inferior (1.550 m.snm) a la altitud en la cual se ubica el proyecto Caserones (entre 2.000 y 4.600 m.snm). Se trata, sin embargo, de una fuente de datos pública y con una serie de datos más larga por lo que resulta pertinente para el análisis que se presenta.

Adicionalmente, se cuenta con información de una estación meteorológica en el sector de la mina, perteneciente a Caserones, denominada “Refugio Mina”, la cual sólo cuenta con información a partir del año 2015. Los datos medidos, principalmente como precipitación sólida, se presentan en **Figura 3-5**, en donde se observa importantes montos precipitados a partir del año 2015/16, disminuyendo hacia el final del período. Para la transformación de altura de nieve mensual en altura equivalente en agua, también mensual, se ha considerado que 1 centímetro de nieve equivale a 1 mm de altura de agua.

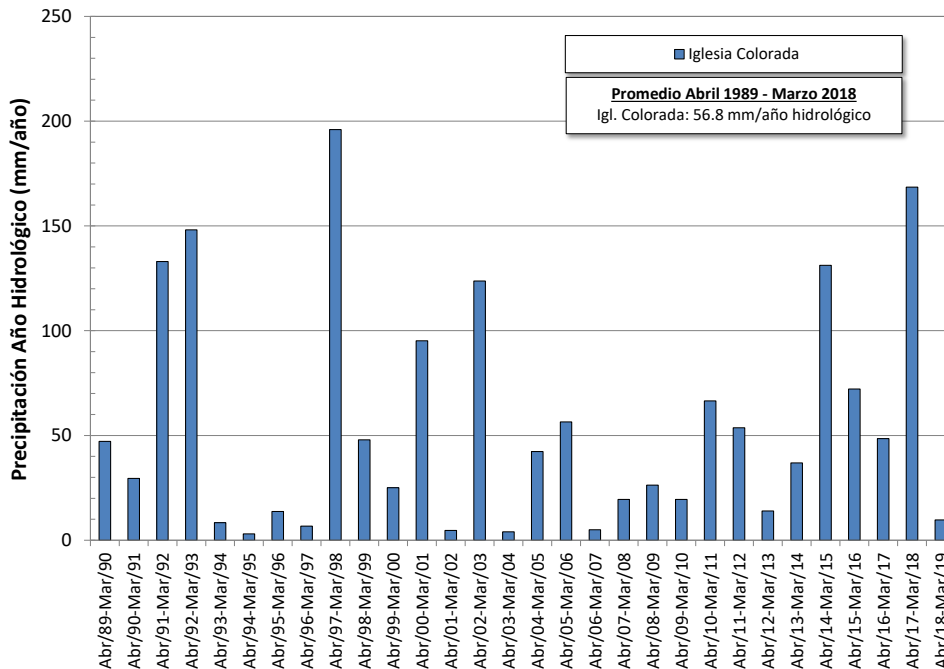


**Figura 3-1: Caudales en el río Ramadillas (aforos, L/s), en 3 estaciones con mayor longitud de registros históricos.**



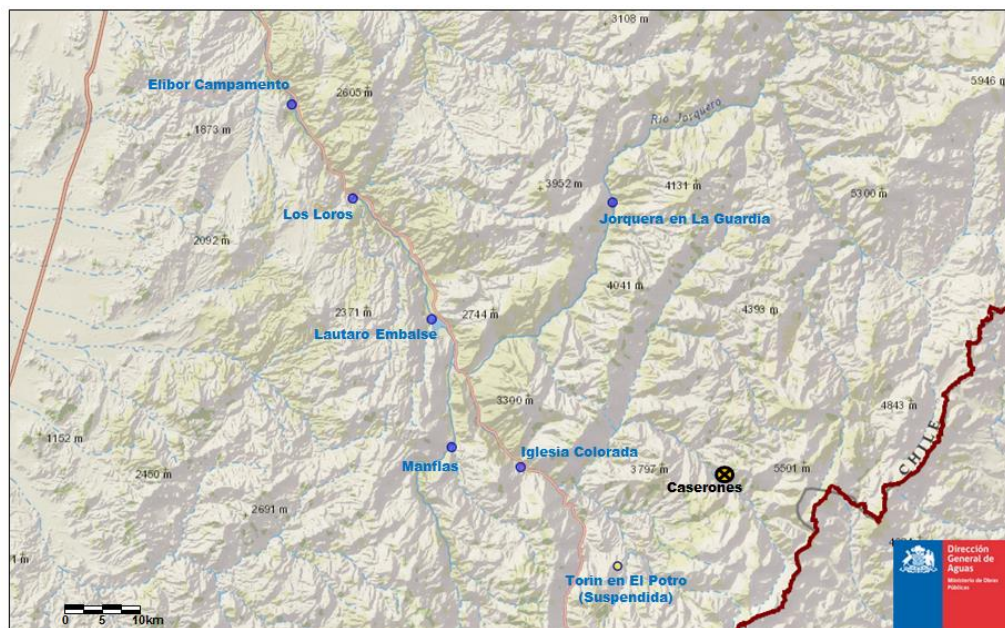
Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 3-2: Precipitaciones anuales en estación DGA Iglesia Colorada.**



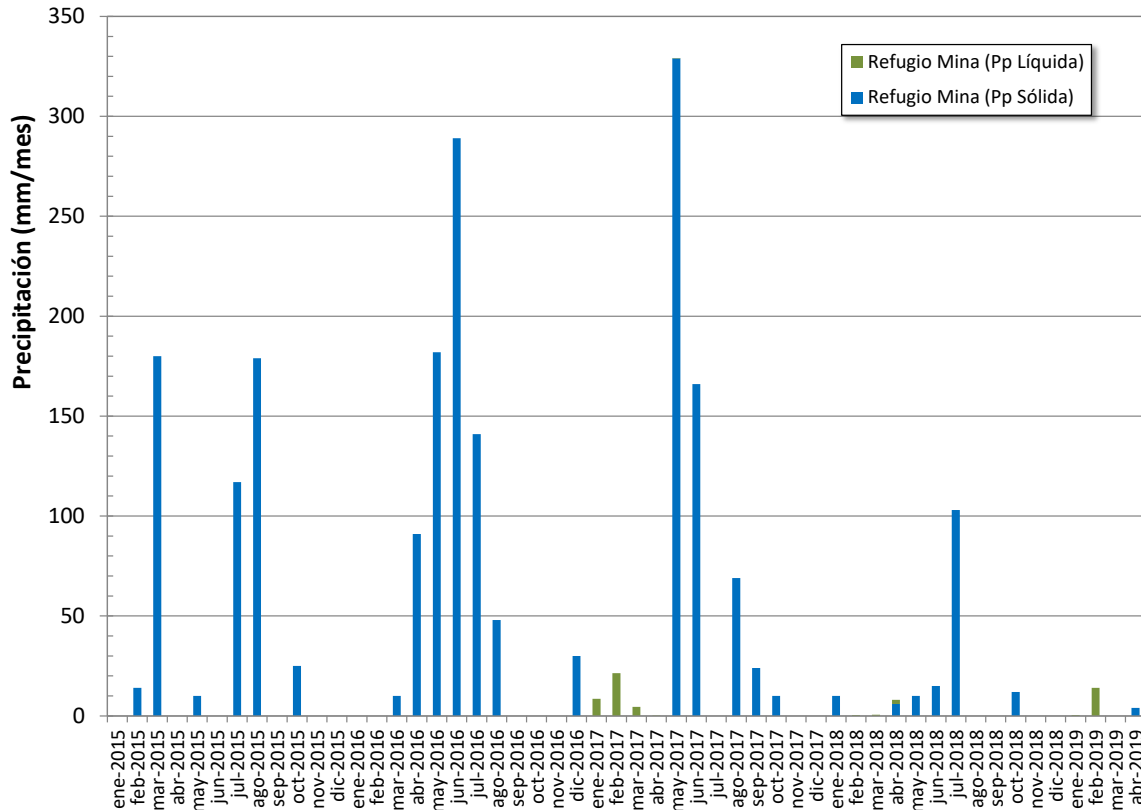
Fuente: Elaboración Propia a partir de datos DGA. Nota: Datos disponibles a Noviembre de 2018 (en página web de la DGA, julio 2019).

**Figura 3-3: Ubicación estaciones pluviométricas DGA próximas a la zona de estudio.**



Fuente: Dirección General de Aguas.

**Figura 3-4: Precipitaciones mensuales en estación Refugio Mina (Caserones)**



Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de Caserones. Nota: Datos disponibles Feb.2015-Abr.2019. Se observa que en el sector la precipitación es principalmente sólida (nieve), en donde, para la transformación de altura de nieve mensual en altura equivalente en agua, también mensual, se ha considerado que 1 centímetro de nieve equivale a 1 mm de altura de agua.

#### **4. MARCO METODOLÓGICO**

Se plantean las siguientes actividades de análisis de información orientadas a evaluar la calidad del agua en sector aguas abajo del depósito de Lastre y determinar si han sido requeridas acciones de control distintas a las aprobadas ambientalmente.

##### **I. Análisis histórico completo de las estaciones de monitoreo PZL-1, LM-42 y LM-51:**

El análisis se efectúa considerando un listado de parámetros indicadores de la calidad de las aguas, típicamente utilizados por la autoridad para el análisis de proyectos mineros de explotación de cobre y molibdeno. Ellos corresponden a los siguientes: pH, CE, Cu, Fe, Mn, SDT, SO<sub>4</sub>, Mo y As.

De acuerdo al PMR-Calidad, el parámetro pH corresponde al parámetro cuya alteración genera la aplicación de tratamiento pasivo de las aguas afectadas.

Este análisis busca principalmente encontrar tendencias y eventos de alteración, individualizándolos para tratar de encontrar su origen.

##### **II. Análisis a la salida del sistema, en sector aguas abajo Depósito de Lastre:**

Se analiza la variación histórica de la calidad del agua superficial y subterránea en el sector aguas abajo del depósito de Lastre y el eventual efecto de una propagación de la alteración observada en la calidad del agua en el sector.



## 5. ANÁLISIS DE EFECTOS DEL HECHO INFRACCIONAL

### Hecho Infraccional:

Impactos no previstos desde el depósito de Lastre, sin ejecutar las acciones necesarias para hacerse cargo de dichos impactos, consistentes en la alteración progresiva del medio acuífero aguas abajo del depósito de lastre en los parámetros conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales y sulfatos.

### Efectos Identificados:

Aguas Abajo del depósito de Lastre se cuenta con el monitoreo en los siguientes puntos:

- LM-42. Aguas superficiales. Quebrada aguas abajo Depósito Lastre
- LM-51. Aguas superficiales. Muro cortafuga Depósito de Lastre
- PZL-1. Aguas subterráneas. Pozo muro cortafuga Depósito Lastre

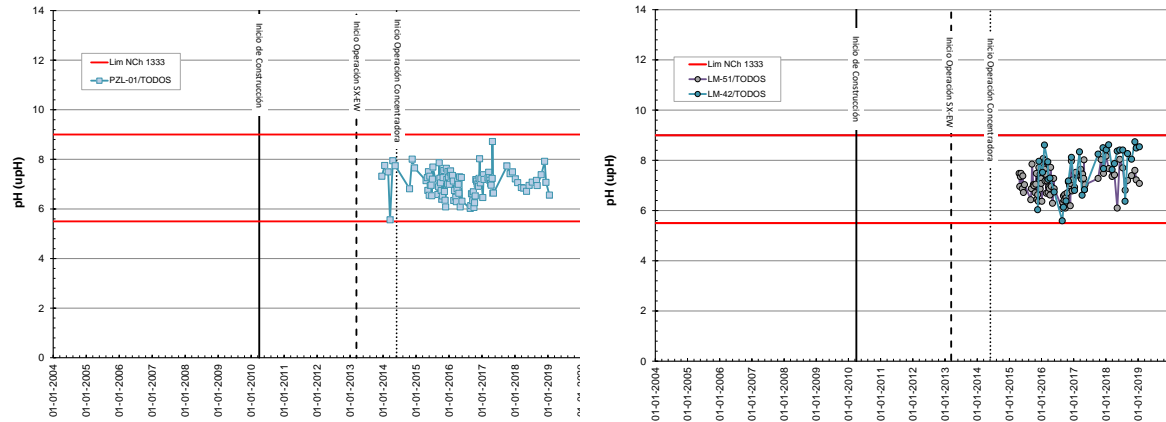
En las **Figuras 5-1 a 5-9** se presenta la evolución temporal de los parámetros pH, CE, Cu, Fe, Mn, SDT, SO<sub>4</sub>, Mo y As, en los puntos de monitoreo antes mencionados.

De la **Figura 5-1** se observa que en el pozo PZL-1 (de alerta temprana del Depósito de Lastre), el pH, que corresponde al parámetro indicador para activar medidas de remediación, no presenta valores inferiores al mínimo establecido en la NCh 1333 (de 5,5 upH, límite para activar medidas). Por otro lado, los monitoreos de los puntos LM-42 y LM-51, presentan valores estables, manteniendo un rango de variación entre 6 – 9 upH, sin mostrar una tendencia al aumento o disminución en sus valores.

Respecto a los parámetros restantes, de **las Figuras 5-2 a 5-9** se observa que, en general, los parámetros presentan mediciones estables en el tiempo (o en un rango de variación que se mantiene), salvo para los parámetros SDT, Sulfatos y C.E., los cuales a partir de finales del año 2015 han presentado un aumento en sus concentraciones, alcanzando un máximo en los primeros meses de 2017, para luego descender hasta inicios de 2018, en donde se observa un nuevo período de incremento hasta mediados del 2018, para luego presentar nuevamente una tendencia a la disminución en sus valores.

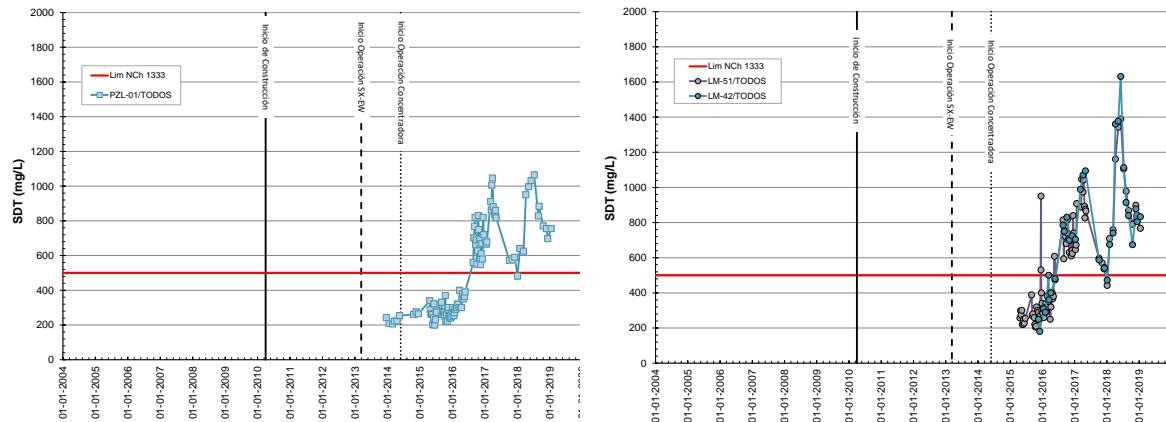
Se prevé que la característica cíclica en las variaciones de SDT, Sulfatos y C.E., presentada a partir del incremento de sus valores, se relacione con las condiciones hidrológicas observadas en el período. En la **Figura 5-10** se presenta las concentraciones de Sulfatos en el pozo PZL-1, su nivel freático y las precipitaciones medidas en las estaciones DGA Iglesia Colorada y Refugio Mina de MLCC, en donde se puede ver la relación entre la calidad e hidrología del sector, en donde los últimos períodos con años húmedos, luego de una serie de años secos, podrían haber repercutido en la calidad de las aguas.

**Figura 5-1: Parámetro pH (medición terreno).**



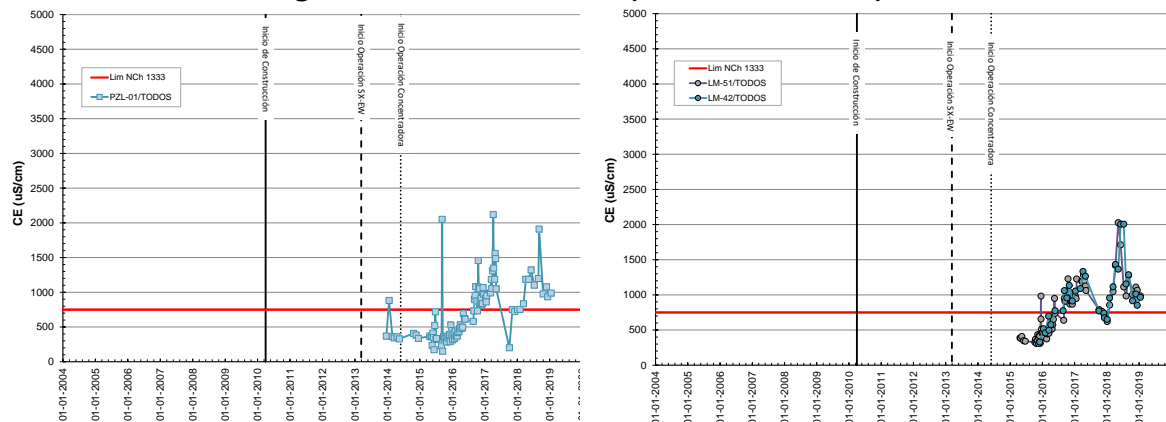
Fuente: Datos MLCC.

**Figura 5-2: Parámetro SDT (medición laboratorio).**



Fuente: Datos MLCC.

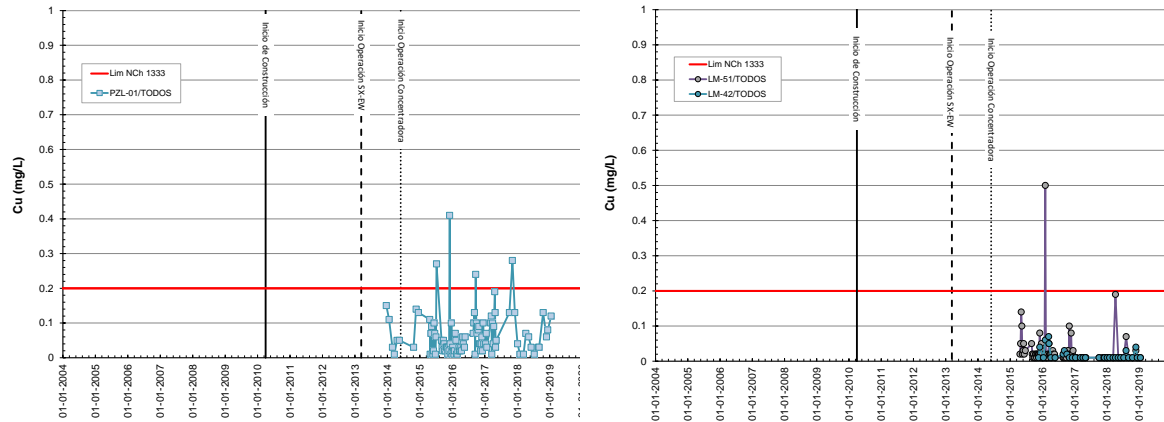
**Figura 5-3: Parámetro CE (medición terreno).**



Fuente: Datos MLCC.

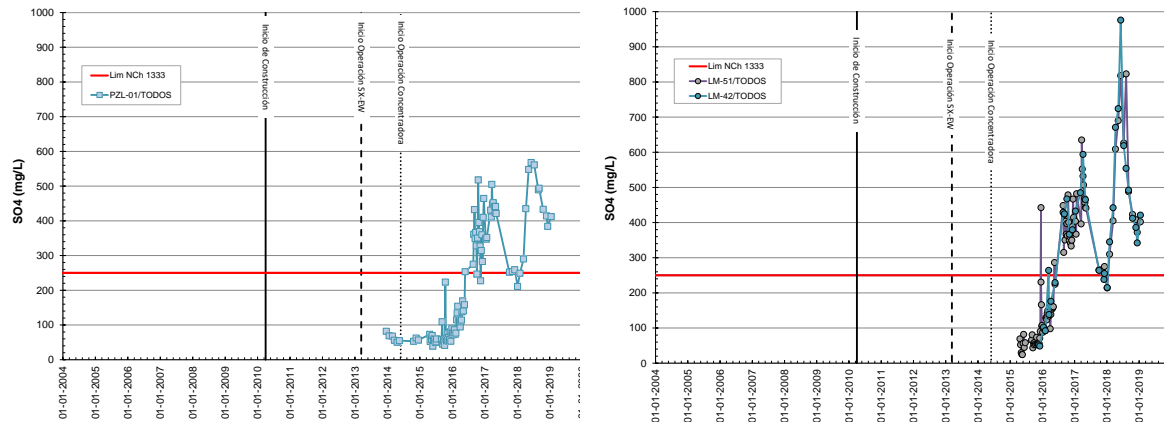


**Figura 5-4: Parámetro Cobre Total (Cu, medición laboratorio).**



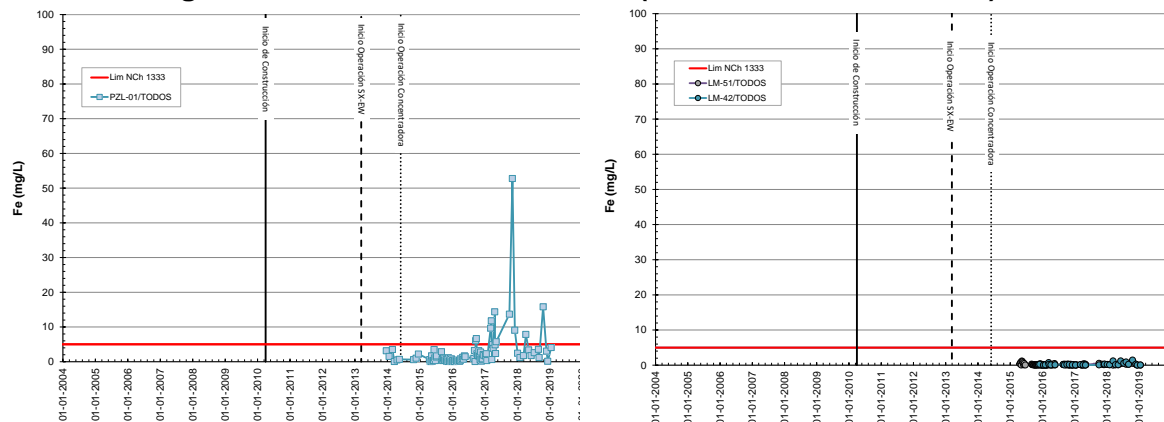
Fuente: Datos MLCC.

**Figura 5-5: Parámetro Sulfato (SO<sub>4</sub>-2, medición laboratorio).**



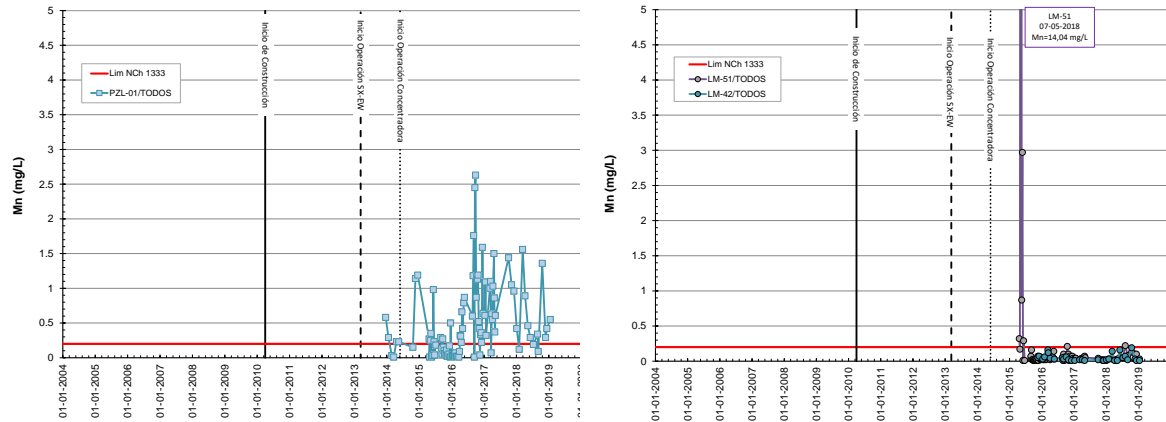
Fuente: Datos MLCC.

**Figura 5-6: Parámetro Hierro Total (Fe, medición laboratorio).**



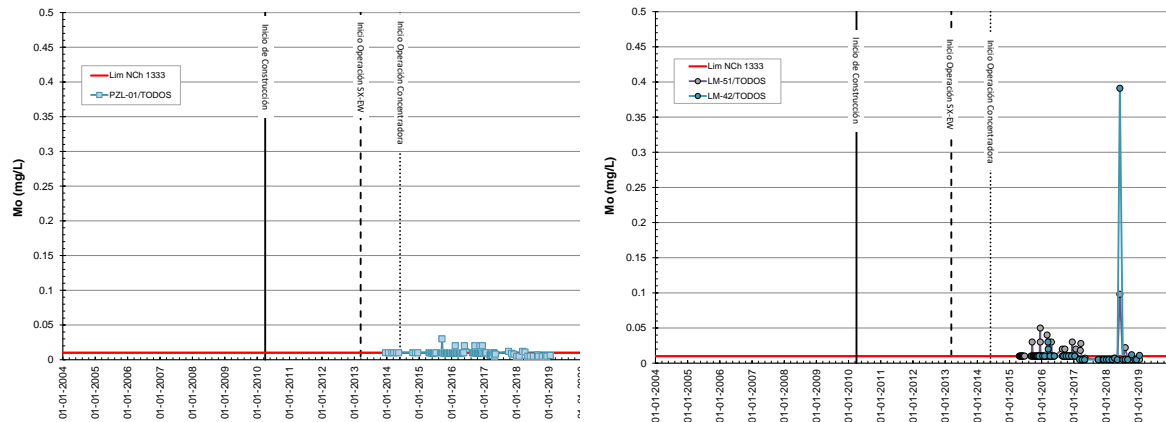
Fuente: Datos MLCC.

**Figura 5-7: Parámetro Manganeseo (Mn, medición laboratorio).**



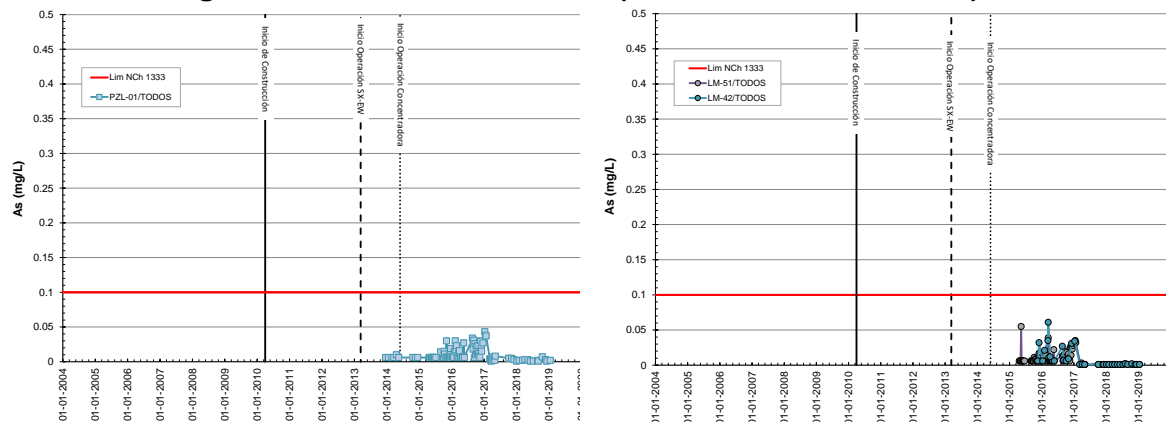
Fuente: Datos MLCC.

**Figura 5-8: Parámetro Molibdeno (Mo, medición laboratorio).**



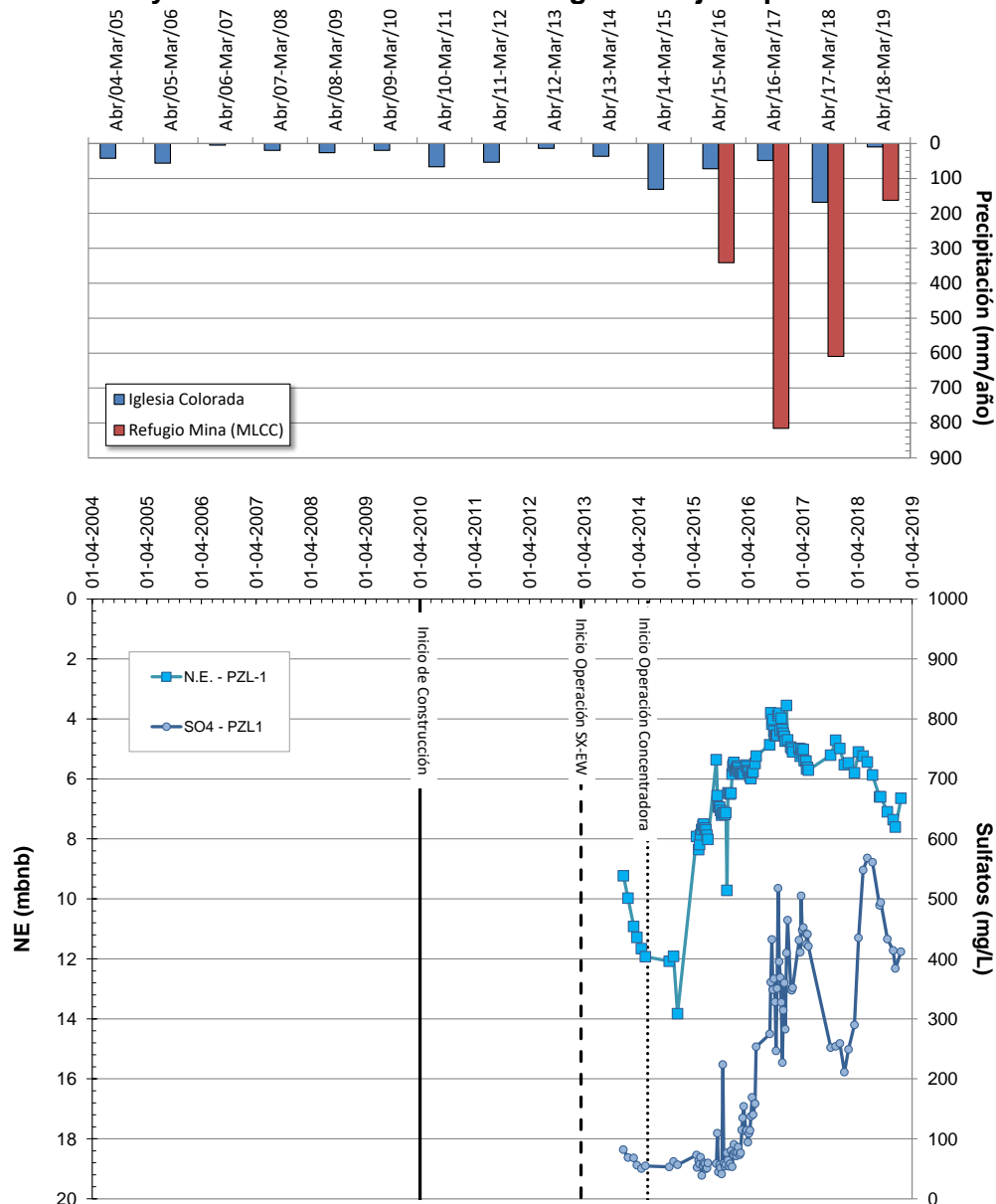
Fuente: Datos MLCC.

**Figura 5-9: Parámetro Arsénico (As, medición laboratorio).**



Fuente: Datos MLCC.

**Figura 5-10: Relación (cualitativa) entre Precipitación y el Incremento de niveles freáticos y concentraciones en sector aguas abajo depósito de Lastre.**



Fuente: Datos MLCC.

Se destaca que aguas abajo del depósito de Lastre, las aguas superficiales son captadas por el sistema interceptor de aguas superficiales asociado al depósito de lamas (canales perimetrales) y descargados posteriormente en el río Ramadillas. Por otro lado, las aguas subterráneas, las cuales se prevé son de bajo caudal, aportan hacia la cuenca principal de la quebrada La Brea, donde aguas abajo está ubicado el Depósito de Lamas y donde en la actualidad opera el sistema de contención de fugas o barrera hidráulica.

De acuerdo a lo anterior, los eventuales efectos de fugas desde el depósito de Lastre debiesen ser evaluados siguiendo la línea de flujos de dichas aguas.

Siguiendo la dirección del flujo de las aguas, se analiza la evolución temporal de los principales elementos químicos que se visualizaron alterados en el sector aguas abajo del depósito de Lastre, correspondientes a Sulfatos, Sólidos Disueltos Totales y Conductividad Específica, según se detalla a continuación.

### **Aguas Superficiales:**

En el sector se tienen las estaciones de monitoreo adicionales (**Figura 1-1**):

- LM-30: Quebrada en bocatoma canal interceptor A-1.
- LM-31: Quebrada en bocatoma canal interceptor C.
- LM-36: Descarga sur, interceptores Depósito de Lamas. Descarga a río Ramadillas.

En estas estaciones los parámetros de interés presentan los siguientes comportamientos:

### **Sulfatos:**

Las mediciones de sulfatos en las estaciones LM-30, LM-31 y LM-36 se presentan en la **Figura 5-11**, en donde, a modo de comparación, se incluyen las mediciones en el punto LM-51. Asimismo, se incluye las variaciones de precipitaciones en la zona.

Respecto a las concentraciones medidas en el punto LM-51 (aguas abajo depósito de Lastre), se observa un incremento en las mediciones en período de años húmedos, partiendo en el año 2015/16, donde incrementa sus concentraciones por sobre la normativa (NCh1333), alcanzando valores similares a los observados en los puntos de medición en las otras quebradas del sector. Durante el año 2017 sus concentraciones descienden, pero manteniéndose concentraciones por sobre la normativa, incrementándose nuevamente sus valores el 2018, presentando una nueva disminución en sus concentraciones a finales de este mismo año, retomando valores similares a las medidas en las otras quebradas fuera de la influencia del depósito de lastre.

Las variaciones de concentración observadas en este punto, podría responder (al menos en parte) a una marca natural del sector, condicionado por la hidrología.

El punto LM-30, a la salida de la cuenca donde se emplaza el depósito de Lastre, si bien también muestra incrementos en su concentración en los mismos períodos que el punto LM-51, presenta concentraciones siempre menores o iguales a las medidas en los otros sectores fuera del área de influencia del depósito de Lastre.

Por otro lado, respecto a las aguas superficiales provenientes de quebradas aportantes en sector de La Brea, destaca que en general, salvo por mediciones en LM-51 (2015-2016), ellas presentan concentraciones de sulfatos que naturalmente exceden el límite establecido en la norma NCh1333 (ver **Figura 5-11**).

Asimismo, la mezcla entre los aportes de las quebradas del sector alto de La Brea, medida en el punto LM-36, también presenta una concentración de sulfatos superior a la norma NCh1333. Luego, su calidad está condicionada mayoritariamente por los aportes caracterizados por el punto LM-31, influyendo poco en el balance de aguas el aporte de aguas superficiales desde el sector del depósito de Lastre.

### **Sólidos Disueltos Totales (SDT):**

Las mediciones de SDT en las estaciones LM-30, LM-31 y LM-36 se presentan en la **Figura 5-12** (se incluye las mediciones en el punto LM-51).

Similarmente a lo observado para los sulfatos, las concentraciones medidas en el punto LM-51 (aguas abajo depósito de Lastre), presentan un incremento en las mediciones en período de años húmedos, partiendo en el año 2015/16, donde incrementa sus concentraciones por sobre la normativa (NCh1333), alcanzando valores similares a los observados en los puntos de medición en las otras quebradas del sector. Durante el año 2017 sus concentraciones descienden, pero manteniéndose concentraciones por sobre la normativa, incrementándose nuevamente sus valores el 2018, presentando una nueva disminución en sus concentraciones a finales de este mismo año, retomando valores similares a las medidas en las otras quebradas fuera de la influencia del depósito de lastre.

Las variaciones de concentración observadas en este punto, podría responder (al menos en parte) a una marca natural del sector, condicionado por la hidrología.

El punto LM-30, a la salida de la cuenca donde se emplaza el depósito de Lastre, si bien también muestra incrementos en su concentración en los mismos períodos que el punto LM-51, presenta concentraciones siempre menores o iguales a las medidas en los otros sectores fuera del área de influencia del depósito de Lastre.

Por otro lado, respecto a las aguas superficiales provenientes de quebradas aportantes en sector de La Brea, salvo por mediciones en LM-51 (2015-2016), presentan concentraciones de SDT que naturalmente exceden el límite establecido en la norma NCh1333 (ver **Figura 5-12**).

Asimismo, la mezcla entre los aportes de las quebradas del sector alto de La Brea, medida en el punto LM-36, también presenta una concentración de SDT superior a la norma NCh1333, por lo que su calidad está condicionada mayoritariamente por los aportes caracterizados por el punto LM-31.

### **Conductividad Específica (CE):**

Las mediciones de C.E. en las estaciones LM-30, LM-31 y LM-36 se presentan en la **Figura 5-13** (se incluye las mediciones en el punto LM-51).

Similarmemente a lo observado para los sulfatos y SDT, las concentraciones medidas en el punto LM-51 (aguas abajo depósito de Lastre), presentan un incremento en las mediciones en período de años húmedos, partiendo en el año 2015/16, donde incrementa sus concentraciones por sobre la normativa (NCh1333), alcanzando valores similares a los observados en los puntos de medición en las otras quebradas del sector. Durante el año 2017 sus concentraciones descienden, pero manteniéndose concentraciones por sobre la normativa, incrementándose nuevamente sus valores el 2018, presentando una nueva disminución en sus concentraciones a finales de este mismo año, retomando valores similares a las medidas en las otras quebradas fuera de la influencia del depósito de lastre.

Las variaciones de concentración observadas en este punto, podría responder (al menos en parte) a una marca natural del sector, condicionado por la hidrología.

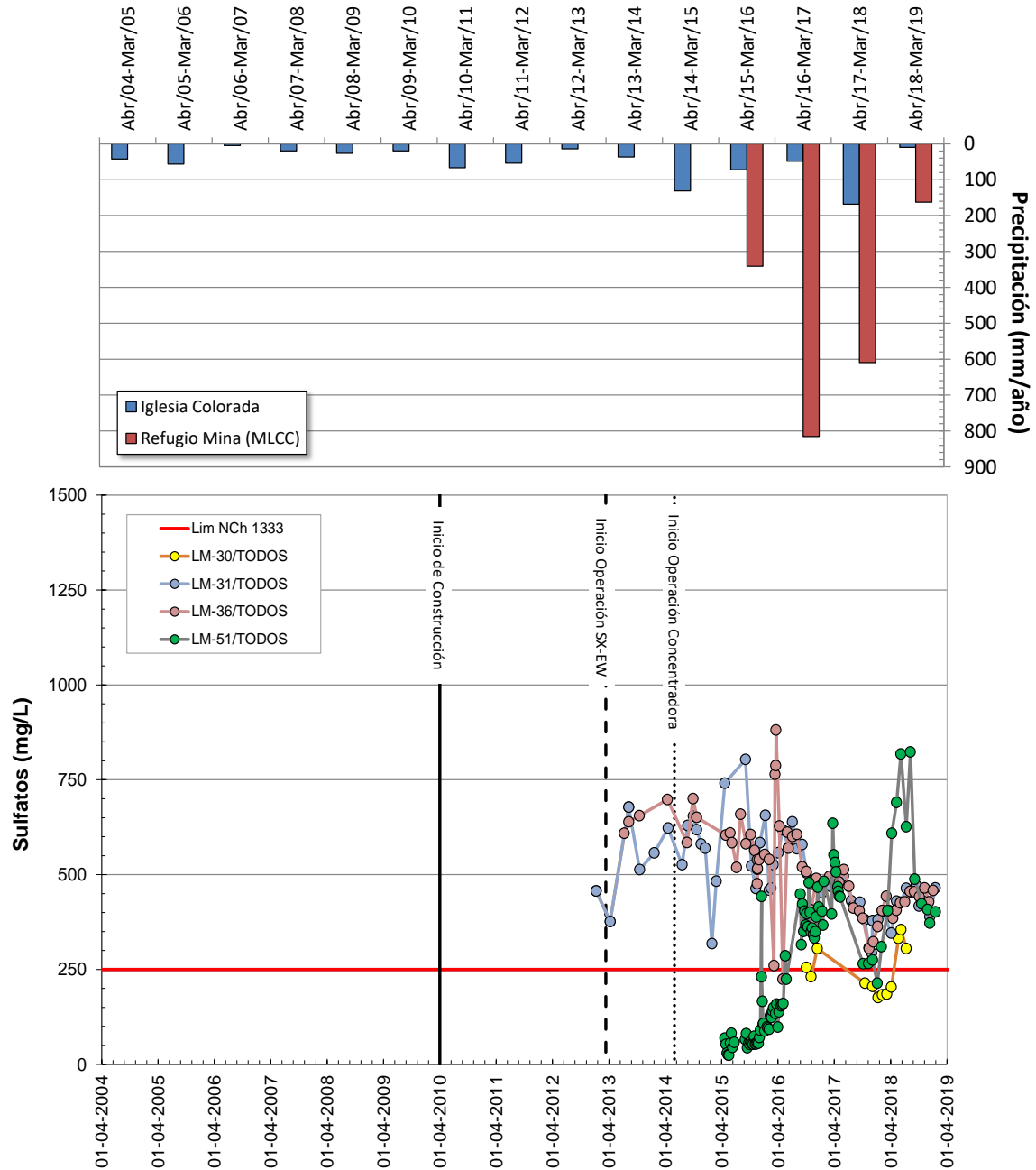
El punto LM-30, a la salida de la cuenca donde se emplaza el depósito de Lastre, si bien también muestra incrementos en su concentración en los mismos períodos que el punto LM-51, presenta concentraciones siempre menores o iguales a las medidas en los otros sectores fuera del área de influencia del depósito de Lastre.

Por otro lado, respecto a las aguas superficiales provenientes de quebradas aportantes en sector de La Brea, salvo por mediciones en LM-51 (2015-2016), presentan una C.E. que naturalmente exceden el límite establecido en la norma NCh1333 (ver **Figura 5-13**).

Asimismo, la mezcla entre los aportes de las quebradas del sector alto de La Brea, medida en el punto LM-36, también presenta una C.E. superior a la norma NCh1333, por lo que su calidad está condicionada mayoritariamente por los aportes caracterizados por el punto LM-31.

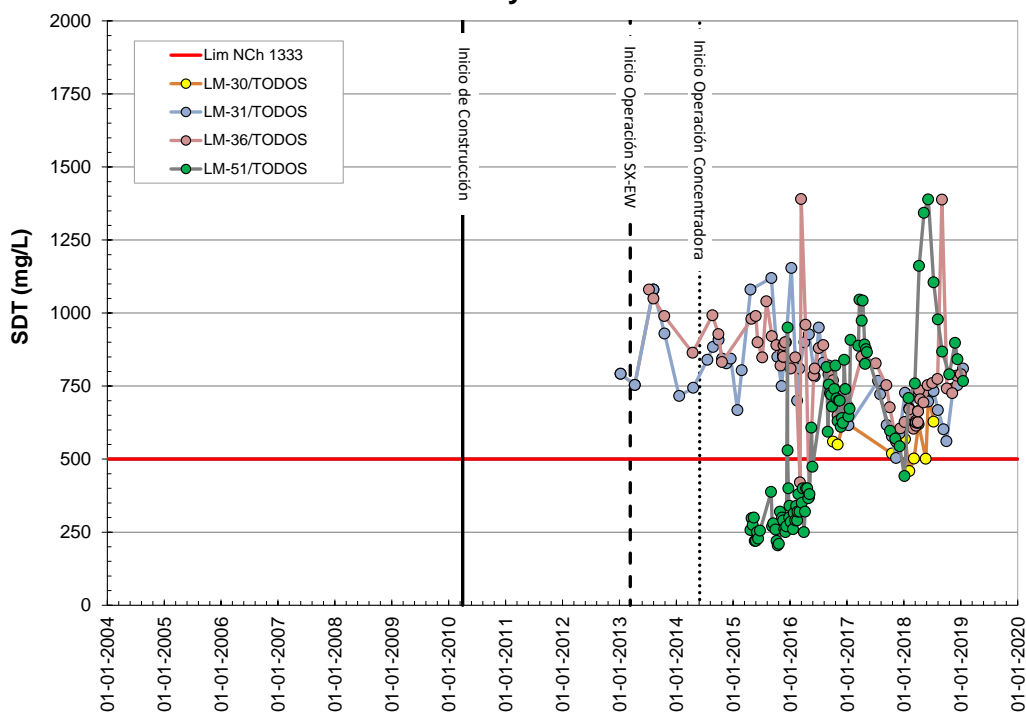


**Figura 5-11: Parámetro Sulfato en estaciones LM-30, LM-31, LM-36 y LM-51. Se incluye variación de Precipitaciones en la zona.**



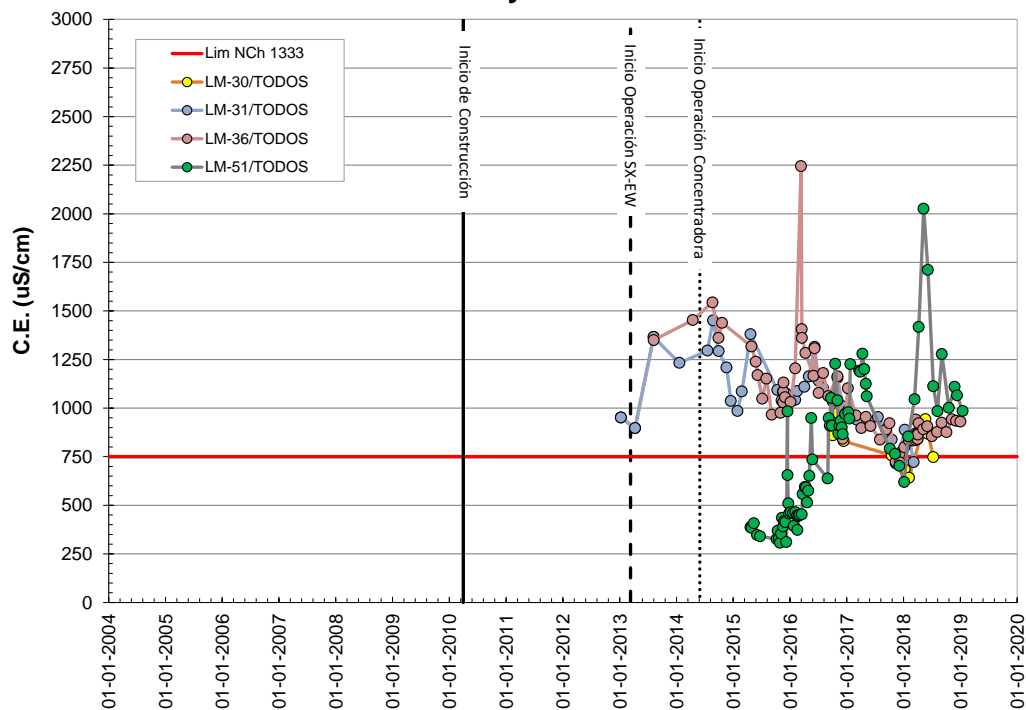
Fuente: Datos MLCC.

**Figura 5-12: Parámetro Sólidos Disueltos Totales en estaciones LM-30, LM-31, LM-36 y LM-51.**



Fuente: Datos MLCC.

**Figura 5-13: Parámetro Conductividad Específica estaciones LM-30, LM-31, LM-36 y LM-51.**



Fuente: Datos MLCC. Parámetro medido en terreno.

Finalmente, para recalcar la importancia de cada quebrada en su aporte al canal interceptor Sur Oriente, que descarga al río Ramadillas, en la **Tabla 5-1** se presenta el promedio histórico de caudales medidos en los puntos de interés. Se observa la gran importancia de la quebrada IP-C (LM-31) en el caudal que termina entregando el canal interceptor Sur Oriente (LM-36) y una baja participación de las aguas superficiales provenientes del sector del depósito de Lastre con menos de 5% de aporte al caudal total.

**Tabla 5-1:** Promedio de caudales históricos en estaciones LM-31, LM-30 y LM-36.

	LM-31	LM-30	LM-36
Promedio (L/s)	10	1	21

**Nota:** Datos MLCC a Febrero 2019.

Luego, la alteración de calidad de aguas superficiales en el sector del depósito de Lastre no presenta un gran aporte en caudales y no influye significativamente en la calidad de las aguas monitoreadas por el punto LM-36, previo a su descarga en el río Ramadillas.

### **Aguas Subterráneas:**

En el sector se tienen las estaciones de monitoreo:

- MNL-03A: Corresponde a la línea más profunda de Multinivel MNL-3 (las otras se encuentran históricamente sin agua para ser muestreadas). El piezómetro se ubica aguas abajo del muro corta fuga del depósito de Lastre.
- MNB-4A: Corresponde a la línea más profunda de Multinivel MNB-4. El piezómetro se ubica aguas arriba del depósito de lamas.
- MNB-4B: Corresponde a la línea media de Multinivel MNB-4 (la línea más somera se encuentra históricamente sin agua para ser muestreadas). El piezómetro se ubica aguas arriba del depósito de lamas.

En estos puntos de monitoreo los parámetros de interés presentan los siguientes comportamientos:

### **Sulfatos:**

Las mediciones de sulfatos en las estaciones MNL-3A, MNB-4A y MNB-4B se presentan en la **Figura 5-14**, en donde, a modo de comparación se incluyen las mediciones en el punto PZL-1.

Respecto a las aguas subterráneas en la cuenca, fuera del área de influencia del depósito de Lastre, caracterizada por los piezómetros MNB-4A y MNB-4B, se destaca

que ellas presentan concentraciones de sulfatos que naturalmente exceden el límite establecido en la norma NCh1333 (ver **Figura 5-14**).

Por otro lado, aguas abajo del depósito de Lastre, a la salida del sistema, las mediciones de sulfatos en el punto MNL-3A presentaba concentraciones de sulfatos, previo al incremento de concentraciones en el pozo PZL-1, entre 50 y 180 mg/L, inferiores al límite de NCH-1333.

Luego de producido el incremento de concentraciones de sulfatos en PZL-1 (a partir de 2015/16), las concentraciones de sulfatos medidas en el pozo MNL-3A también se incrementan, pero no en la misma magnitud que el primero, aumentando sus concentraciones de sulfatos a valores en torno al límite establecido en la norma NCh1333 (250 mg/L) y menores a las concentraciones medidas en MNB-4 (fuera de la influencia de depósito de Lastre). Se destaca que, a finales de 2018/19, las concentraciones medidas en este punto presentan una tendencia al descenso, alcanzando valores bajo la normativa (NCh 1333) y menores a las medidas en MNB-4.

Finalmente, se destaca que el incremento observado en las mediciones del punto PZL-01, en período de años húmedos, donde incrementa sus concentraciones por sobre la normativa (NCh1333), con valores similares a los observados en los puntos de medición en otra quebrada del sector (MNB-04), podría responder (al menos en parte) a una marca natural del sector, condicionado por las condiciones hidrológicas.

### **Sólidos Disueltos Totales (SDT):**

Las mediciones de SDT en las estaciones MNL-3A, MNB-4A y MNB-4B se presentan en la **Figura 5-15**, en donde, a modo de comparación se incluyen las mediciones en el punto PZL-01.

Respecto a las aguas subterráneas en la cuenca, fuera del área de influencia del depósito de Lastre, caracterizada por los piezómetros MNB-4A y MNB-4B, se destaca que, ellas presentan concentraciones de SDT que naturalmente exceden el límite establecido en la norma NCh1333 (ver **Figura 5-15**).

Por otro lado, aguas abajo del depósito de Lastre, a la salida del sistema, las mediciones de SDT en el punto MNL-03A presentaba concentraciones de SDT, previo al incremento de concentraciones en el pozo PZL-1, entre 290 y 480 mg/L, inferiores al límite de NCH-1333.

Luego de producido el incremento de concentraciones de sulfatos en PZL-01 (a partir de 2015/16), las concentraciones de SDT medidas en el pozo MNL-03A también se incrementan, pero no en la misma magnitud que el primero, aumentando sus

concentraciones a valores en torno al límite establecido en la norma NCh1333 (500 mg/L) y menores a las concentraciones medidas en MNB-4 (fuera de la influencia de depósito de Lastre).

### **Conductividad Específica (CE):**

Las mediciones de CE en las estaciones MNL-3A, MNB-4A y MNB-4B se presentan en la **Figura 5-16**, en donde, a modo de comparación se incluyen las mediciones en el punto PZL-01.

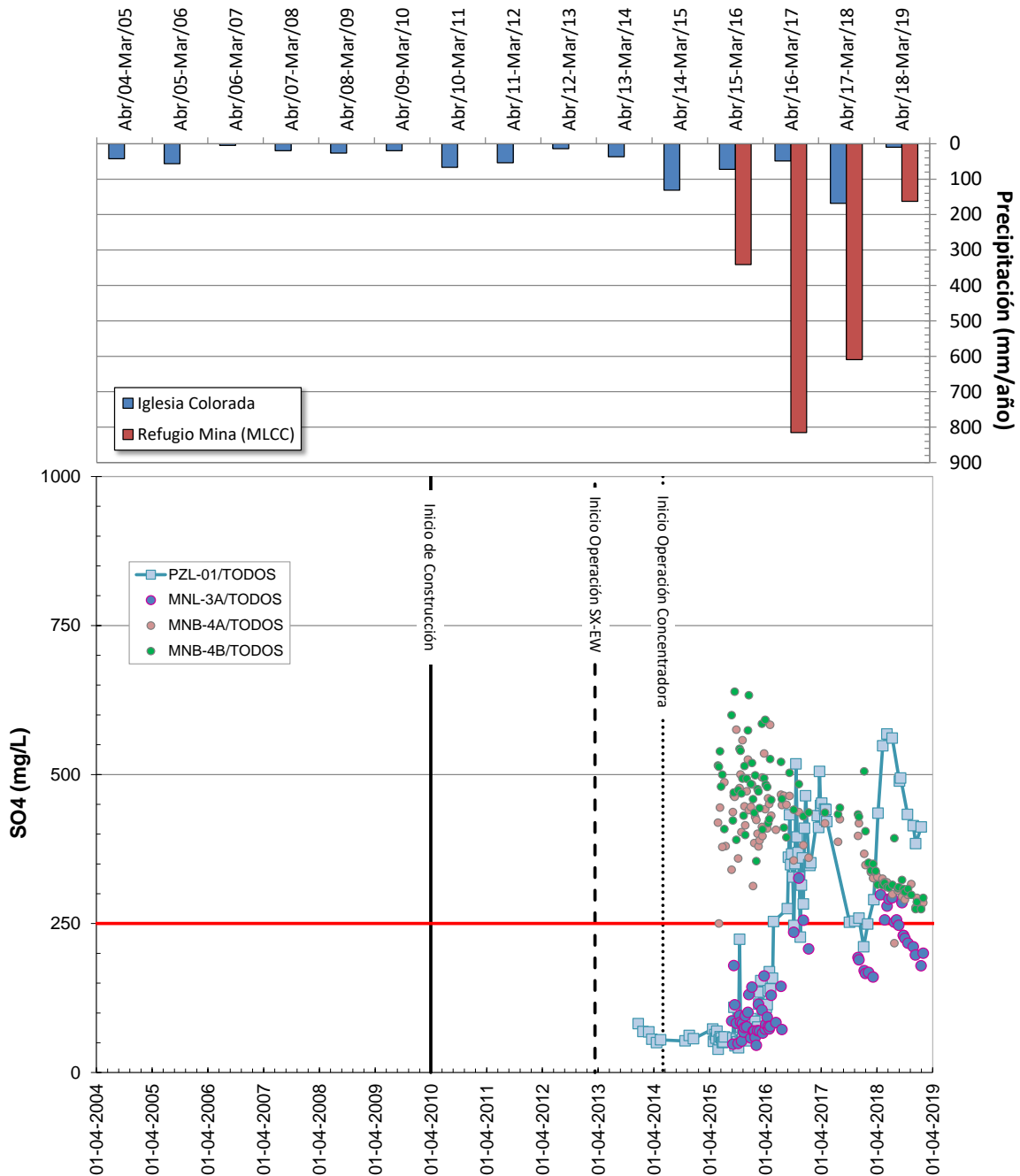
Respecto a las aguas subterráneas en la cuenca, fuera del área de influencia del depósito de Lastre, caracterizada por los piezómetros MNB-4A y MNB-4B, se destaca que, ellas presentan valores de CE que naturalmente exceden el límite establecido en la norma NCh1333 (ver **Figura 5-16**).

Por otro lado, aguas abajo del depósito de Lastre, a la salida del sistema, las mediciones de CE en el punto MNL-03A presentaba valores de CE, previo al incremento en el pozo PZL-1, entre 430 y 670 uS/cm, inferiores al límite de NCH-1333.

Luego de producido el incremento en la CE en el pozo PZL-01, ellas también se incrementan en el pozo MNL-03A, pero no en la misma magnitud, aumentando la CE a valores en torno al límite establecido en la norma NCh1333 (750 uS/cm) y menores a las medidas en MNB-4 (fuera de la influencia de depósito de Lastre).

Finalmente, se destaca que, la alteración en calidad desde depósito de lastre no requirió acción distinta a la aprobada ambientalmente porque, aguas abajo en la dirección del flujo, el piezómetro MNL-3 no detecta las mismas alteraciones que PZL-1, presentando concentraciones menores o similares a las aguas subterráneas medidas en pozos fuera del área de influencia del depósito de lastre, y además, se ubica aguas arriba del depósito de lamas, el que cuenta con sistema de remediación.

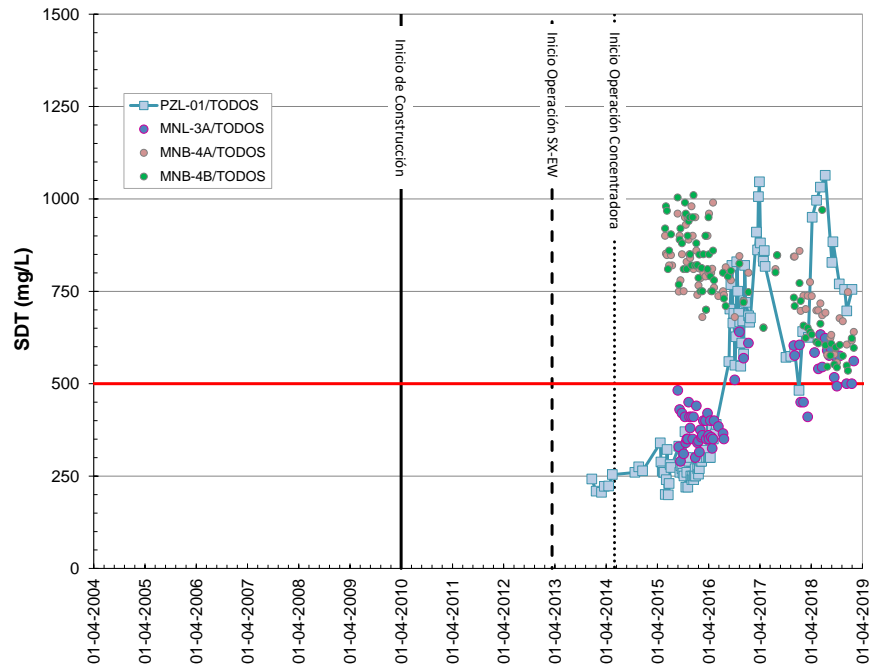
**Figura 5-14: Parámetro Sulfato en estaciones PZL-01, MNL-3A, MNB-4A y MNB-4B.  
Se incluye variación de Precipitaciones en la zona.**



Fuente: Datos MLCC.

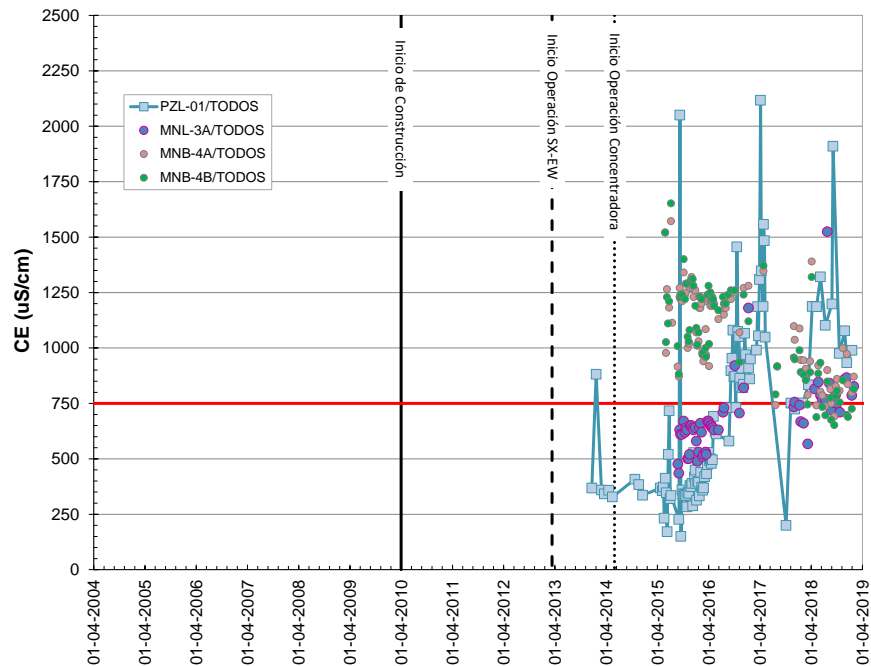


**Figura 5-15: Parámetro Sólidos Disueltos Totales en estaciones PZL-01, MNL-3A, MNB-4A y MNB-4B.**



Fuente: Datos MLCC.

**Figura 5-16: Parámetro Conductividad Específica en estaciones PZL-01, MNL-3A, MNB-4A y MNB-4B.**



Fuente: Datos MLCC.

---

## 6. APÉNDICES

APÉNDICE A. Base de Datos MLCC Caserones. En formato digital