



ANEXO N° 16.1

INFORME DE ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES

CARGOS N°4, N°5 y N°16 RES. EX. N°1 / ROL D-018-2019

SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE

**DOCUMENTO PREPARADO POR
MEJORES PRÁCTICAS ASOCIADOS**



Versión 1

MARZO 2019

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. RESUMEN.....	5
2. INTRODUCCIÓN.....	6
3. MARCO METODOLÓGICO	7
3.1 Metodología asociada al Cargo N° 4.....	7
3.1.1 Metodología asociada al Cargo N° 4 sobre el volumen de lamas derramadas	7
3.1.2 Metodología asociada al Cargo N° 4 sobre el componente suelo	8
3.1.3 Metodología asociada al Cargo N° 4 sobre el componente flora.....	9
3.1.4 Metodología asociada al Cargo N° 4 sobre el componente fauna.....	9
3.1.5 Metodología asociada al Cargo N° 4 sobre el componente agua superficial .	9
3.2 Metodología asociada al Cargo N° 5.....	10
3.2.1 Metodología asociada al Cargo N° 5 sobre el componente suelo	10
3.2.2 Metodología asociada al Cargo N° 5 sobre el componente flora.....	11
3.2.3 Metodología asociada al Cargo N° 5 sobre el componente fauna.....	12
3.3 Metodología asociada al Cargo N° 16.....	12
3.3.1 Metodología asociada al Cargo N° 16 sobre el componente suelo	12
3.3.2 Metodología asociada al Cargo N° 16 sobre el componente flora.....	13
3.3.3 Metodología asociada al Cargo N° 16 sobre el componente fauna.....	13
4. ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LOS HECHO INFRACCIONALES	14
4.1 Cargo N° 4.....	14
4.1.1 Volumen de lamas derramadas que pudieron afectar el componente suelo	14
4.1.2 Volumen de lamas derramadas que pudieron alcanzar el río Ramadillas ...	14
4.1.3 Efectos asociados al Cargo N° 4 sobre el componente suelo	15
4.1.4 Efectos asociados al Cargo N° 4 sobre el componente flora.....	17
4.1.5 Efectos asociados al Cargo N° 4 sobre el componente fauna.....	19
4.1.6 Efectos asociados al Cargo N° 4 sobre el componente agua superficial.....	20
4.2 Cargo N° 5.....	35
4.2.1 Efectos asociados al Cargo N° 5 sobre el componente suelo	35
4.2.2 Efectos asociados al Cargo N° 5 sobre el componente flora.....	36
4.2.3 Efectos asociados al Cargo N° 5 sobre el componente fauna.....	43
4.3 Cargo N° 16.....	43

4.3.1	Efectos asociados al Cargo N° 16 sobre el componente suelo	43
4.3.2	Efectos asociados al Cargo N° 16 sobre el componente flora.....	45
4.3.3	Efectos asociados al Cargo N° 16 sobre el componente fauna.....	45
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
6.	REFERENCIAS	50
7.	APÉNDICES.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1: Laderas con manchas grises	11
Figura 4-1: Fondo de quebrada limpio Quebrada Variante 2, terreno MP	15
Figura 4-2: Registro de pH - agosto de 2014 a enero de 2019 en puntos de monitoreo del río Ramadillas y sus afluentes	21
Figura 4-3: Registro de conductividad específica - agosto de 2014 a enero de 2019 en puntos de monitoreo del río Ramadillas y sus afluentes	22
Figura 4-4: Registro de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (mg/L) - agosto de 2014 a enero de 2019.....	23
Figura 4-5: Registro de la concentración de sulfato (mg/L) - agosto de 2014 a enero de 2019	24
Figura 4-6: Localización de las estaciones de monitoreo de calidad de aguas superficiales del proyecto minero Caserones	26
Figura 4-6: pH del en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos	27
Figura 4-7: Conductividad Específica del en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos.....	27
Figura 4-8: Sólidos Disueltos Totales en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos	28
Figura 4-9: Sulfato en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos	28
Figura 4-10: pH medido y límites de calidad para agua potable y agua de riego (20 de marzo de 2018).....	29
Figura 4-11: Conductividad Eléctrica y límites de calidad para agua de riego (20 de marzo de 2018)	32
Figura 4-12: Sólidos Disueltos Totales y límites de calidad para agua potable (20 de marzo de 2018).....	32
Figura 4-13: Sulfato medido y límites de calidad para agua potable y agua de riego (20 de marzo de 2018).....	34
Figura 4-14: Componente suelo afectado por derrames de lamas anteriores al 20 de marzo de 2018.....	36
Figura 4-15: Ubicación de individuos de vegetación en Quebrada Variante 2.....	39
Figura 4-16: Fondo de quebrada limpio tras limpieza del derrame del 20 de marzo de 2018	44

Figura 4-17: Sector limpio en área obra de intercepción IP-A2 44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1: Estimación de volumen de derrame que afectó el componente suelo	14
Tabla 4-2: Análisis estadístico del pH - agosto de 2014 a enero de 2019	21
Tabla 4-3: Análisis estadístico de la Conductividad Específica (μS) - agosto de 2014 a enero de 2019.....	22
Tabla 4-4: Concentración de Sólidos Disueltos Totales (mg/L) de agosto de 2014 a enero de 2019.....	23
Tabla 4-5: Concentración de sulfato (mg/L) - agosto de 2014 a enero de 2019	24
Tabla 4-5: Localización de los puntos de muestreo de aguas superficiales - Coordenadas UTM WGS 84 Huso 19 J	25
Tabla 4-6: Resultados para los parámetros pH, CE, SDT y SO_4 , 20 de marzo de 2018...	29
Tabla 4-7: Individuos en el muestreo de vegetación	38

1. RESUMEN

El Proyecto Caserones, ubicado en la comuna de Tierra Amarilla, Región de Atacama, consiste mayoritariamente en la producción y venta de concentrado de cobre, cátodos de cobre y concentrado de molibdeno a partir de la explotación a rajo abierto, fue aprobado originalmente mediante la Res. Ex. 13/2010 de la entonces COREMA Región de Atacama, y posee otras autorizaciones ambientales tales como la Res. Ex. 57/2014 del SEA Región de Atacama, que autorizó el proyecto “Actualización Mina Caserones”.

El proyecto considera depositar separadamente la fracción gruesa del relave (arenas) y la fracción fina (lamas), siendo estas últimas depositadas en un embalse ubicado en la Quebrada La Brea, previo transporte a través de una quebrada denominada ‘Variante 2’ mediante lamaductos. Dentro de sus permisos ambientales se contempla la posibilidad de filtración o derrame de lamas desde estos ductos, para lo cual existen medidas tanto preventivas como de contingencia, incluyendo obras de captación y envío de las lamas al embalse, y actividades tales como la limpieza del terreno con posterioridad a un derrame.

Sin perjuicio de lo anterior, como consecuencia de dos fiscalizaciones de la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) al proyecto, de octubre de 2015 y marzo de 2018, la autoridad ambiental determinó que existía mérito para la formulación de cargos como consecuencia de un derrame de lamas ocurrido el día 20 de marzo de 2018 en la Quebrada Variante 2 y del cual una parte alcanzó el río Ramadillas, así como de eventos anteriores a esa fecha y cuya ocurrencia podía ser verificada por las deposiciones de lamas sobre partes del suelo y rocas de la misma quebrada. Dicha formulación de cargos ocurrió finalmente en febrero de 2019, mediante la Res. Ex. N°1/Rol D-018-2019, dentro de la cual los cargos N° 4, N° 5 y N° 16 se relacionan con los eventos descritos anteriormente.

Minera Caserones solicitó a Mejores Prácticas, consultora especializada en materias ambientales, que revisara los antecedentes que fundan dicha resolución de la SMA, con el objetivo de analizar y cuantificar los efectos que tuvieron los hechos motivos de la formulación de cargos sobre el medio ambiente y/o la salud de la población.

El presente informe técnico presenta los resultados del análisis de los cargos N° 4, N° 5 y N° 16 de la Res. Ex. N°1/Rol D-018-2019 de la SMA, y entrega recomendaciones para la elaboración de un Programa de Cumplimiento efectivo, y que al mismo tiempo observe los lineamientos establecidos por la autoridad en la Guía para la presentación de Programas de Cumplimiento por infracciones a instrumentos de carácter ambiental.

2. INTRODUCCIÓN

Con fecha 19 de febrero de 2019, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) formuló 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 ambientales asociados a los cargos N° 4, N° 5 y N° 16 de dicha formulación de cargos, a saber:

4. Operación de la obra IP-A2 en forma distinta a la evaluada, en tanto:
 - a.- La compuerta de emergencia de la obra estaba obstruida pero no operativa, sin que pudiera acreditarse el funcionamiento de esta unidad durante la actividad de inspección del año 2015.
 - b.- El canal de hormigón que debía conducir las lamas derramadas a un acueducto que las llevase hacia el depósito de Lamas se encontraba inhabilitado. Por su parte, la obra funcionaba con una tubería, no considerada en el diseño original, que se dirige hacia el depósito de lamas, la que se encontraba obstruida. Lo anterior, fue constatado en marzo de 2018.
5. Falta de limpieza y restauración del terreno afectado por derrames de lamas ocurridos con anterioridad al evento del 20 de marzo de 2018.
16. Cumplimiento parcial de las acciones ordenadas por la Res. Ex. N° 384/2018, de la SMA, por los siguientes hechos:
 - a.- Retraso en la ejecución de la limpieza de la Quebrada Variante 2, ordenada por la Res. Ex. N° 384/2018.
 - b.- No haber capturado y relocalizado a los individuos de herpetofauna y micromamíferos, ordenada por la Res. Ex. N° 384/2018, dentro del plazo establecido al efecto.

El presente informe técnico presenta los resultados del análisis técnico de estos cargos, en especial con el objetivo de analizar y cuantificar los efectos que tuvieron los hechos sobre el medio ambiente y/o la salud de la población, y entregar recomendaciones para la elaboración de un Programa de Cumplimiento que cumpla a cabalidad con los lineamientos establecidos por la autoridad en la Guía para la presentación de Programas de Cumplimiento por infracciones a instrumentos de carácter ambiental.

3. MARCO METODOLÓGICO

A continuación, se presenta la metodología para el análisis técnico de los efectos ambientales asociados a los cargos N° 4, N° 5 y N° 16 de la la Res. Ex. N°1/Rol D-018-2019 de la SMA.

3.1 Metodología asociada al Cargo N° 4

El Cargo N° 4 se relaciona con la operación de la obra IP-A2 en forma distinta a la evaluada, el cual pudo tener efectos sobre los componentes ambientales suelo, flora, fauna y agua superficial. A continuación, se presenta el marco metodológico para cada uno de ellos.

En cuanto a la cantidad total de lamas derramadas, la empresa estimó un volumen de 15 m³, mientras la SMA realizó una estimación más conservadora, llegando a un volumen de 84 m³ de lamas que habrían escurrido por el fondo de la Quebrada Variante 2 hasta la obra IP-A2. Por su parte, el volumen de lamas que habrían ingresado a la obra IP-A2 y, como consecuencia de ello alcanzado el río Ramadillas, es estimado por la empresa en 2 m³, valor ratificado por SERNAGEOMIN en su Acta de Inspección del 21 de marzo de 2018 (Adjunta en Apéndice E). Por su parte, la SMA utiliza una metodología más conservadora y estima un volumen entre los 19 m³ y los 38 m³. Por lo tanto, resulta de interés realizar un cálculo independiente de ambos volúmenes, en base a la información disponible.

Para todos los componentes ambientales la metodología incluyó la revisión de la totalidad de la información técnica disponible sobre los eventos, así como las observaciones de primera fuente realizadas por el equipo de Mejores Prácticas durante una visita al sector donde ocurrió el derrame de lamas el día 20 de marzo de 2018, hasta el punto donde estas lamas alcanzaron el río Ramadillas, realizada el día 31 de enero de 2019. Tanto el recorrido (track) como los hitos importantes fueron identificados y georreferenciados mediante un equipo de posicionamiento satelital (GPS) (adjunto en Apéndice A).

3.1.1 Metodología asociada al Cargo N° 4 sobre el volumen de lamas derramadas

Del volumen total de lamas derramadas, una parte tuvo la potencialidad de afectar el suelo, mientras que otra parte tuvo la potencialidad de afectar el agua superficial al ingresar por una ranura de la obra IPA2. Por las características y potenciales efectos de estos volúmenes, cada uno se calcula de manera independiente, mediante metodologías *ad hoc*.

El volumen de lamas derramadas desde el lamaducto y que pudieron afectar al componente suelo fue estimado en base a la revisión de la totalidad de imágenes disponibles en el expediente de la SMA, y al conocimiento directo del terreno donde ocurrió el derrame. Las fotografías revisadas fueron asociadas a distintos tramos del área

afectada, en base a su representatividad de dicho tramo, y se estimó el volumen parcial de lamas derramadas en cada tramo estimando el largo del tramo, el ancho representativo del derrame en dicho tramo, y el espesor de lamas representativo de dicho tramo. Posteriormente, el volumen parcial del derrame en dicho tramo o sección fue calculado utilizando la siguiente formula:

Volumen = (largo del tramo) x (ancho representativo del derrame) x (espesor en el tramo)

Es importante señalar, respecto a las dimensiones del derrame, que éste habría alcanzado su máximo espesor (de 4 cm) en el área de ingreso a la obra hidráulica IPA2, por encontrarse en una zona de menor pendiente. Lo anterior debido a las características del terreno y del fluido, especialmente la pendiente y el hecho de que se trata de un fluido no newtoniano. En la estimación de volumen derramado al suelo se consideró un espesor uniforme de 4 cm, por lo que se obtuvo un resultado conservador.

Finalmente, el volumen total de lamas derramadas y que pudieron afectar al componente suelo fue calculado sumando los volúmenes parciales de cada tramo.

El volumen de lamas derramadas que pudo alcanzar el río Ramadillas, por su parte, fue estimado mediante la definición de rangos o límites máximos de caudal que pudieron haber entrado por la Compuerta 1 del IP-A2. Esto se hizo en base a formulaciones teóricas basadas en la geometría, las características del flujo, y en base a las observaciones realizadas a partir de las fotografías disponibles del evento.

En cuanto a la relevancia ambiental de cada uno de estos volúmenes, es posible señalar lo siguiente:

- a) El volumen del derrame que no ingresó al IP-A2 se asocia con un potencial efecto sobre el componente suelo, pero no tiene relación con el componente agua superficial.
- b) Por su parte, el volumen de lamas que pudo alcanzar el río Ramadillas, luego de haber ingresado al IP-A2, se asocia con un potencial efecto sobre el componente agua superficial, pero no tiene relación con el componente suelo.

3.1.2 Metodología asociada al Cargo N° 4 sobre el componente suelo

Se identificó el recorrido que realizó el derrame de lamas, desde la Quebrada Variante 2 hasta el río Ramadillas, incluyendo la cámara IP-A2 y la tubería interceptora de aguas de no contacto. Dicho recorrido fue cuantificado en términos de superficie, y verificado su estado durante la visita de enero de 2019. El Apéndice A presenta fotografías del suelo durante la visita.

El análisis de impactos fue realizado mediante la evaluación de la superficie afectada, y en función de este impacto fue evaluada la efectividad e idoneidad de las medidas de reparación ejecutadas entre marzo de 2018 y enero de 2019.

3.1.3 Metodología asociada al Cargo Nº 4 sobre el componente flora

De las especies de flora que podría haberse afectado directamente por el derrame, solo existe referencia a dos especies, *Ephedra breana* y *Adesmia aphylla*, especies arbustivas mencionadas por la resolución de la SMA.

Sin embargo, en terreno se verificó la ausencia de flora en el área afectada directamente por el derrame de lamas del 20 de enero de 2018 en el sector por donde escurrió éste (fondo de la quebrada, utilizado por el camino vehicular), lo que a su vez es corroborado por la revisión documental de otros informes técnicos en terreno.

Dado que la SMA menciona estas especies y no especifica el sector exacto de la Quebrada Variante 2 donde se ubican, se considera que probablemente dicha afectación haga referencias a individuos de *Ephedra breana* y *Adesmia aphylla* hayan estado ubicadas en las laderas de la Quebrada Variante 2, es decir, hayan sido afectadas por derrames anteriores al ocurrido el 20 de marzo, razón por la cual este efecto será abordado en el cargo 5, componente flora.

3.1.4 Metodología asociada al Cargo Nº 4 sobre el componente fauna

Dada la ausencia de fauna en el terreno afectado por el derrame de lamas, así como consecuencia de la ausencia de flora, no fue necesario realizar una evaluación de efectos o impactos sobre el componente fauna, pues no se verificaron efectos directos o indirectos sobre este componente.

Los potenciales efectos sobre la fauna fueron vinculados por la SMA a los derrames anteriores al ocurridos el 20 de marzo, razón por la cual este efecto será abordado en el cargo 5, componente fauna.

3.1.5 Metodología asociada al Cargo Nº 4 sobre el componente agua superficial

La revisión de la información técnica disponible en el expediente sancionatorio fue complementada por antecedentes disponibles en el sitio web de la DGA sobre la calidad y caudales de los cursos de agua de la cuenca del río Copiapó.

Esta información permitió evaluar el potencial riesgo para la salud de las personas y el medio ambiente, tanto para el abastecimiento de agua para la población como el riesgo para la salud animal de la fauna que bebe agua de este río, o de aquéllos de los cuales es afluente, utilizando la siguiente metodología:

- a) Se realizó una revisión de los antecedentes de calidad de agua reportados por la SMA y de los resultados de las mediciones de los parámetros pH, Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Disueltos Totales (SDT) y sulfato (SO_4). Se realizó una comparación de las concentraciones reportadas en los análisis realizados después

del incidente¹ con los límites establecidos en la NCh 1.333/1978 para el uso agua de riego y con la NCh 409/2005 para agua potable (la que también se utiliza como referencia del agua para la bebida de animales de acuerdo a la NCh 1.333/1978). Estas normas se utilizaron como referencia, debido a que las aguas de la cuenca del río Copiapó no cuentan con Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA).

- b) Se realizó una revisión bibliográfica sobre los efectos negativos a la salud de las personas y la salud animal que se producen en función de la alteración de las concentraciones de los parámetros de interés. Se identificaron valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el agua de consumo para dichos parámetros, con el fin de establecer el potencial riesgo sobre la salud de la población de los parámetros fisicoquímicos del agua que superen las normas de referencia indicadas.
- c) Se revisaron los antecedentes de calidad histórica del agua del río Ramadillas para estos parámetros, desde el inicio de las operaciones del Proyecto Caserones hasta enero de 2019, con el fin de determinar si las concentraciones que superan los límites establecidos de las normas de calidad de agua para riego y agua potable corresponden a concentraciones naturales del río Ramadillas o son producto de intervenciones antrópicas (en este caso el derrame de lamas). Esta información fue obtenida de los registros de monitoreo de calidad de aguas del proyecto Caserones².

3.2 Metodología asociada al Cargo Nº 5

El Cargo Nº 5 se relaciona con la falta de limpieza y restauración del terreno afectado por derrames de lamas ocurridos con anterioridad al evento del 20 de marzo de 2018, hecho que pudo tener efectos sobre los componentes ambientales suelo, flora y fauna. A continuación, se presenta el marco metodológico para cada uno de ellos.

3.2.1 Metodología asociada al Cargo Nº 5 sobre el componente suelo

La existencia de antiguos derrames de lama en las laderas de la Quebrada Variante 2, los cuales se caracterizan por el color gris pálido, distinto a la coloración natural de la quebrada colindante, tienen su origen en fugas antiguas desde el tramo del lamaducto que anteriormente operaba en presión.

¹ Los resultados de los análisis de muestreos de agua realizados durante el 20 y 21 de marzo de 2018 por el Laboratorio Ambiental SGS Chile Ltda. acreditado por el Sistema Nacional de Acreditación del INN, fueron presentados en los informes: ES18-17461, ES18-17462, ES18-17463, ES18-17464, ES18-17713, ES18-17714, ES18-17715, ES18-17716.

² La información de Calidad del agua del río Ramadillas se encuentra en el Anexo V-8 Calidad de Aguas Superficiales y Subterráneas del Capítulo 5 Línea de Base del EIA del Proyecto Caserones.

La afectación de este componente fue cuantificada mediante la geo-referenciación de los sectores afectados utilizando un sistema de posicionamiento satelital GPS durante la visita a terreno del 31.01.2019, complementada con el cálculo de áreas afectadas en base al análisis de la fotografía satelital del sistema Google Earth del 10.08.2018.

Figura 3-1: Laderas con manchas grises



Fuente: Res. Ex. N°384/2018, SMA.

3.2.2 Metodología asociada al Cargo N° 5 sobre el componente flora

En adición a la revisión documental, se realizó una visita a terreno el día 31 de enero del 2019, con la finalidad específica de revisar el estado de la vegetación afectada en la Quebrada Variante 2, y verificar la condición sanitaria de la flora y vegetación presentes en el sector afectado por los derrames anteriores al 20 de marzo de 2018.

En la visita a terreno, se muestrearon 15 especies arbustivas de plantas, que, por su forma de crecimiento, se prevén existían al momento de dichos derrames, además de corroborarse que el suelo donde crecían estaba cubierto por lamas distinguibles por la coloración gris pálido versus la coloración café natural de la tierra limpia.

La selección de las especies se guió por cinco criterios:

1. Sector con derrame de lamas.
2. Accesibilidad para poder medir de forma segura por parte del consultor.
3. Representatividad espacial de los individuos.
4. Representatividad de las especies (individuos de todas las especies arbustivas presentes).
5. Mayor tamaño del individuo.

Los individuos monitoreados se agruparon por sector (A, B, C y D), identificando especie, etapa fenológica (crecimiento vegetativo, floración, fructificación y dispersión de semillas), y coordenada GPS. Finalmente, se tomó una fotografía de cada individuo registrado.

Tabla 1: Tabla usada en el muestreo de vegetación

Id	Especie	Etapas fenológica	Coordenada E (m)	Coordenada S (m)	Obs.

Fuente: elaborado por Mejores Prácticas, 2019.

3.2.3 Metodología asociada al Cargo N° 5 sobre el componente fauna

De manera similar a lo realizado para el componente flora, durante la visita a terreno el día 31 de enero del 2019 se buscaron indicios de la presencia de fauna silvestre en los sectores de la Quebrada Variante 2 afectados por los derrames anteriores al 20 de marzo de 2018 que permitirán inferir su estado sanitario.

Adicionalmente, los efectos sobre este componente ambiental fueron inferidos en función de los efectos sobre el componente flora, dada la dependencia de la fauna sobre dicho componente.

3.3 Metodología asociada al Cargo N° 16

El Cargo N° 16 se relaciona con el retraso en la ejecución de la limpieza de la Quebrada Variante 2, y con no haber capturado y relocalizado oportunamente los individuos de herpetofauna y micromamíferos, el cual tiene su origen en la Resolución Exenta N° 384/2018 de la SMA que ordena medidas provisionales ante el evento del 20 de marzo de 2018 y los hechos constatados en la visita a terreno asociada al derrame.

En dicho documento, se resuelve en la letra f) la limpieza de todo el sitio afectado por el derrame de lamas en la quebrada Variante 2, incluyendo el punto de fuga en el lamaducto ocurrido el 20 de marzo, hasta la obra de captación de agua en la citada Quebrada y sus alrededores con lamas. Dicha limpieza debe considerar no aumentar el grado de afectación sobre el suelo, la flora, vegetación y fauna ya existentes.

Estos hechos pudieron tener efectos sobre los componentes ambientales suelo, flora y fauna. A continuación, se presenta el marco metodológico para cada uno de ellos.

3.3.1 Metodología asociada al Cargo N° 16 sobre el componente suelo

Del componente suelo, en base a información técnica anterior, se constata su afectación por el derrame de lamas del 20 de marzo y derrames anteriores. A partir de la visita a terreno se revisa el estado actual de éste y si el retraso en su limpieza ha implicado algún efecto.

3.3.2 Metodología asociada al Cargo N° 16 sobre el componente flora

Se constata el efecto de derrames sobre especies vegetales en las laderas de la Quebrada Variante 2 producto de derrames anteriores al 20 de marzo del 2018.

El día 31 de enero del 2019 se visita la zona afectada para verificar como el retraso en la limpieza del suelo afectado influyó en el componente flora. Se muestrean 15 individuos de especies arbustivas de plantas, que crecen sobre suelo con cobertura de lamas identificado por su coloración gris pálida y se revisa su estado sanitario.

3.3.3 Metodología asociada al Cargo N° 16 sobre el componente fauna

Se revisa la información técnica disponible. Se evidencia que se efectúa una relocalización de especies de micromamíferos. En el caso de la herpetofauna, no se relocalizó ya que no se encontraron individuos de dichas especies en el área al momento de proceder a la relocalización de fauna.

A partir de la visita del 31 de enero del 2019 y en relación con el estado del componente flora y vegetación, se prevén los posibles efectos del derrame sobre la fauna, y en base a los resultados de campañas anteriores, se diagnóstica cómo pudo ser influenciada por el derrame de lamas del 20 de marzo y de fechas anteriores.

4. ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LOS HECHO INFRACCIONALES

A continuación, se presentan los resultados del análisis técnico de los efectos ambientales asociados a los cargos N° 4, N° 5 y N° 16 de la la Res. Ex. N°1/Rol D-018-2019 de la SMA.

4.1 Cargo N° 4

Tal como se mencionó anteriormente, el Cargo N° 4 se relaciona con la operación de la obra IP-A2 en forma distinta a la evaluada, el cual pudo tener efectos sobre los componentes ambientales suelo, flora, fauna y agua superficial. A continuación, se presentan los resultados del análisis técnico de los efectos ambientales asociados a cada uno de ellos.

4.1.1 Volumen de lamas derramadas que pudieron afectar el componente suelo

En base a la metodología descrita en la Sección 3.1.1, el volumen de lamas que afectó el componente suelo del fondo de la Quebrada Variante 2 fue estimado en aproximadamente 56,2 m³, los cuales se obtienen al sumar los volúmenes parciales de los distintos tramos del camino afectados por el derrame, según se presentan en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1: Estimación de volumen de derrame que afectó el componente suelo

Tramo del derrame	Longitud (m)	Ancho promedio (m)	Espesor (m)	Volumen (m ³)
Tramo 1	260	2,5	0,04	26,0
Tramo 2	150	2	0,04	12,0
Tramo 3	137	2,0	0,04	10,7
Tramo 4	50	3,5	0,04	7,0
Tramo 5	11	2,4	0,02	0,5
Total	608	-	-	56,2

El Apéndice C de este informe técnico presenta la memoria de cálculo completa de esta estimación.

4.1.2 Volumen de lamas derramadas que pudieron alcanzar el río Ramadillas

Las imágenes del remanente del derrame hacen suponer que el volumen total rebalsado fue menor a 1,0 m³, y que gran parte de este fluyó por superficie hacia aguas abajo de la Compuerta 2, siendo este el camino de menor resistencia al flujo. Bajo este supuesto, el flujo hacia el canal de aguas lluvias difícilmente pudo haber superado este valor.

El Apéndice D de este informe técnico presenta la “Minuta Técnica Cálculo de Flujo de Lamas a Través de una Apertura de Minera Caserones”, elaborada por el Ingeniero Civil UC y Master en Ingeniería Hidráulica, Sr. Juan Carlos Domínguez.

4.1.3 Efectos asociados al Cargo N° 4 sobre el componente suelo

La operación de forma distinta a la considerada por el proyecto de la obra IP-A2 podría estar relacionada con el derrame de lamas ocurrido el día 20 de marzo, en particular con el hecho que no siguiera el curso dispuesto para su evacuación en dirección al embalse de La Brea.

La acumulación del derrame en la zona de evacuación previamente considerada ocasionó la afectación del suelo de este sector de manera temporal, ya que posteriormente al derrame, la empresa procedió a la limpieza de este sector, lo que pudo ser corroborado en terreno mediante la visita del 31 de enero del 2019.

De este modo, si bien se calcula que 0,5 ha fueron afectadas por el derrame ocurrido el 20 de marzo, como consecuencia de una operación irregular de la obra IP-A2, el componente suelo a la fecha se encuentra restaurado y sin presencia de lamas, tanto en el sector Quebrada Variante 2 como en el sector de descarga al río Ramadillas, por lo cual dicha infracción, no tendría efectos negativos a la fecha.

Figura 4-1: Fondo de quebrada limpio Quebrada Variante 2, terreno MP



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 4-2: Sector Obra IP-A2 limpia, terreno MP



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 4-3: Suelo sin lamas en cascada del río Ramadilla, terreno MP



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

4.1.4 Efectos asociados al Cargo N° 4 sobre el componente flora

Dado que en el fondo de Quebrada de la Quebrada Variante 2 no se detectan individuos (Figura 4-1) el derrame del día 20 de marzo de 2018 no tuvo efectos sobre el componente flora. Dado que este componente habría sido afectado por derrames anteriores se el análisis vinculado a su afectación se efectúa en relación al cargo 5.

En el caso de la flora y vegetación ubicada a lo largo del río Ramadillas, que pudo verse afectada por la operación de la obra IP—A2, se observa en terreno que tanto en el sector de descarga al río Ramadillas, como 100 metros arriba y 100 metros debajo de este punto, la vegetación se encuentra desarrollándose de forma natural, mostrando un estado vigoroso y follaje verde. Este impacto indirecto de la calidad del agua sobre la flora ribereña se analiza en mayor profundidad en la Sección 4.1.4

Figura 4-4: Vegetación en buen estado sector descarga río Ramadilla, terreno MP



Fuente: Mejores Prácticas, 2019

Figura 4-5: Vegetación en buen estado 100 metros arriba río Ramadilla



Fuente: Mejores Prácticas, 2019

Figura 4-6: Vegetación en buen estado 100 metros abajo río Ramadilla



Fuente: Mejores Prácticas, 2019

4.1.5 Efectos asociados al Cargo N° 4 sobre el componente fauna

En cuanto al componente fauna, la operación de la obra IP-A2 no afectó en el corto plazo a la fauna. Esto se ve reflejado en que los resultados de la relocación de especies de micromamíferos demostraron que la muestra de la población recapturada tenía una buena proporción sexo y estructura, lo que refleja una población sana proveniente de la Quebrada Variante 2, que además, fue exitosamente relocada.

En efecto, de la revisión de información técnica anterior se puede indicar lo siguiente:

- Se registran ejemplares juveniles del lagarto *Liolaemus juanortizi* y huellas de vizcachas (*Lagidium viscacia*). Dado que la vegetación forma parte del nicho trófico de esta fauna y con el propósito de evitar la posible afectación de vertebrados de baja movilidad se recomendó ejecutar un plan de rescate y relocación de reptiles. Para el caso de la vizcacha, solo se recomienda la adopción de medidas que produzcan su alejamiento de la quebrada afectada y su relocación, dada su talla mediana a grande.
 - Durante el rescate y relocación de fauna, la ausencia de reptiles impide verificar el efecto del derrame de lama en ejemplares que habitan esta área, por lo que además no se puede realizar el rescate de ejemplares que se presume fueron afectados por el derrame.
 - El Índice de Éxito de Captura (IEC) para micromamíferos es un valor alto, por lo que se considera exitoso y cumple con el compromiso adquirido por la Res. Ex. N°384/2018 de la SMA.
 - La proporción sexo y estructura de la edad de los ejemplares capturados (similar a 1:1) indican una muestra saludable de la población que habita el área de rescate.

Asimismo, si bien durante la visita a terreno el 31 de enero del 2019 al sector Quebrada Variante 2 no se observaron especies animales, el estado saludable de la vegetación en las laderas permite inferir que estos individuos no vieron afectado su ambiente. Por otra parte, las características del suelo y la vegetación en el curso del río Ramadillas permite inferir que así mismo, las especies animales no vieron afectadas su fuente de alimento. Inclusive, durante la visita a terreno del 31 de enero del 2019 se detectaron fecas de animal en el curso del río Ramadillas que podría ser atribuibles a una especie de zorro.

Aún así, y dado que los efectos a largo plazo de este tipo de sucesos son poco previsibles, se recomienda un monitoreo de fauna enfocado a reptiles y vizcachas para evaluar la evolución de las poblaciones de estas especies, en el sector.

Figura 4-7: Fecas de fauna en sector descarga del río Ramadilla.



Fuente: Mejores Prácticas, 2019

4.1.6 Efectos asociados al Cargo N° 4 sobre el componente agua superficial

4.1.6.1 Calidad histórica del agua del río Ramadillas

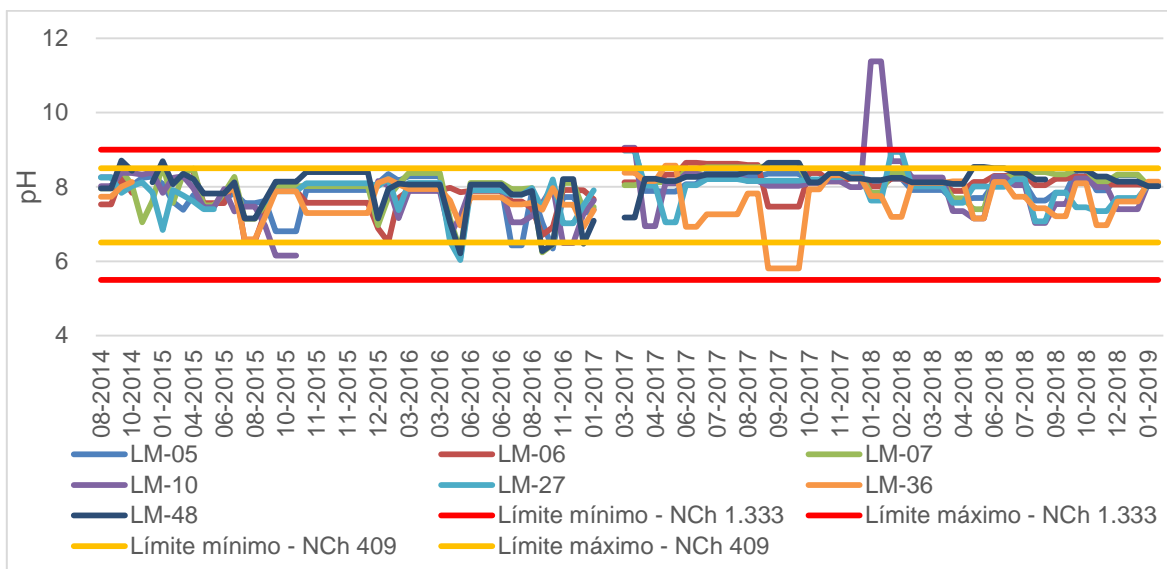
La calidad base o natural del río Ramadillas y sus afluentes se monitorea desde el año 2004 (Línea de Base del Proyecto Caserones aprobado por RCA 013/2010 del Servicio de Evaluación Ambiental de la Región de Atacama). No obstante, el 30 de julio de 2014 se inauguró oficialmente la operación del yacimiento del Proyecto³ y desde entonces se realiza un monitoreo permanente de las aguas superficiales y subterráneas de su área de influencia.

En esta sección se realiza una revisión los datos de calidad de agua para las estaciones evaluadas luego del derrame de lamas LM-5, LM-6, LM-7, LM-10, LM-27, LM-36 y LM-48.

Los rangos históricos para los parámetros pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT) y sulfato (SO_4) consideran una validación mediante la supresión de valores atípicos, en este caso corresponden a valores que se apartan del promedio en una cantidad mayor a cuatro desviaciones estándar. Las figuras y tablas a continuación presentan los registros mensuales de las concentraciones para los parámetros de calidad de aguas superficiales en los puntos de monitoreo del río Ramadillas y sus afluentes señalados anteriormente.

³ www.caserones.cl

Figura 4-2: Registro de pH - agosto de 2014 a enero de 2019 en puntos de monitoreo del río Ramadillas y sus afluentes

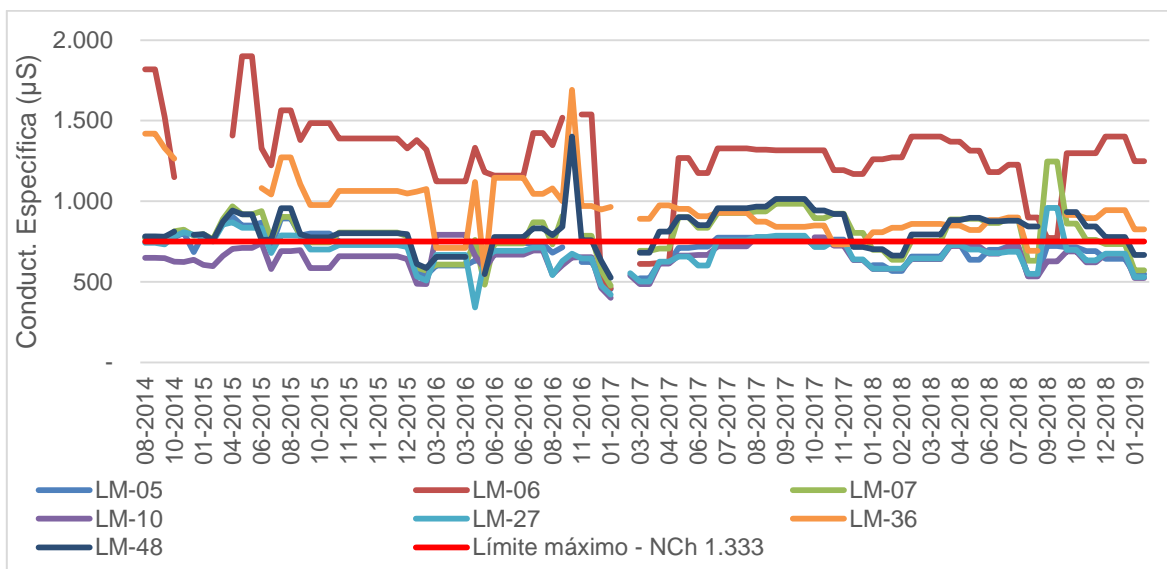


En promedio un 6% de los registros de pH supera los límites de la NCh 1.333/1978 para agua de riego y un 63% de los valores supera los límites de la NCh 409/2005 para agua potable.

Tabla 4-2: Análisis estadístico del pH - agosto de 2014 a enero de 2019

Punto de Monitoreo	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación Típica	Observaciones validadas	Valores que superan los límites de agua de riego	Valores que superan los límites de agua potable
LM-05	7,9	6,1	9,0	0,5	100	2%	6%
LM-06	7,9	6,5	8,7	0,5	97	0%	8%
LM-07	8,0	6,2	8,6	0,5	102	0%	14%
LM-10	7,9	6,2	11,4	0,8	95	4%	12%
LM-27	7,9	6,0	9,0	0,5	99	0%	5%
LM-36	7,6	5,8	8,6	0,6	94	0%	6%
LM-48	8,1	6,2	8,7	0,5	99	0%	12%
Supera límites de agua potable (NCh 409/2005)							
Supera límites de agua de riego (NCh 1.333/1978)							

Figura 4-3: Registro de conductividad específica - agosto de 2014 a enero de 2019 en puntos de monitoreo del río Ramadillas y sus afluentes

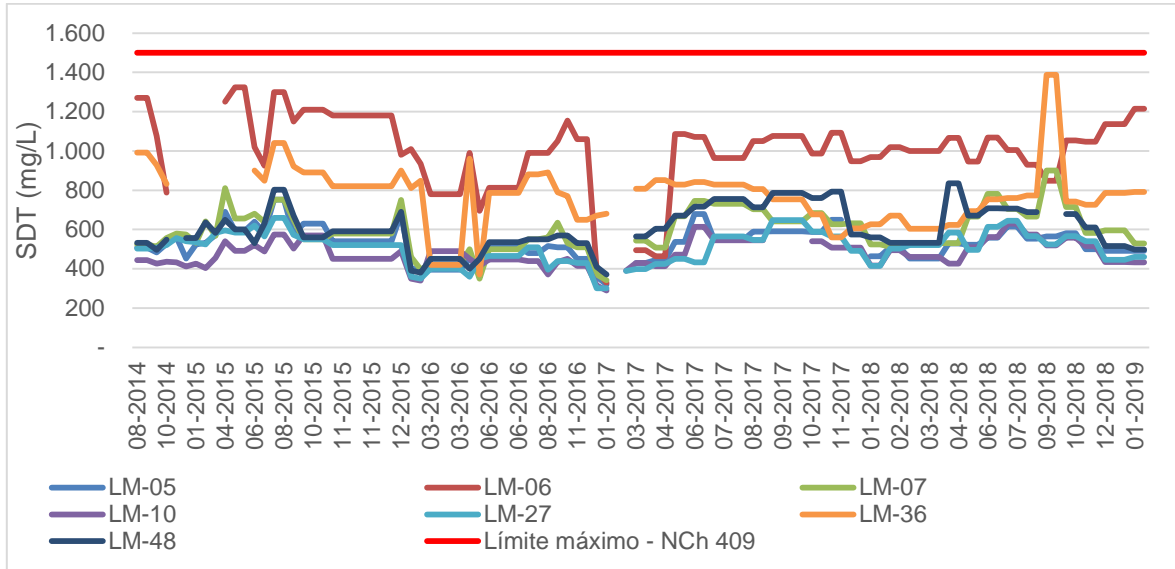


En promedio un 56% de los registros de CE supera los límites de la NCh 1.333/1978 para agua de riego.

Tabla 4-3: Análisis estadístico de la Conductividad Específica (µS) - agosto de 2014 a enero de 2019

Punto de monitoreo	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación Típica	Observaciones validadas	Valores que superan los límites de agua de riego
LM-05	704	454	904	92	29	29%
LM-06	1.273	460	1.901	256	90	94%
LM-07	800	475	1.246	131	69	68%
LM-10	649	401	791	77	8	8%
LM-27	687	341	958	101	26	25%
LM-36	956	548	1.691	180	82	88%
LM-48	819	525	1.401	122	79	81%
Supera límites de agua de riego (NCh 1.333/1978)						

Figura 4-4: Registro de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (mg/L) - agosto de 2014 a enero de 2019

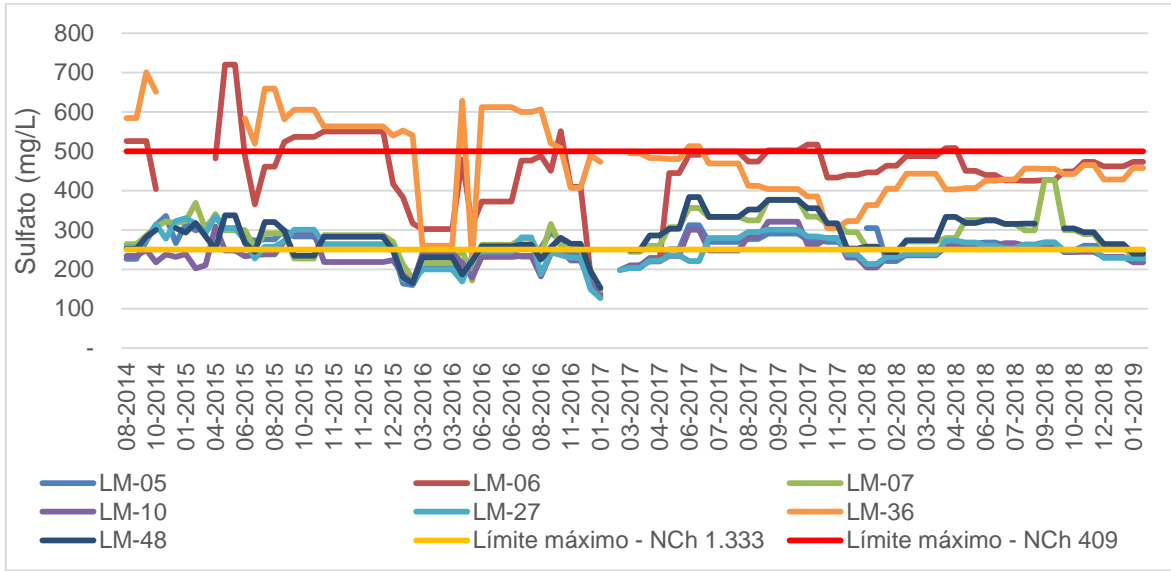


Ninguno de los registros de SDT supera los límites de NCh 409/2005 para agua potable.

Tabla 4-4: Concentración de Sólidos Disueltos Totales (mg/L) de agosto de 2014 a enero de 2019

Punto de Monitoreo	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Observaciones validadas	Valores que superan los límites de agua potable
LM-05	530	320	752	80	100	0%
LM-06	1.002	328	1.324	196	97	0%
LM-07	597	341	900	108	102	0%
LM-10	478	290	630	66	99	0%
LM-27	509	300	660	80	103	0%
LM-36	775	370	1.388	160	95	0%
LM-48	606	370	835	110	99	0%
Supera límites de agua potable (NCh 409/2005)						

Figura 4-5: Registro de la concentración de sulfato (mg/L) - agosto de 2014 a enero de 2019



En promedio un 71% de los registros de SO_4 supera los límites de la NCh 1.333/1978 para agua de riego y un 9% de los valores supera los límites de la NCh 409/2005 para agua potable.

Tabla 4-5: Concentración de sulfato (mg/L) - agosto de 2014 a enero de 2019

Punto de Monitoreo	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Observaciones validadas	Valores que superan los límites de agua potable	Valores que superan los límites de agua de riego
LM-05	256	138	335	35	100	0%	66%
LM-06	450	135	720	96	97	26%	94%
LM-07	286	147	427	49	102	0%	80%
LM-10	241	130	321	33	103	0%	28%
LM-27	253	127	334	38	103	0%	55%
LM-36	476	224	700	101	95	37%	99%
LM-48	284	153	384	47	99	0%	78%
Supera límites de agua potable (NCh 409/2005)							
Supera límites de agua de riego (NCh 1.333/1978)							

4.1.6.2 Calidad del agua superficial durante el evento del 20 de marzo de 2018

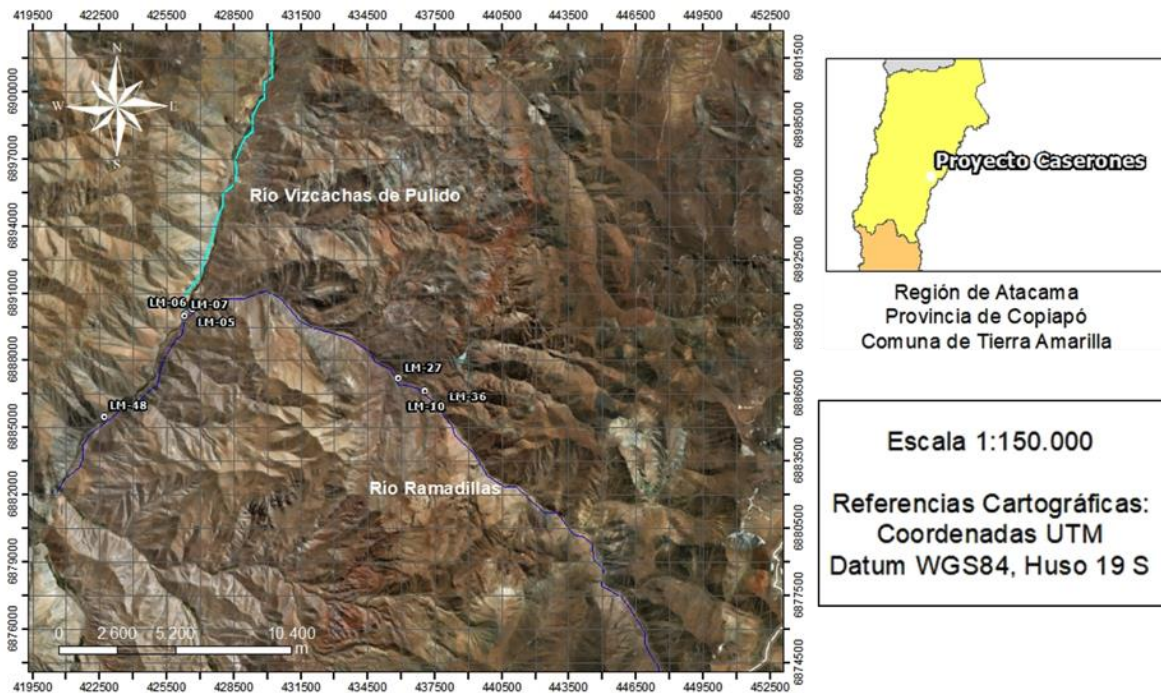
El día 20 de marzo, de manera inmediatamente posterior al derrame de lamas ocurrido en la Quebrada Variante 2 de la faena de minera Caserones, se realizaron muestreos de aguas en 9 puntos de monitoreo ubicados en las proximidades del lugar en el que ocurrió el derrame. La Tabla 4-2 presenta las estaciones en las que se realizaron los muestreos.

**Tabla 4-6: Localización de los puntos de muestreo de aguas superficiales -
Coordenadas UTM WGS 84 Huso 19 J**

Código de Identificación	Sector del Muestreo	Coordenada E (m)	Coordenada S (m)
LM-05	Río Ramadillas aguas arriba confluencia río Pulido	426.647	6.890.313
LM-06	Río Pulido aguas arriba río Ramadillas	426.361	6.890.101
LM-07	Río Pulido aguas abajo confluencia río Ramadillas	426.314	6.890.014
LM-10	Río Ramadillas aguas arriba confluencia Quebrada La Brea	437.079	6.886.640
LM-27	Río Ramadillas aguas abajo confluencia Quebrada La Brea	435.879	6.887.206
LM-36	Depósito de Lamas	437.871	6.885.889
LM-48	Río Pulido aguas arriba Puente Nuevo Carrizalillo	422.702	6.885.508

La Figura 4-1 presenta la localización geográfica de las estaciones de monitoreo de calidad de aguas superficiales, consideradas en este informe.

Figura 4-6: Localización de las estaciones de monitoreo de calidad de aguas superficiales del proyecto minero Caserones



Respecto a las mediciones realizadas in situ en los puntos de monitoreo del río Ramadillas y sus afluentes el día 20 de marzo de 2018, los resultados del análisis estadístico permiten determinar que ninguno de los valores registrados inmediatamente posterior al derrame de lamas en el río Ramadillas corresponde a un valor atípico.

Las figuras a continuación presentan los resultados de las mediciones realizadas el día 20 de marzo de 2018, los rangos naturales en los que varían las concentraciones de los distintos parámetros y el promedio histórico para el periodo agosto de 2014 a enero de 2019. De estos parámetros, sólo el pH presenta valores fuera de rango para el punto de monitoreo LM-10.

Figura 4-7: pH del en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos

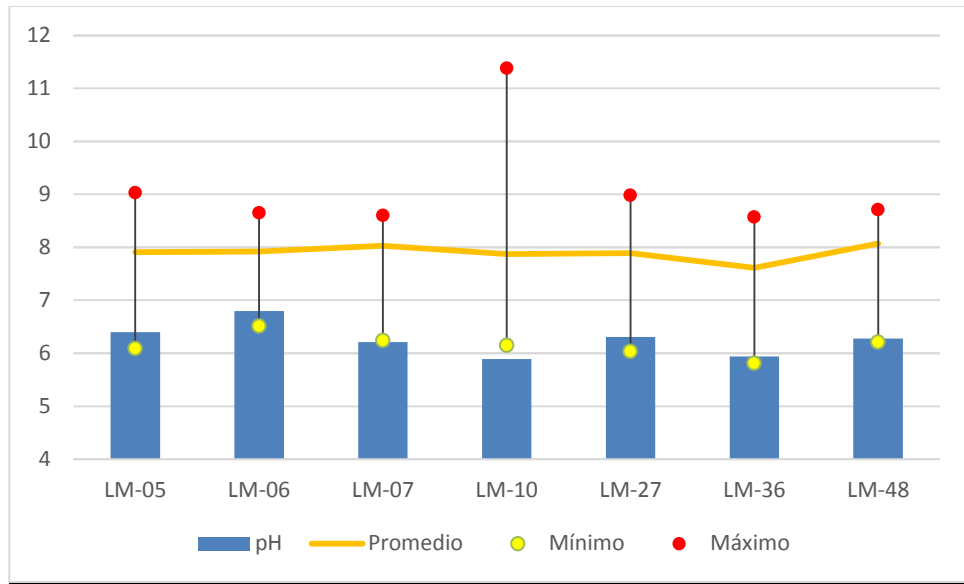


Figura 4-8: Conductividad Específica del en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos

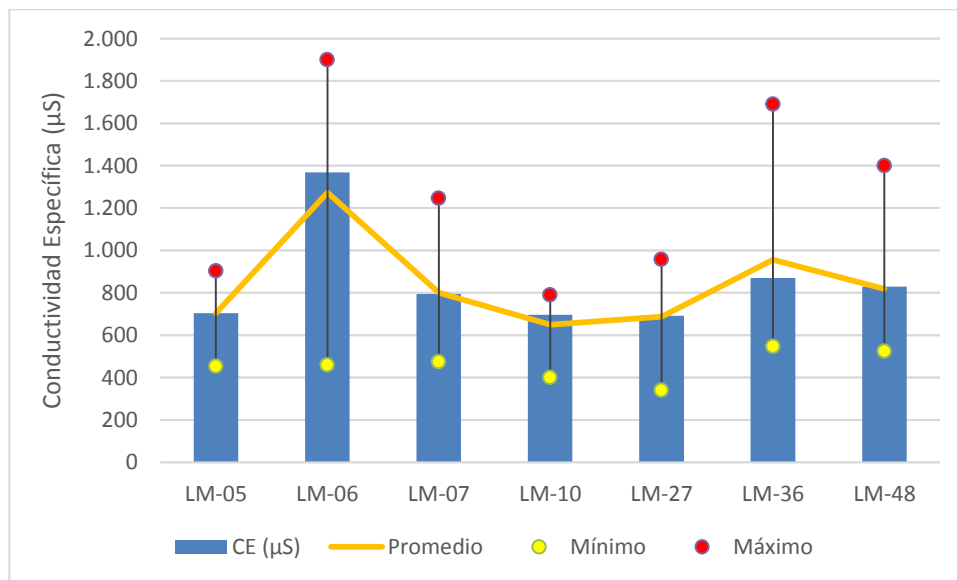


Figura 4-9: Sólidos Disueltos Totales en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos

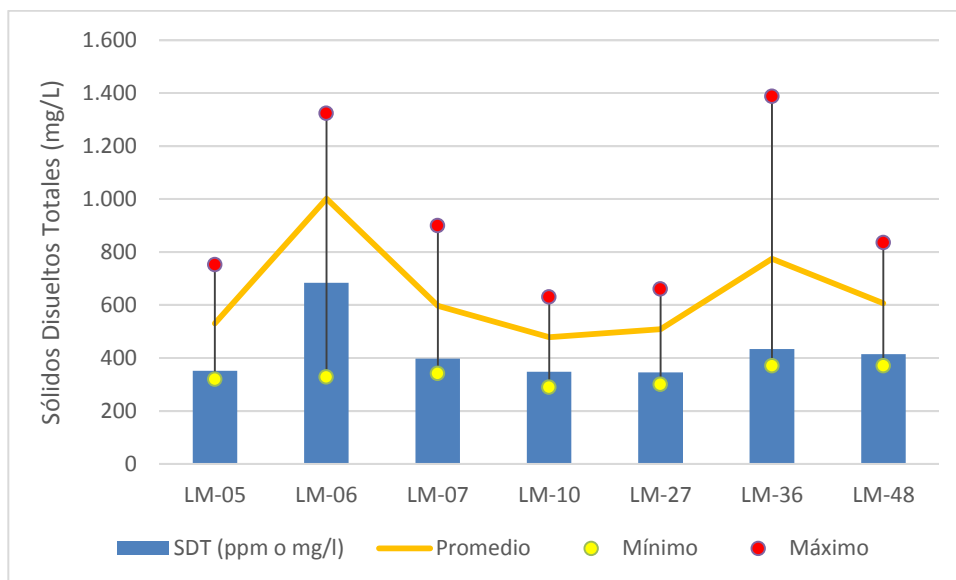
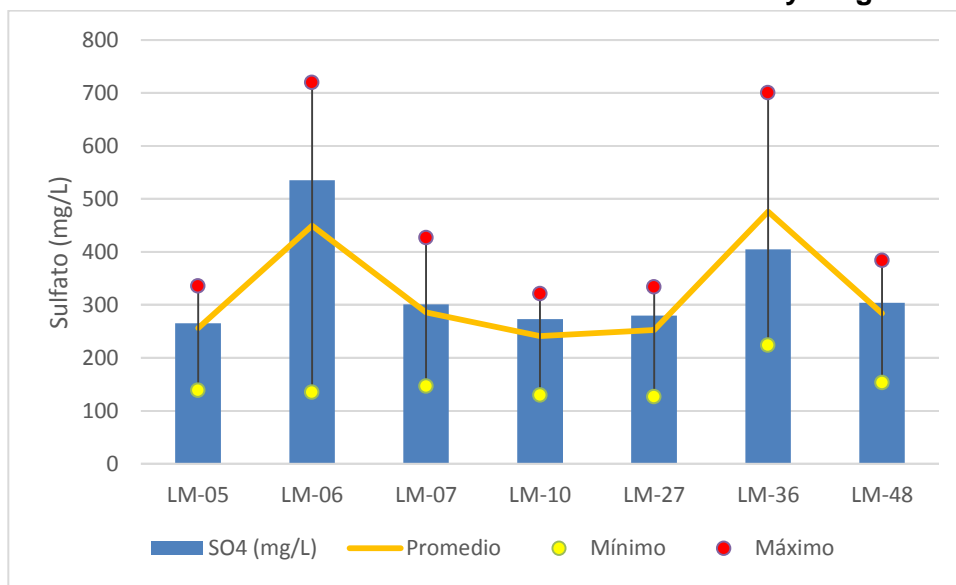


Figura 4-10: Sulfato en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos



De acuerdo a las mediciones y los resultados de los análisis realizados a las muestras tomadas por SGS el día 20 de marzo de 2018, se constataron las concentraciones que se para los parámetros pH, CE, SDT y SO₄ que se presenta en la Tabla 4-6.

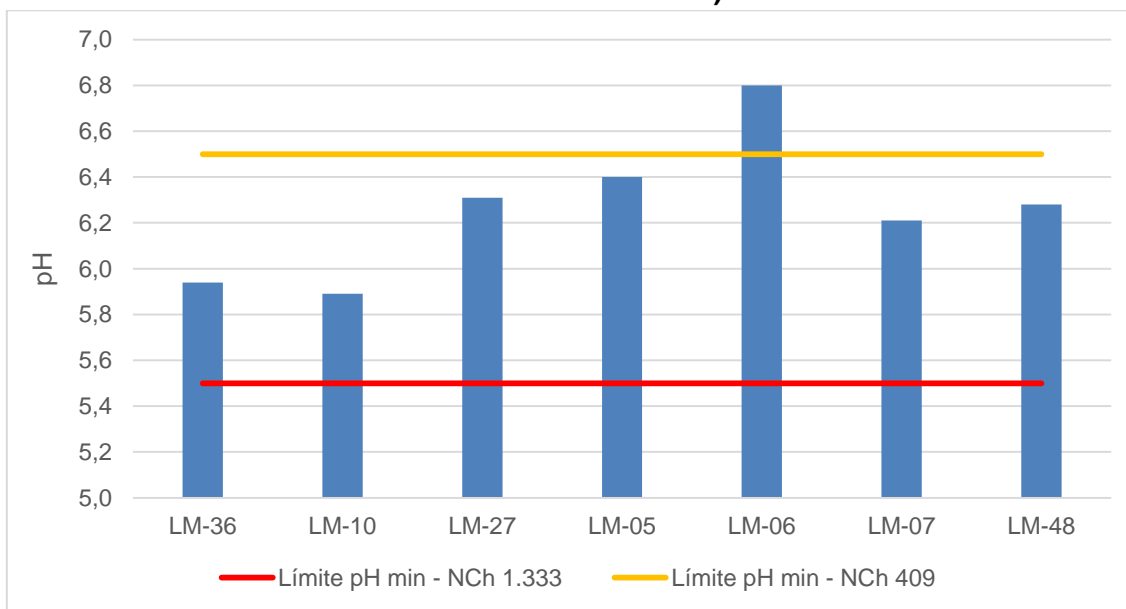
Tabla 4-7: Resultados para los parámetros pH, CE, SDT y SO₄, 20 de marzo de 2018

Estación de Monitoreo	Hora	pH	CE (μS)	SDT (mg/l)	SO ₄ (mg/L)
LM-36	19:56	5,9	870	434	405
LM-10	19:43	5,9	696	348	273
LM-27	19:32	6,3	691	346	280
LM-05	19:20	6,4	704	352	265
LM-06	18:46	6,8	1.368	684	535
LM-07	18:52	6,2	795	398	301
LM-48	18:22	6,3	829	415	304

4.1.6.3 Efectos negativos a la salud asociados al nivel de pH en el agua

La Figura 4-10 presenta las mediciones de pH realizadas el día 20 de marzo de 2018 y los límites inferiores de pH que establecen las normas de agua potable (NCh 409/2005) y la norma de agua de riego (NCh 1.333/1978). El límite para agua potable se supera en todos los puntos de monitoreo, con excepción del punto LM-06. No obstante, todos los puntos de monitoreo cumplen con el límite inferior para el agua de riego.

Figura 4-11: pH medido y límites de calidad para agua potable y agua de riego (20 de marzo de 2018)



El pH del agua es una medida de equilibrio ácido-base y en la mayoría de las aguas “naturales” es se asocia principalmente al contenido de dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato. Un incremento de la concentración de dióxido de carbono disminuirá los niveles de pH, mientras una disminución producirá un incremento.

Las guías para la Calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS)⁴, no proponen ningún valor de referencia para este parámetro basado en efectos sobre la salud. En la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, se estableció como valor de referencia para el pH un intervalo de 6,5 a 8,5, basado en consideraciones relativas a las características organolépticas del agua. Se señaló que el intervalo aceptable de pH podría ser más amplio en ausencia de un sistema de distribución. En las Guías de 1993 no se propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH.

La referencia principal que se utiliza para regular este parámetro es la guía “*pH in drinking-water*” (OMS, 2003). Este es un documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable⁵.

El pH del agua que ingresa en los sistemas de distribución debe controlarse para reducir al mínimo la corrosión de las tuberías en las instalaciones domésticas, mientras menor es el valor del pH, más alto es el nivel de corrosión. Sin embargo, el pH es uno de una variedad de factores que afecta la corrosión.

Pueden producirse valores de pH extremos como consecuencia de vertidos accidentales, averías de las instalaciones de tratamiento, y del revestimiento de tuberías con mortero de cemento poco curado o la aplicación del revestimiento cuando la alcalinidad del agua es baja. No se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH.

No siempre es posible lograr ajustar todos los parámetros a los valores deseados. Por ejemplo, el pH de las aguas duras no puede aumentarse demasiado, ya que la dureza disminuiría. La aplicación de cal y dióxido de carbono a aguas blandas puede servir para aumentar tanto la concentración de calcio como la alcalinidad hasta al menos 40 mg/l de carbonato cálcico.

La exposición a valores extremos de pH causa irritación a los ojos, la piel y las membranas mucosas. La irritación y exacerbación de los desórdenes de la piel han sido asociadas a valores de pH mayores a 11. En adición, se ha reportado que soluciones de pH 10-12,5 causan inflamación de fibras capilares. En individuos sensibles, también puede ocurrir irritación gastrointestinal⁶. La exposición a bajos valores de pH también puede resultar en efectos similares. Bajo pH 4, se ha reportado enrojecimiento e irritación de los ojos. La severidad se incrementa a valores menores. Bajo pH 2,5 el daño al epitelio es extensivo e irreversible⁶.

⁴ Volumen 1: Recomendaciones. Tercera Edición.

⁵ Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/12).

Conclusiones: Los datos del monitoreo de calidad de agua realizado el día 20 de enero permiten dar cuenta de un efecto del derrame de lamas sobre el parámetro pH de las aguas superficiales, acotado tanto temporalmente (día 20 de marzo) como geográficamente (sólo en las estaciones LM-10 y LM-36). Este efecto fue verificado al registrarse un valor de pH de 5,9 en dichas estaciones, el día 20 de marzo a las 19:43 y 19:56 horas, respectivamente.

Sin perjuicio de lo anterior, dichos valores de pH no constituyeron un riesgo para la salud pública, ni para la salud animal o vegetal, por cuanto los niveles pH registrados el 20 de marzo de 2018 en las aguas del río Ramadillas (entre 5,9 y 6,8), se encuentran dentro de los rangos seguros para el agua potable y por dentro de los rangos permitidos por la norma de riego.

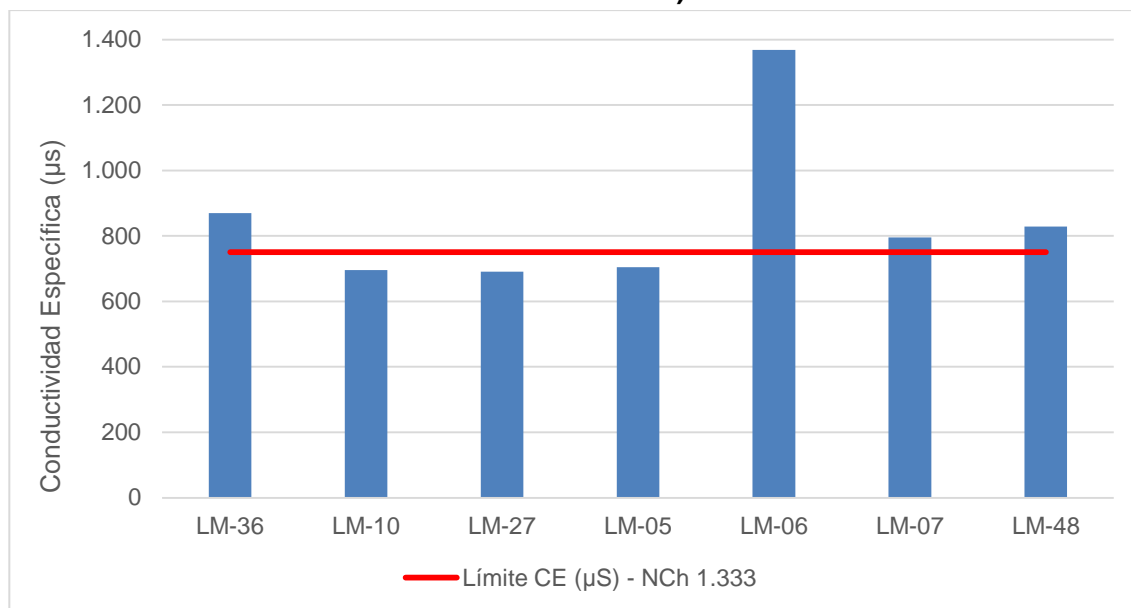
4.1.6.4 Efectos negativos a la salud de los Sólidos Disueltos Totales y Conductividad Eléctrica

La Conductividad Eléctrica (CE) de una solución es una medida de su capacidad para conducir la electricidad y está directamente vinculada a la cantidad de Sólidos Disueltos Totales (SDT), por lo que existe una correlación entre estos dos parámetros, ya que representan dos maneras de medir el contenido iónico del agua.

La Figura 4-12 presenta las mediciones *in situ* del parámetro Conductividad Eléctrica (CE) del día 20 de marzo de 2018 y el límite máximo para este parámetro que establece la norma de agua de riego (NCh 1.333/1978). El límite se supera en los puntos de monitoreo LM-36, LM-06, LM-07 y LM-48.

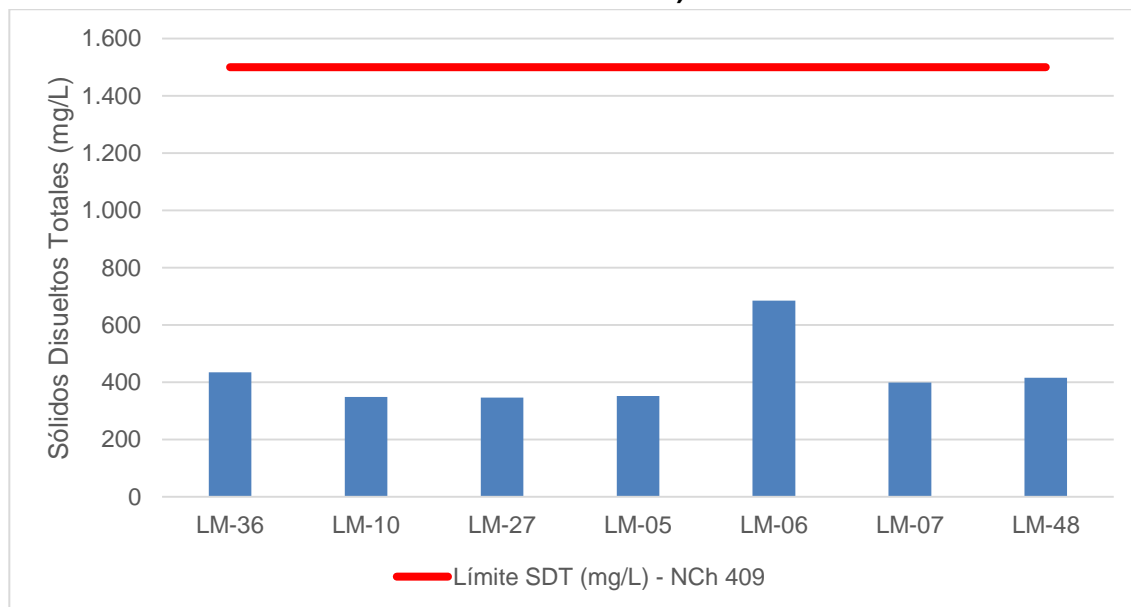
No obstante, como se expuso en la Figura 4-7, los valores medidos durante el 20 de marzo de 2018 se encuentran en el rango de los promedios históricos para este parámetro en todos los puntos de monitoreo. El mayor valor de CE se obtuvo en el punto de monitoreo LM-06, el que presenta mayores niveles de CE de manera natural. Es importante destacar que, al igual que en el caso del sulfato, este punto no pudo ser afectado por el derrame de lamas por encontrarse en el río Vizcachas de Pulido aguas arriba de la confluencia con el río Ramadillas, por lo anterior se considera que no se afecta la flora ni la vegetación, ni tampoco la actividad agrícola, debido a que no se afectó la calidad basal del agua.

Figura 4-12: Conductividad Eléctrica y límites de calidad para agua de riego (20 de marzo de 2018)



La Figura 4-13 presenta las mediciones in situ del parámetro Sólidos Disueltos Totales (SDT) del día 20 de marzo de 2018 y el límite máximo para este parámetro que establece la norma de agua potable (NCh 409/2005). El límite no se supera en ningún punto de monitoreo.

Figura 4-13: Sólidos Disueltos Totales y límites de calidad para agua potable (20 de marzo de 2018)



Los SDT comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Los SDT presentes en el agua de consumo proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. Debido a las diferentes solubilidades de diferentes minerales, las concentraciones de SDT en el agua varían considerablemente de unas zonas geológicas a otras.

Los parámetros conductividad eléctrica y Sólidos Disueltos Totales (SDT) se presentan en el agua de consumo en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos tóxicos.

No se dispone de datos fiables sobre posibles efectos para la salud asociados a la ingestión de SDT presentes en el agua de consumo y no se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud. No obstante, la presencia de concentraciones altas de SDT en el agua de consumo puede resultar desagradable para los consumidores

Las Normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958 sugirieron que concentraciones de sólidos totales superiores a 1.500 mg/l afectarían notablemente a la potabilidad del agua. Las Normas internacionales de 1963 y 1971 mantuvieron este valor como concentración máxima admisible o permisible. En la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, se estableció un valor de referencia de 1.000 mg/l para los SDT, basado en consideraciones gustativas. En las Guías de 1993 no se propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para los SDT, ya que no se disponía de datos fiables sobre posibles efectos sobre la salud asociados a la ingestión de SDT en el agua de consumo. No obstante, la presencia de concentraciones altas de SDT en el agua de consumo (superiores a 1.200 mg/l) puede resultar desagradable para los consumidores. El agua con concentraciones muy bajas de SDT también puede ser inaceptable debido a su falta de sabor.

Conclusiones: las altas (o bajas) concentraciones de SDT pueden afectar a la aceptabilidad del agua potable, deteriorando su sabor. Actualmente las guías OMS no proponen ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud.

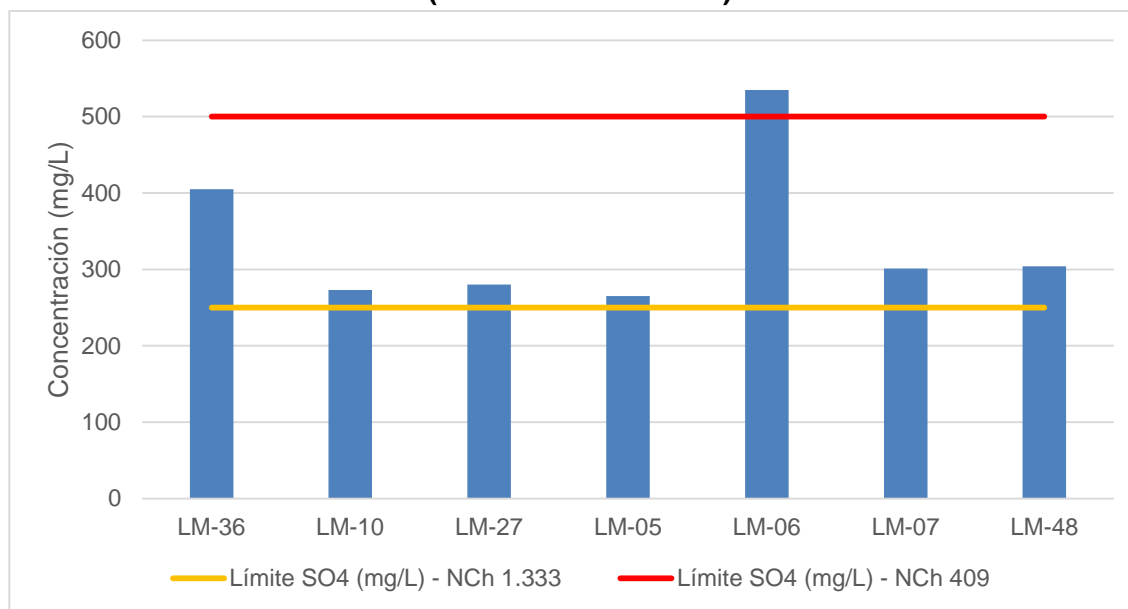
Adicionalmente, estos valores se ubicaron, el día 20 de marzo de 2018, dentro de los niveles históricos para los cursos de agua superficial, por lo que no se observó un efecto del derrame de lamas sobre este parámetro.

Por lo anterior, se descarta la generación de un riesgo para la salud humana o animal a partir de las concentraciones de SDT y los valores de CE medidos el 20 de marzo de 2018 en el río Ramadillas y sus afluentes.

4.1.6.5 Efectos negativos a la salud del Sulfato

La Figura 4-11 presenta los resultados del análisis para el parámetro sulfato sobre las muestras tomadas el día 20 de marzo de 2018 y los límites máximos para este parámetro que establecen las normas de agua potable (NCh 409/2005) y la norma de agua de riego (NCh 1.333/1978). El límite para agua de riego se supera en todos los puntos de monitoreo, no obstante, como se expuso en la Figura 4-9 los valores medidos durante el 20 de marzo de 2018 se encuentran muy próximos a los promedios históricos para este parámetro en todos los puntos de monitoreo. El límite para agua potable se supera en el punto de monitoreo LM-06, el que presenta mayores concentraciones de sulfato de manera natural. Es importante destacar que este punto no pudo ser afectado por el derrame de lamas por encontrarse en el río Vizcachas de Pulido aguas arriba de la confluencia con el río Ramadillas.

Figura 4-14: Sulfato medido y límites de calidad para agua potable y agua de riego (20 de marzo de 2018)



Normalmente el sulfato se encuentra presente en el agua de manera natural. En las aguas de consumo humano, normalmente se encuentra en concentraciones mucho menores que las que producen efectos tóxicos. No obstante, puede afectar a la aceptabilidad del agua potable.

La presencia de sulfato en el agua de consumo puede generar un sabor apreciable y en niveles muy altos provocar un efecto laxante en consumidores no habituados. El deterioro del sabor varía en función de la naturaleza del catión asociado. Se han determinado umbrales gustativos que van de 250 mg/l, para el sulfato de sodio, a 1.000 mg/l, para el sulfato de calcio. Por lo general, se considera que el deterioro del sabor es mínimo cuando la concentración es menor que 250 mg/l.

En general, la ingesta diaria media de sulfato procedente del agua de consumo, el aire y los alimentos es de aproximadamente 500 mg, siendo los alimentos la principal fuente. Sin embargo, en regiones cuyas aguas de consumo contienen concentraciones altas de sulfato, el agua de consumo puede ser la principal fuente de ingesta.

Las guías OMS no proponen ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el sulfato. No obstante, debido a los efectos gastrointestinales de la ingestión de agua de consumo con concentraciones altas de sulfato, se recomienda notificar a las autoridades de salud las fuentes de agua de consumo en las que las concentraciones de sulfato sobrepasen los 500 mg/l. La presencia de sulfato en el agua de consumo también puede producir un sabor apreciable y contribuir a la corrosión de los sistemas de distribución.

Conclusiones: el sulfato puede afectar a la aceptabilidad del agua potable, deteriorando su sabor. Además, en usuarios no habituados puede generar un efecto laxante. Actualmente, no se ha determinado una concentración de sulfato que produzca efectos adversos para la salud de las personas. Por lo anterior, los valores de referencia para el sulfato no se basan en criterios de salud pública, sino que en criterios organolépticos.

Adicionalmente, las concentraciones de sulfato que se registraron durante el derrame de lamas no afectan la calidad del agua superficial que pudiese entrar en contacto con flora y/o vegetación, ni tampoco la actividad agrícola, debido a que no se afectó la calidad basal de los cuerpos de agua, manteniéndose dentro del rango histórico para este parámetro.

Por lo anterior se determina que no existió un riesgo para la salud pública ni animal a partir de los niveles sulfato registrados el 20 de marzo de 2018 en las aguas del río Ramadillas.

4.2 Cargo N° 5

Tal como se mencionó anteriormente, el Cargo N° 5 se relaciona con la falta de limpieza y restauración del terreno afectado por derrames de lamas ocurridos con anterioridad al evento del 20 de marzo de 2018, hecho que pudo tener efectos sobre los componentes ambientales suelo, flora y fauna. A continuación se presentan los resultados del análisis técnico de los efectos ambientales asociados a cada uno de ellos.

4.2.1 Efectos asociados al Cargo N° 5 sobre el componente suelo

Se evidencia la afectación de al menos cinco sectores de la Quebrada Variante 2 afectadas por derrames anteriores al 20 de marzo del 2018, las cuales suman una superficie aproximada de 1,8 hectárea (ver Figura 4-15). La visita a terreno permitió constatar la falta de limpieza del componente suelo en dichas quebradas por lo que la afectación de este componente se mantiene hasta el tiempo presente.

Figura 4-15: Componente suelo afectado por derrames de lamas anteriores al 20 de marzo de 2018



Fuente: Mejores Prácticas, 2019 en base a fotografía satelital de Google Earth

4.2.2 Efectos asociados al Cargo N° 5 sobre el componente flora

Mediante informes técnicos se pone de manifiesto la presencia de una capa de lamas en el suelo donde crece la flora y vegetación que no fue limpiada por personal de la empresa. Asimismo, el terreno no fue restaurado a su condición original lo que se denota en la coloración gris pálida que mantiene versus la coloración café natural de las laderas.

La mayoría de las especies afectadas corresponden a especies arbustivas, las cuales mantienen su estructura y solo quedan parcialmente cubierta por lamas, manteniendo un estado vigoroso y un color verde con escasa presencia de polvo en partes aéreas. Asimismo, ninguna de estas especies se encuentra en estado de conservación. En el caso del estrato herbáceo su ausencia es natural como consecuencia de la época del año, ya que en verano-otoño casi desaparecen. Esto se confirma por la ausencia de hierbas también en las zonas de la quebrada no afectadas por los derrames de lamas.

De los informes técnicos anteriores en cuanto a flora y vegetación se puede señalar que:

- Se evidencia una baja cantidad de especies en el área alcanzando un nivel de seis especies arbustivas para una campaña realizada en marzo del 2018, junto con especies herbáceas principalmente en laderas adyacentes sin afectación de lamas. Las especies arbustivas mantienen su estructura y solo quedan cubiertas parcialmente por lamas.

- No se puede determinar si el estrato herbáceo poco denso en sectores con lamas se debe a un efecto de los derrames o bien, al ciclo natural de estas plantas que en verano-otoño prácticamente desaparecen o bien se encuentran muy secas.
- Los arbustos encontrados se encuentran vigorosos y de color verde, aunque algunos presentan polvo en partes aéreas. Además, no se encuentran en categoría de conservación y son parte de la formación matorrales ampliamente distribuida en el área.

A partir de la visita a terreno del 31 de enero del 2019 se confirma la falta de limpieza y restauración del terreno afectado por derrames de lamas ocurridos con anterioridad al evento del 20 de marzo de 2018. Sin embargo, por medio del monitoreo de 15 individuos de especies arbustivas y su caracterización en terreno, es posible inferir que dicha falta de limpieza y restauración del terreno no tuvo efectos negativos agudos en la flora y vegetación, es decir, en el corto plazo (entre marzo de 2018 y enero de 2019).

En este sentido, la vegetación muestreada posee un follaje limpio, vigoroso, desarrollando normalmente sus estados fenológicos (floración, dispersión de semillas, yemas florales, etc). Si bien, existió una falta de limpieza antropogénica y el terreno no se restauró, a corto plazo se puede aseverar que esto no causó un efecto negativo sobre dicho componente, ya que este continúa creciendo. Es posible suponer que la limpieza por factores naturales, así como el crecimiento de los individuos, evitó la generación de un impacto negativo sobre este componente ambiental.

En cuanto a la información recopilada en terreno, en la Tabla 2 se indica en detalle los individuos monitoreados, mientras en la Figura 4, su ubicación en la Quebrada Variante 2.

Tabla 4-8: Individuos en el muestreo de vegetación

N	ID	Especie	Etapas	Follaje	Coordenada E (m)	Coordenada S (m)	Otros
1	A1	Haploppapus bailahuen	yemas florales	-	439.914	6.886.151	en zona cubierta de lama
2	A2	Adesmia aphylla	crecimiento vegetativo	-	439.913	6.886.152	en zona cubierta de lama
3	A3	Adesmia aphylla	floración	-	439.908	6.886.159	en zona cubierta de lama
4	A4	Ephedra breana	floración	-	439.900	6.886.156	en zona cubierta de lama
5	B1	Adesmia aphylla	semillas	verde claro	439.753	6.886.147	en zona cubierta de lama
6	B2	Ephedra breana	semillas	-	439.750	6.886.154	demasiada pendiente no se puede medir largo N-S
7	C1	Adesmia aphylla	floración	verde claro	439.692	6.886.147	quebrada aledaña
8	C2	Buddleja suaveolens	floración	cubierta con polvo	439.683	6.886.119	se mezcla con otro
9	C3	Haploppapus bailahuen	floración	semi cubierta	439.693	6.886.133	en el sector más alto
10	D1	Buddleja suaveolens	floración	semi cubierta	439.570	6.886.269	ladera
11	D2	Buddleja suaveolens	floración	semi cubierta	439.568	6.886.282	a 5 metros al oeste de la anterior
12	D3	Haploppapus bailahuen	crecimiento vegetativo	semi cubierta	439.572	6.886.295	se toma punto en roca inclinada
13	D4	Adesmia aphylla	semillas	verde claro	439.553	6.886.241	a 3140 msnm, dos arbustos contiguos D4 derecha abajo
14	D5	Adesmia aphylla	semillas	verde claro	439.553	6.886.241	a 3140 msnm, dos arbustos contiguos D5 izquierda
15	D6	Haploppapus bailahuen	crecimiento vegetativo	semi cubierta	439.537	6886218.10	

Fuente: elaborado por Mejores Prácticas, 2019.

Figura 4-16: Ubicación de individuos de vegetación en Quebrada Variante 2.



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Si bien, la vegetación en terreno se vio afectada por los derrames de lamas anteriores al 20 de marzo, como se evidencia en los informes técnicos anteriormente señalados, a partir de la visita en terreno del 31 de marzo se comprueba que si bien el sustrato donde crece la vegetación continúa cubierto de lamas en las zonas de derrames, el follaje de estos individuos se encuentra limpio, y asimismo, no pareciera verse afectado el desarrollo normal de estos.

En este sentido, 12 de las 15 especies se encuentran evidentemente desarrollando alguna etapa de su ciclo normal de vida: ya sea están en floración, dispersión de frutos o yemas florales (Figura 5, Figura 6 y Figura 7). Por otro lado, el follaje de estos se presenta limpio y con una coloración propia de cada especie (Figura 8, Figura 9 y Figura 10).

Figura 5: *Haploppapulus bailahuen* en floración.



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 6: *Adesmia hystrix* en dispersión de semillas.



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 7: *Buddleja suaveolens* en floración.



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 8: *Adesmia aphylla* con follaje verde.



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 9: *Ephedra breana* con follaje verde.



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 10: *Buddleja suaveolens* con follaje verde.



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

No obstante, teniendo en cuenta que existen posibles efectos a largo plazo que no pueden ser evaluados a la fecha (crónicos), se propone un monitoreo de la vegetación con frecuencia semestral por un periodo de tres años, midiendo 20 individuos afectados y 20 control para comparar los efectos de la falta de limpieza de lamas y restauración del suelo sobre cada grupo.

4.2.3 Efectos asociados al Cargo N° 5 sobre el componente fauna

En cuanto al componente fauna, la falta de limpieza y restauración del terreno afectado no pareciera tener efectos sobre dicho grupo.

A partir de la relocalización de especies se pone en evidencia al momento del traslado de los micromamíferos a la quebrada aledaña que el Índice de Éxito de Captura (IEC) es alto, lo que refleja una medida exitosa. Además, la proporción sexo y estructura de la edad de los ejemplares capturados (similar 1:1) que indican una muestra saludable de la población que habita el área de rescate.

Por otra parte, el hecho de que la vegetación forme parte del nicho trófico de la fauna y que ésta al momento de la visita a terreno del 31 de enero del 2019, se observe saludable y desarrollando con normalidad su ciclo de vida, permite inferir que los animales que se refugian y alimentan en ella no vieron afectado su ambiente significativamente como causa de los derrames de lamas anteriores al 20 de marzo de 2018.

4.3 Cargo N° 16

Tal como se mencionó anteriormente, el Cargo N° 16 se relaciona con el retraso en la ejecución de la limpieza de la Quebrada Variante 2, y con no haber capturado y relocalizado oportunamente los individuos de herpetofauna y micromamíferos, el cual tiene su origen en la Resolución Exenta N°384/2018 de la SMA que ordena medidas provisionales ante el evento del 20 de marzo de 2018 y los hechos constatados en la visita a terreno asociada al derrame.

En dicho documento, se resuelve en la letra f) la limpieza de todo el sitio afectado por el derrame de lamas en la quebrada Variante 2, incluyendo el punto de fuga en el lamaducto ocurrido el 20 de marzo, hasta la obra de captación de agua en la citada Quebrada y sus alrededores con lamas. Dicha limpieza debe considerar no aumentar el grado de afectación sobre el suelo, la flora, vegetación y fauna ya existentes.

Estos hechos pudieron tener efectos sobre los componentes ambientales suelo, flora y fauna. A continuación, se presentan los resultados del análisis técnico de los efectos ambientales asociados a cada uno de ellos.

4.3.1 Efectos asociados al Cargo N° 16 sobre el componente suelo

Como señala la Res. Ex. N°348/2018, letra f), se ordena una limpieza que debe ejecutarse en un plazo de 15 días, es decir, aproximadamente hasta el día 13 de abril del 2018.

El alcance geográfico de la limpieza abarca el fondo de la quebrada, desde el punto de fuga de lamas hasta la obra de captación, lo que corresponde a una superficie de aproximadamente 0,5 ha. Si bien dicha limpieza se realizó entre el 18 de mayo y el 2 de

julio de 2018, esta limpieza se realizó con aproximadamente un mes de retraso con respecto a lo indicado en la resolución de la SMA. Dicho retraso produjo un efecto negativo sobre el componente suelo, el que no obstante ya se encuentra remediado, tal como pudo verificarse en la visita a terreno del día 31 de enero de 2019.

Figura 4-17: Fondo de quebrada limpio tras limpieza del derrame del 20 de marzo de 2018



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 4-18: Sector limpio en área obra de intercepción IP-A2



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

4.3.2 Efectos asociados al Cargo N° 16 sobre el componente flora

Tal como se ha presentado y explicado en las secciones anteriores, el derrame del 20 de marzo de 2018 no tuvo efectos sobre el componente flora, toda vez que escurrió sobre el fondo de la quebrada, sector utilizado por el camino vehicular. Por esta razón, el atraso en la limpieza a la que hace referencia la Res. Ex. N° 384/2018 no tuvo el potencial de ocasionar efectos sobre este componente.

En cuanto al otro hecho infraccional del Cargo 16, esto es, el atraso en la relocalización de fauna, este no tiene relación con el componente flora, y por lo tanto tampoco tuvo el potencial de ocasionar efectos sobre este componente.

4.3.3 Efectos asociados al Cargo N° 16 sobre el componente fauna

En cuanto al componente fauna y al retraso en la limpieza y la no captura oportuna de micromamíferos y herpetofauna, se puede indicar que el retraso no tuvo efectos negativos sobre el rescate de micromamíferos, ya que al momento de la relocalización de estos individuos en la quebrada aledaña, fue posible corroborar mediante una muestra por recaptura que la población trasladada presentaba un estado saludable, evidenciado en la proporción sexo y estructura etaria de los individuos capturados.

Sin embargo, dado que la captura de herpetofauna no se pudo realizar ya que no se encontraron individuos en terreno al momento de proceder a esta actividad, y así como posibles efectos crónicos sobre la población de mamíferos y reptiles no son posibles de evaluar a corto plazo; se propone realizar un monitoreo o seguimiento de poblaciones de micromamíferos y herpetofauna con especial énfasis en vizcachas y reptiles.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los antecedentes revisados, así como a la información recogida de primera fuente por el equipo de Mejores Prácticas en su visita a la Quebrada Variante 2 y al río Ramadillas aguas abajo de dicha quebrada, fue posible obtener las siguientes conclusiones:

- i. En relación al cargo 4, es decir, a la operación de la obra IP-A2 en forma distinta a la evaluada, hecho que puede vincularse con un derrame de lamas el día 20 de marzo de 2018, se concluyó lo siguiente:
 - a. El volumen total derramado se puede estimar en 57,2 m³, del cual aproximadamente 56,2 m³ tuvieron un efecto sobre el componente suelo, al cubrir parte del fondo de la Quebrada Variante 2, y menos de 1,0 m³ pudo alcanzar las aguas del río Ramadillas al escurrir a través de una abertura de una de las compuertas de la obra IP-A2.
 - b. Existe evidencia de un impacto sobre el componente suelo como consecuencia del derrame de lamas, en una superficie de aproximadamente 0,5 hectáreas, componente que fue restaurado mediante una actividad de limpieza realizada entre el 18 de mayo y el 2 de julio de 2018. No se considera necesaria la realización de actividades adicionales en relación a este impacto, pues lo ya realizado se considera idóneo y suficiente para la restauración del medio ambiente afectado, según fue verificado en terreno y se da cuenta en los antecedentes contenidos en el presente informe.
 - c. No se tuvo evidencia que el derrame de lamas del 20 de marzo haya tenido un impacto sobre los componentes flora y vegetación, o sobre el componente fauna, pues la superficie afectada (0,5 ha) se ubica sobre o al costado del camino vehicular de la Quebrada Variante 2, el cual constituye un sector intervenido y sin ejemplares de flora o vegetación, según fue verificado en terreno. Por esta razón, se considera que no existe evidencia de un potencial impacto directo sobre la flora o indirecto sobre la fauna a través de su alimentación.
 - d. Se observaron efectos atribuibles al evento de derrame de lamas del 20 de marzo sobre el parámetro pH de las aguas superficiales, acotado tanto temporalmente (día 20 de marzo) como geográficamente (sólo en las estaciones LM-10 y LM-36). Este efecto fue verificado al registrarse un valor de pH de 5,9 en dichas estaciones, el día 20 de marzo a las 19:43 y 19:56 horas, respectivamente.
 - e. Las mediciones posteriores a dicha fecha no muestran un efecto sobre este parámetro, tanto en estas dos estaciones como en las otras seis estaciones de calidad de agua superficial que pudieron ser afectadas por la

llegada de lamas al río Ramadillas (estaciones LM-36, LM-10, LM-27, LM-05, LM-07 y LM-48).

- f. Este efecto sobre el pH en las estaciones LM-10 y LM-36 no tuvo la potencialidad de generar un daño o provocar un riesgo de afectación respecto de la salud animal o vegetal, o sobre la salud humana, pues este parámetro no alcanzó valores que pudieran afectar o poner en riesgo dichos componentes ambientales, y su duración fue acotada temporalmente. Por lo tanto, al no existir un daño o riesgo ambiental posible de cuantificar, no se consideran necesarias actividades de remediación o compensación como consecuencia de este impacto.
 - g. No se observaron efectos atribuibles al evento del 20 de marzo sobre los parámetros conductividad eléctrica, sólidos disueltos y sulfato, pues los valores registrados el día 20 de marzo, en las siete estaciones de calidad superficial analizadas, se encontraron dentro de los rangos naturales y cercanos a los promedios históricos en cada una de ellas.
- ii. En relación al cargo 5, es decir, la falta de limpieza y restauración del terreno afectado por derrames de lamas ocurridos con anterioridad al evento del 20 de marzo de 2018, se concluyó lo siguiente:
- a. Existe evidencia de un impacto sobre el componente suelo, el cual se mantiene hasta el tiempo presente, según fue verificado en terreno. La magnitud de este impacto se cuantificó en aproximadamente 1,8 hectáreas, y se sugiere su limpieza, tal como se detalla en las recomendaciones, atendiendo las restricciones de seguridad pertinentes (acceso en forma segura).
 - b. Si bien la SMA identificó individuos de flora y vegetación con cierto nivel de cobertura de lamas en su superficie, las que podrían haber afectado su capacidad fotosintética, estos consultores verificaron que el estado actual de la flora y vegetación es bueno, no se observaron individuos afectados por lamas en su superficie ni individuos muertos, por lo que se puede descartar un impacto o daño ambiental agudo significativo sobre este componente. De haber ocurrido un impacto sobre este componente, este fue de corta duración, pues las plantas actualmente parecen estar en óptimas condiciones de salud. Sin embargo, no puede descartarse la ocurrencia de efectos crónicos, que se pueden observar en el mediano plazo, por lo que se recomienda realizar un seguimiento de más largo plazo, según se detalla más adelante.
 - c. No existe evidencia de impactos sobre la fauna como consecuencia de los derrames anteriores de lamas. En efecto, la medida de relocalización de fauna constituye una medida idónea y efectiva para mitigar un impacto sobre la fauna, por lo que la mayor parte de los individuos presentes en la

quebrada al momento del derrame fueron relocalizados a un sector no afectado por derrames.

- iii. En relación al cargo 16, es decir, el retraso en la ejecución de la limpieza de la base de la Quebrada Variante 2, y con no haber capturado y relocalizado oportunamente los individuos de herpetofauna y micromamíferos, medidas a las que hace referencia la Res. Ex. N° 384/2018, se concluyó lo siguiente:
 - a. En cuanto al retraso en la ejecución de la limpieza de la base de la quebrada, no existe evidencia sobre un impacto significativo sobre los componentes flora y fauna, por las siguientes razones principales:
 - El derrame del 20 de marzo de 2018 escurrió sobre el fondo de la quebrada, sector utilizado por el camino vehicular y en el cual no existe, ni existía el día 20 de marzo, presencia de flora y vegetación.
 - Según se informó en los informes de relocalización de micromamíferos respectivos, la relación entre machos y hembras daba cuenta de una población saludable, por lo que no existe evidencia de un impacto significativo sobre dicho componente como consecuencia del retraso en la relocalización.
 - Al no existir afectación sobre la flora, no se justifica técnicamente realizar una nueva campaña de relocalización de fauna, y se considera que la medida más apropiada es la implementación de un seguimiento o monitoreo de las poblaciones de micromamíferos y herpetofauna, especialmente vizcachas y reptiles.

Con el objetivo de reducir o eliminar los efectos negativos generados por los incumplimientos anteriores, se recomienda el siguiente Plan de Acciones:

- a. En relación a la afectación del suelo afectado por derrames de lamas anteriores al 20 de marzo de 2018, se recomienda realizar actividades de limpieza, es decir, el retiro de las lamas presentes sobre el suelo afectado, con el objetivo de restaurar este componente a su condición previa a los derrames y de evitar futuras afectaciones potenciales a la fauna, atendiendo las restricciones de seguridad pertinentes (acceso en forma segura).

Adicionalmente, con el objetivo de realizar un adecuado seguimiento a las medidas acciones anteriores, así como a aquéllas realizadas con anterioridad a la formulación de cargos, se recomienda el siguiente Plan de Seguimiento:

- En relación a la flora presente en los sectores afectados por derrames de lamas anteriores al 20 de marzo de 2018, se recomienda realizar un seguimiento de su estado de salud y crecimiento, con el objetivo de evaluar la ocurrencia de eventuales efectos tóxicos crónicos. Para ello, se deberá

identificar una cantidad de individuos representativos⁶ de las especies presentes en los distintos sectores afectados, y realizar un seguimiento de su estado durante un período de tres años, con mediciones semestrales. Se recomienda identificar también una población control de individuos, semejante a la anterior pero ubicada en sectores no afectados por derrames. En caso que la población afectada muestre un estado o crecimiento deficiente en comparación con la población control, se recomienda implementar una medida de reparación, tal como la recolección de germoplasma de las especies afectadas y su posterior reproducción y plantación en terreno, atendiendo las restricciones de seguridad pertinentes (acceso en forma segura).

- En relación a la potencial afectación de la fauna no rescatada, especialmente de la especie vizcacha (*Lagidium viscacia*) y la herpetofauna, se recomienda realizar un monitoreo de estas especies en la Quebrada Variante 2, con una frecuencia semestral y una duración de tres años, al cabo del cual se deberán evaluar sus resultados.

⁶ Se considera que una muestra de aproximadamente el 10% del total de individuos de cada especie constituye una muestra representativa del universo de potenciales ejemplares afectados.

6. REFERENCIAS

- Arcadis, Reporte N° 4896-6640-PP-INF-011, Cumplimiento medida provisional D), Resolución Exenta N° 384 SMA, Abril 2018.
- Arcadis, Reporte N° 4896-6640-PP-INF-012, Reporte Primeros 7 Días, medida provisional H), Resolución Exenta N° 384 SMA, Abril 2018.
- Minera Caserones, Informe de Limpieza del Sitio Afectado por el Derrame de Lamas en Quebrada Variante Dos post Indicente del 20 de Marzo de 2018, Julio de 2018.
- SGA, Informe Estado Actual de la Flora y Vegetación en Quebrada Variante Dos, Informe de Incidente Ambiental, Proyecto Caserones, Abril 2018.
- SGA, Informe Estado Actual de la Flora y Vegetación en Quebrada Variante Dos post Incidente del 20 de Marzo de 2018, (Actualizado al 18.04.18), Informe de Incidente Ambiental, Proyecto Caserones, Abril 2018.
- SGA, Informe Estado Actual de la Fauna Silvestre en Quebrada Variante Dos, Informe de Incidente Ambiental, Proyecto Caserones, Abril 2018.
- SGA, Informe Estado Actual de la Fauna Silvestre en Quebrada Variante Dos post Incidente del 20 de Marzo de 2018, (Actualizado al 17.04.18), Informe de Incidente Ambiental, Proyecto Caserones, Abril 2018.
- SGA, Informe de Rescate y Relocalización de Fauna, Proyecto Caserones, 2018.
- SGS, Informes de Análisis ES18-21570, ES18-21569, ES18-21572, ES18-23365, ES18-23366, ES18-23367, ES18-17717, ES18-17718, ES18-17719, ES18-17720, ES18-17734, ES18-17735, ES18-17736, ES18-17737, ES18-17738, ES18-17739, ES18-17776, ES18-19700, ES18-19702, ES18-17458, ES18-17459, ES18-17460, ES18-17461, ES18-17462, ES18-17463, ES18-17464, ES18-17713, ES18-17714, ES18-17715, ES18-17716,
- Superintendencia de Medio Ambiente, Res. Ex. 384, Ordena Medidas Provisionales Pre-Procedimentales que Indica, Marzo 2018.
- Superintendencia de Medio Ambiente, Memorándum O.R.A. N°02.-, Marzo 2018.
- Superintendencia de Medio Ambiente, Res. Ex. N° 1/ROL D-018-2018, Formula cargos que indica a SCM Minera Lumina Copper Chile S.A., Febrero 2019.
- Standard Mehods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, 22nd Edición, 2012.

Organización Mundial de la Salud, Guías para la calidad del agua potable [recurso electrónico]: incluye el primer apéndice. Volumen 1: Recomendaciones. Tercera edición, 2006.

World Health Organization, pH in Drinking-water, 2003.

7. APÉNDICES

APÉNDICE A: Track y fotografías de la visita a terreno del 31 de enero de 2019.

APÉNDICE B: Base de datos de calidad del agua de los cursos superficiales.

APÉNDICE C: Memoria de Cálculo del volumen de lamas derramadas que pudieron afectar el componente suelo.

APÉNDICE D: Minuta Técnica Cálculo de Flujo de Lamas a Través de Ranura Posterior de Compuerta IPA2, Juan Carlos Domínguez, Ingeniero Civil, MSc.

APÉNDICE E: Acta de Inspección del Servicio Nacional de Geología y Minería de Fecha 21-03-2018.