



ANEXO N° 5.1

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

JULIO 2019

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	RESUMEN.....	7
2.	INTRODUCCIÓN.....	8
3.	MARCO METODOLÓGICO	9
3.1	Metodología asociada al Cargo N° 4.....	9
3.1.1	Metodología asociada al Cargo N° 4 sobre el volumen de lamas derramadas	9
3.1.2	Metodología asociada al Cargo N° 4 sobre el componente suelo	10
3.1.3	Metodología asociada al Cargo N° 4 sobre el componente flora.....	11
3.1.4	Metodología asociada al Cargo N° 4 sobre el componente fauna.....	11
3.1.5	Metodología asociada al Cargo N° 4 sobre el componente agua superficial	11
3.2	Metodología asociada al Cargo N° 5.....	13
3.2.1	Metodología asociada al Cargo N° 5 sobre el componente suelo	13
3.2.2	Metodología asociada al Cargo N° 5 sobre el componente flora.....	15
3.2.3	Metodología asociada al Cargo N° 5 sobre el componente fauna.....	18
3.3	Metodología asociada al Cargo N° 16.....	19
3.3.1	Metodología asociada al Cargo N° 16 sobre el componente suelo	19
3.3.2	Metodología asociada al Cargo N° 16 sobre el componente flora.....	20
3.3.3	Metodología asociada al Cargo N° 16 sobre el componente fauna.....	20
4.	ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LOS HECHO INFRACCIONALES	21
4.1	Cargo N° 4.....	21
4.1.1	Volumen de lamas derramadas que pudieron alcanzar el río Ramadillas ...	21
4.1.2	Efectos asociados al Cargo N° 4 sobre el componente suelo	21
4.1.3	Efectos asociados al Cargo N° 4 sobre el componente flora.....	23
4.1.4	Efectos asociados al Cargo N° 4 sobre el componente fauna.....	26
4.1.5	Efectos asociados al Cargo N° 4 sobre el componente agua superficial.....	27
4.2	Cargo N° 5.....	43
4.2.1	Efectos asociados al Cargo N° 5 sobre el componente suelo	43
4.2.2	Efectos asociados al Cargo N° 5 sobre el componente flora.....	45

4.2.3	Efectos asociados al Cargo N° 5 sobre el componente fauna.....	58
4.3	Cargo N° 16.....	58
4.3.1	Efectos asociados al Cargo N° 16 sobre el componente suelo	58
4.3.2	Efectos asociados al Cargo N° 16 sobre el componente flora.....	60
4.3.3	Efectos asociados al Cargo N° 16 sobre el componente fauna.....	60
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
6.	REFERENCIAS	65
7.	APÉNDICES.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1:	Laderas con manchas grises en Quebrada Variante 2.....	14
Figura 3-2:	Derrame menor en sector Portal Norte a cajón 24.....	15
Figura 3-3:	Ejemplo de medición para especie en zona con derrame y especie en zona control.....	17
Figura 4-1:	Sector Obra IP-A2 limpia (visita a terreno).....	22
Figura 4-2:	Suelo sin lamas en cascada del río Ramadillas (visita a terreno).....	23
Figura 4-3:	Vegetación en buen estado en el sector de descarga de la Quebrada Variante 2 al río Ramadillas (visita a terreno).....	24
Figura 4-4:	Vegetación en buen estado 100 metros aguas arriba del sector de descarga de la Quebrada Variante 2 al río Ramadillas (visita a terreno)	25
Figura 4-5:	Vegetación en buen estado 100 metros aguas abajo del sector de descarga de la Quebrada Variante 2 al río Ramadillas.....	25
Figura 4-6:	Fecas de fauna en sector descarga del río Ramadillas.....	27
Figura 4-7:	Registro de pH - agosto de 2014 a diciembre de 2019	29
Figura 4-8:	Registro de Conductividad Específica (CE) - agosto de 2014 a diciembre de 2018	30
Figura 4-9:	Registro de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) - agosto de 2014 a diciembre de 2018	31
Figura 4-10:	Registro de la concentración de Sulfato (SO ₄) - agosto de 2014 a diciembre de 2018	32
Figura 4-11:	Localización de las estaciones de monitoreo de calidad de aguas superficiales del proyecto minero Caserones	34
Figura 4-12:	pH en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos	35

Figura 4-13: Conductividad Específica en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos	35
Figura 4-14: Sólidos Disueltos Totales en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos	36
Figura 4-15: Sulfato en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos	36
Figura 4-16: pH medido y límites de calidad para agua potable y agua de riego (20 de marzo de 2018)	38
Figura 4-17: Conductividad Específica y límites de calidad para agua de riego (20 de marzo de 2018)	40
Figura 4-18: Sólidos Disueltos Totales y límites de calidad para agua potable (20 de marzo de 2018)	40
Figura 4-19: Sulfato medido y límites de calidad para agua potable y agua de riego (20 de marzo de 2018).....	42
Figura 4-20: Componente suelo afectado por derrames de lamas anteriores al 20 de marzo de 2018 en Quebrada Variante 2.	44
Figura 4-21: Componente suelo afectado por derrames de lamas anteriores al 20 de marzo de 2018 en zona Portal Norte a Cajón 24.	45
Figura 4-22: Ubicación de individuos de vegetación en Quebrada Variante 2.....	48
Figura 4-23: <i>Haploppapulus bailahuen</i> en floración.	49
Figura 4-24: <i>Adesmia hystrix</i> en dispersión de semillas.....	49
Figura 4-25: <i>Buddleja suaveolens</i> en floración.....	50
Figura 4-26: <i>Adesmia aphylla</i> con follaje verde.....	50
Figura 4-27: <i>Ephedra breana</i> con follaje verde.	51
Figura 4-28: <i>Buddleja suaveolens</i> con follaje verde.	51
Figura 4-29: Mapa de individuos muestreados en sector Portal Norte a Cajón 24	53
Figura 4-30: Mapa de individuos muestreados en sector Quebrada Variante 2 a Eje 500	54
Figura 4-31: Ejemplo <i>Ephedra breana</i> en zona con derrame de lamas, Quebrada Variante 2	55
Figura 4-31: Ejemplo de ladera con fuerte pendiente donde se realizó conteo visual de especies	57
Figura 4-33: Fondo de quebrada limpio tras limpieza del derrame del 20 de marzo de 2018	59
Figura 4-34: Sector limpio en área obra de intercepción IP-A2	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Tabla usada en el muestreo de vegetación.....	16
Tabla 3-2: Tabla usada para el registro de datos en terreno	17
Tabla 4-1: Valores depurados de la base de datos de calidad de aguas superficiales para los parámetros pH, CE, SDT y SO ₄	29
Tabla 4-2: Análisis estadístico del pH - agosto de 2014 a diciembre de 2018.....	30
Tabla 4-3: Análisis estadístico de la Conductividad Específica (CE) - agosto de 2014 a diciembre de 2018	31
Tabla 4-4: Concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) de agosto de 2014 a diciembre de 2018	32
Tabla 4-5: Concentración de Sulfato (SO ₄) - agosto de 2014 a diciembre de 2018.....	33
Tabla 4-6: Localización de los puntos de muestreo de aguas superficiales - Coordenadas UTM WGS 84 Huso 19 J	33
Tabla 4-7: Resultados para los parámetros pH, CE, SDT y SO ₄ , 20 de marzo de 2018...	37
Tabla 4-8: Individuos en el muestreo de vegetación	47
Tabla 4-9: . Especies en el área de estudio	56

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 facción 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 fechas 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 revisa 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, presentados mediante el “Informe de Análisis y Estimación de Efectos Ambientales cargos N°4, N°5 y N°16 RES. EX. N°1 / ROL D-018-2019”, de marzo de 2019, en virtud de los comentarios al Programa de Cumplimiento recibidos por parte de la SMA mediante la Res. Ex. N°4/ROL D-018-2019, del 25 de junio de 2019, y al mismo tiempo revisa las recomendaciones para la elaboración de un Programa de Cumplimiento efectivo que dé cumplimiento a 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) 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.

Dicho PDC fue presentado en marzo de 2019, y sobre el cual se recibieron comentarios de la SMA mediante la Res. Ex. N°4/ROL D-018-2019, del 25 de junio de 2019.

En virtud de lo anterior, el presente informe técnico responde a la necesidad de revisar la evaluación de los 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 PDC que satisfaga adecuadamente 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, hecho que ocasionó un derrame de lamas el día 20 de marzo de 2018, el cual pudo tener efectos sobre los componentes ambientales suelo (en el entorno cercano a la obra dual), flora, fauna y agua superficial. 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 dos visitas 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. Las visitas fueron realizadas el día 31 de enero de 2019, y los días 10 y 11 de julio de 2019. Tanto los recorridos (tracks) como los hitos importantes fueron identificados y georreferenciados mediante un equipo de posicionamiento satelital (GPS) (adjunto en Apéndice A). A continuación, se presenta el marco metodológico asociado a cada cargo.

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

Del volumen total de lamas derramadas, sólo una parte tuvo la potencialidad de afectar el agua superficial al ingresar por una ranura de la obra IP-A2, como consecuencia del mal funcionamiento de dicha obra dual.

Este volumen de lamas derramadas 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.

Debido a la falta de datos y/o mediciones en línea que permitieran hacer un cálculo más preciso del volumen de lamas derramado, el ingeniero hidráulico Sr. Juan Carlos Domínguez¹ optó por determinar ese volumen en base a dos métodos distintos: uno de carácter cualitativo y otro de carácter cuantitativo.

Sobre el método cuantitativo, este experto presentó un cálculo asumiendo un tiempo de derrame de 15 minutos, el cual se basó en la observación del remanente de lamas en la superficie colindante a la obra IP-A2, y el tiempo estimado que pudo haber tomado para cubrir esa área, dadas las características del flujo. En efecto, tal como se presenta en el

¹ Ingeniero Civil Hidráulico de la P. Universidad Católica de Chile, y Master en Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la misma casa de estudios.

Apéndice D, las lamas derramadas tienen una viscosidad dinámica que va entre 0,02 y 0,2 [Pa*s], y poseen un comportamiento como fluido no newtoniano tipo Bingham para concentraciones mayores al 58%.

De esta manera, para el cálculo del volumen derramado se utilizó una ecuación válida para agua líquida, la cual tiene una viscosidad varias veces menor que las lamas. Debido a esto, se utilizó un criterio en extremo conservador, en que sobreestimó el volumen del componente derramado que pudo fluir bajo la compuerta.

En relación al criterio utilizado para este cálculo, en base a supuestos conservadores, cabe señalar que es habitual y aceptado en el campo de la ingeniería en general, así como en la ingeniería hidráulica en particular, el uso de supuestos conservadores ante la ausencia de datos cuantitativos, que permitan entregar resultados aproximados pero siempre por el lado de la seguridad, en este caso, un límite superior al volumen de lamas que pudo escurrir por la compuerta.

Por otro lado, dado el nivel de instrumentación en el sistema de transporte de lamas, no existen otros datos que permita hacer una mejor estimación cuantitativa, y si bien se reconoce que el tiempo de derrame pudo haber sido diferente, no existen antecedentes que permitan dar certeza de su duración, por lo que se optó por el uso de la metodología descrita en los párrafos anteriores.

Mediante la adopción de otro método de cálculo usado para estimar el volumen de lamas derramadas, método cualitativo, no contradictorio con el método anterior, sino complementario o alternativo, se llegó a una estimación menor del volumen derramado.

Un método cualitativo se basa en la observación y la experiencia del profesional, y permite obtener conclusiones en base a la evidencia cualitativa disponible (fotografías, entrevistas, experiencias anteriores, etc). Este método es de uso habitual en el campo de las ciencias, incluyendo la ingeniería hidráulica, cuando no se cuenta con antecedentes cuantitativos o numéricos de los fenómenos estudiados.

En este caso particular, se utilizó este método como una línea alternativa de evidencia, con el objetivo de reducir la incertidumbre asociada a la aplicación de un solo método, dada precisamente la escasa evidencia cuantitativa disponible. La aplicación de este método se basó en la interpretación de las fotografías disponibles, y las máximas de la experiencia, que le permitieron al experto asumir, con un alto grado de confianza, que los flujos escurrieron en su mayoría por superficie, en lugar de hacerlo hacia la compuerta y a través de la apertura. Adicionalmente, se estimó el volumen de lamas acumulado en superficie, de manera conservadora, por comparación con las dimensiones de la obra dual obtenidas de los planos. Así, el valor resultante se consideró como límite superior al volumen que pasó por la abertura de la compuerta.

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 cámara IP-A2 hasta el río Ramadillas. Dicho recorrido fue cuantificado en términos de superficie, verificando su estado durante la visita de enero de 2019. Para ello, se identificó el suelo efectivamente

afectado por este evento, el cual se comparó con una estimación del suelo que habría sido afectado en caso que la obra dual hubiese operado adecuadamente.

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 N° 4 sobre el componente flora

De las especies de flora afectadas directamente por el derrame, solo existe referencia de dos especies arbustivas (*Ephedra breana* y *Adesmia aphylla*), las que fueron mencionadas en la resolución sancionatoria de la SMA. Sin embargo, en terreno se verificó la ausencia de flora en el área afectada por el derrame de lamas del 20 de marzo de 2018 en el sector por donde este escurrió (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* que hayan estado ubicados en las laderas de la Quebrada Variante 2, es decir, que hayan sido afectadas por derrames anteriores al ocurrido el día 20 de marzo, razón por la cual este efecto será abordado en el cargo 5, para el componente flora.

En efecto, en el entorno cercano a la obra dual no hay presencia de flora, pues corresponde a una zona industrial intervenida, principalmente por los elementos de la propia obra IP-A2.

3.1.4 Metodología asociada al Cargo N° 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 como consecuencia del mal funcionamiento de la obra IP-A2.

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

3.1.5 Metodología asociada al Cargo N° 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 los 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 por 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 sus afluentes, 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 Específica (CE), Sólidos Disueltos Totales (SDT) y sulfato (SO_4). Se realizó una comparación de las concentraciones reportadas en los análisis realizados después del incidente² con los límites establecidos en la NCh 1.333/1978 para el uso agua de riego y con la NCh 409/2005 para agua potable³ (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) para el agua de consumo humano 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 diciembre de 2018, con el fin de determinar si las concentraciones registradas durante marzo de 2018 corresponden a concentraciones dentro de los rangos históricos que presenta el río Ramadillas y sus afluentes o son producto de un incidente ambiental (en este caso el derrame de lamas). Esta información fue obtenida de los registros de monitoreo de calidad de aguas del proyecto Caserones⁴.

Cabe señalar que los valores de calidad registrados el día 20 de marzo de 2018 se comparan con las calidades históricas de su respectiva estación de monitoreo. Es decir, el

² Los análisis de muestras de agua del 20 y 21 de marzo de 2018, fueron realizados 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.

³ Cabe señalar que la NCh 409 constituye una norma técnica de agua potable y no una norma primaria de calidad ambiental, por lo que la calidad del agua del río no debiera ser comparada directamente con los límites de dicha normativa, ya que se asume que el cumplimiento de la calidad de agua potable se logra mediante un tratamiento fisicoquímico y microbiológico de las aguas. No obstante, en este informe se realiza comparan las concentraciones de distintos parámetros con los límites de calidad de agua potable con el objetivo de determinar si existe riesgos para la salud de la población en eventuales captaciones de agua para consumo humano.

⁴ 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.

análisis incluye el efecto “dilución” que tiene el río Ramadillas en el río Vizcachas de Pulido, mediante la inclusión de los datos de calidad de agua de la estación que se encuentra aguas abajo de la confluencia de estos dos ríos.

3.2 Metodología asociada al Cargo N° 5

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 presenta el marco metodológico para cada uno de ellos.

3.2.1 Metodología asociada al Cargo N° 5 sobre el componente suelo

La existencia de antiguos derrames de lama en las laderas de la Quebrada Variante 2, así como en el sector denominado “Portal Norte a Cajón 24”, los cuales se caracterizan por un color gris pálido, distinto a la coloración natural del suelo colindante. Estos derrames tienen origen en fugas previas a marzo de 2018 desde un tramo del lamaducto que anteriormente operaba en presión. Estos derrames en algunos sectores de la Quebrada Variante 2, llegan hasta la cima de las laderas, producto de la presión hidráulica con la que eran conducidas las lamas por el lamaducto.

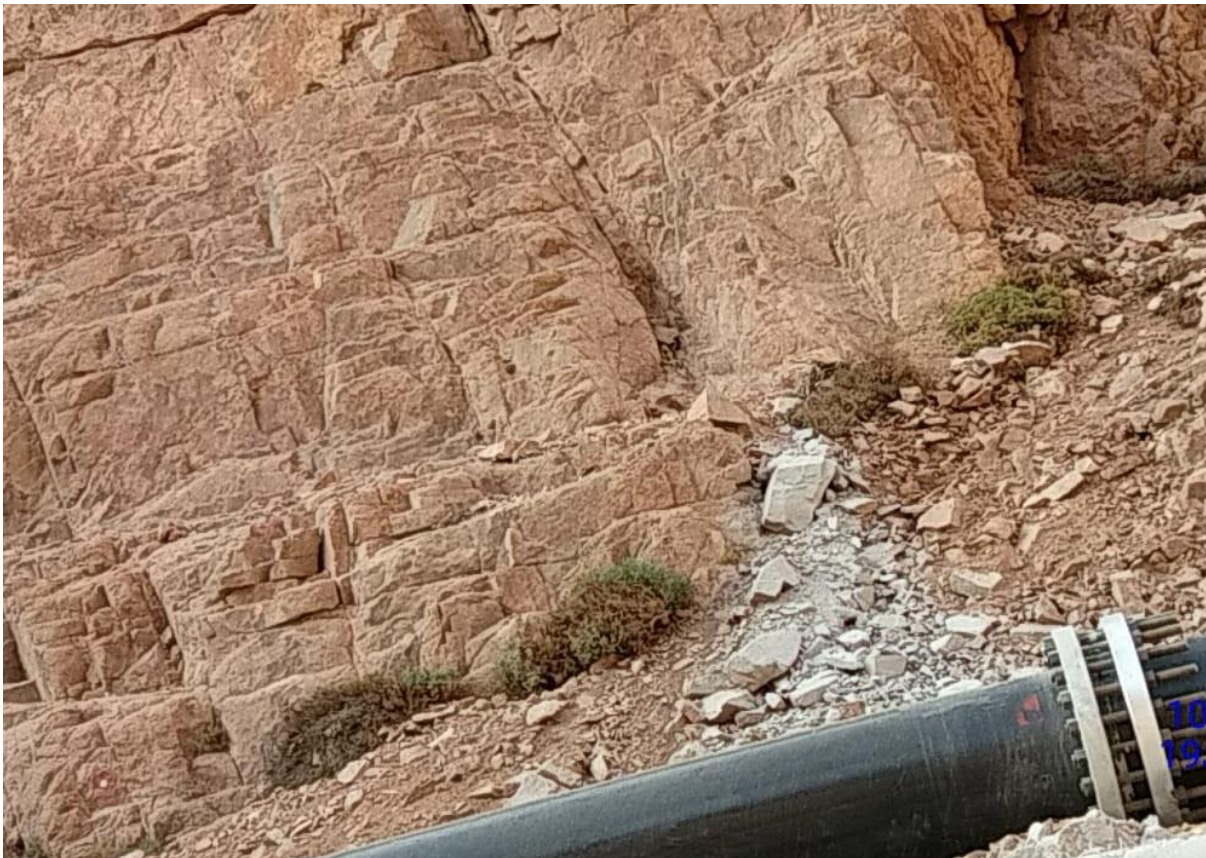
La afectación de este componente fue cuantificada mediante la georreferenciación de los sectores afectados utilizando un sistema de posicionamiento satelital GPS durante las visitas a terreno de enero y de julio de 2019, complementada con el cálculo de áreas afectadas en base al análisis de la fotografía satelital del sistema Google Earth del 10 de agosto de 2018.

Figura 3-1: Laderas con manchas grises en Quebrada Variante 2.



Fuente: Res. Ex. N°384/2018, SMA.

Figura 3-2: Derrame menor en sector Portal Norte a cajón 24



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

En adición a la revisión documental, se realizaron dos visitas a terreno, en los meses de enero y julio de 2019, con la finalidad específica de revisar el estado de la vegetación afectada en los sectores Quebrada Variante 2 y Portal Norte a Cajón 24, 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 en el mes de enero, se muestrearon 15 especies arbustivas de plantas, que por su forma de crecimiento, se prevé, 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 no afectada por derrames.

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 3-1: Tabla usada en el muestreo de vegetación

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

Fuente: elaborado por Mejores Prácticas, 2019.

Posteriormente, en la visita a terreno del mes de julio, se amplió el monitoreo realizado en enero, procediendo a una caracterización más exhaustiva de la comunidad vegetal.

El área de estudio, por tanto, se extendió desde el sector Portal Norte a Cajón 24 hasta la Quebrada Variante 2 (lo que incluye un sector denominado Eje 500).

En cada uno de los sectores se procedió a tomar datos sobre el crecimiento de la comunidad de plantas vasculares arbustivas que lo habita con la finalidad de poder detectar a largo plazo efectos crónicos sobre la comunidad de plantas afectadas por derrame de lamas.

Se muestreó un mínimo de 30 individuos medidos tanto en zonas con derrame de lamas como en zonas sin derrame de lamas, y a lo largo de todo el lamaducto presente en el área de estudio.

De este modo, se midió en la zona Portal Norte a Cajón 24, 30 especies creciendo en sectores con derrame de lamas y 30 especies en sectores sin presencia de derrames (control). Esta misma acción se repitió en la zona que va del Eje 500 a la Quebrada Variante 2.

Además, para cada individuo se amplió la cantidad de datos tomados como se muestra en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Tabla usada para el registro de datos en terreno

N	ID	Especie	Etapas fenológica	Coordenada E	Coordenada S	Alto (cm)	Largo N-S (cm)	Observa- ciones
1								
2								

Los individuos representativos a medir en sectores afectados por derrames de lamas se encuentran ubicados en zonas donde no se puede realizar limpieza. Esta condición se constituye como la más desfavorable y la que, en mayor medida, podría generar eventuales efectos crónicos sobre la flora y vegetación afectada por lamas.

En cuanto a las variables medidas, se registraron el largo desde la base a un ápice y el largo en dirección norte-sur, en centímetros, así como la correspondencia en el tiempo de su desarrollo acorde con su ciclo de vida natural. Es decir, que pasa por las distintas etapas fenológicas (floración, maduración de frutos, dispersión, etc). Se espera que estos parámetros sean indicadores a futuro de posibles efectos crónicos sobre las plantas.

De esta manera, diferencias significativas en el crecimiento de los individuos afectados versus los individuos del grupo de control, como diferencias significativas en la correspondencia del desarrollo con su ciclo de vida natural entre los individuos afectados versus los individuos del grupo de control, serían interpretados como efectos crónicos potencialmente atribuibles a los derrames de lamas.

Figura 3-3: Ejemplo de medición para especie en zona con derrame y especie en zona control



Finalmente, como medida complementaria al monitoreo, se muestrearon 30 especies de un grupo de control adicional, en una zona con una comunidad de plantas similar a la del área de estudio, con el objetivo de contar con datos de especies que, bajo ningún caso, puedan ser afectadas por derrames de lamas, de modo de mantener un grupo de control de referencia en el tiempo.

Paralelamente, mientras se realizaron las actividades de caracterización de la comunidad de flora se realizó un inventario de las especies detectadas de plantas vasculares, ya sean arbustivas o herbáceas registrándose la especie y el área en que se encontró (Qbd. Var. 2 – Eje 500 o Portal a Cajón 24).

Además, dada las características geográficas de la Quebrada Variante 2 donde las laderas poseen una fuerte pendiente, se encontraron zonas al interior de ésta donde no fue posible tener acceso a pie para efectuar una medición del crecimiento de las especies.

Con la finalidad de tener una aproximación del número de individuos creciendo en zonas con derrame de lamas sin acceso, se efectuó un conteo visual empleando binoculares, desde el fondo de quebrada hacia las laderas de exposición norte y sur con afectación de derrames de lamas, y a lo largo de toda la Quebrada Variante 2.

Este conteo consistió en tomar las coordenadas geográficas de los puntos de observación, realizando registros fotográficos de la ladera analizada y listando la cantidad de especies presentes en cada sección de la Quebrada que presente derrames de lamas visibles.

Finalmente, en el caso de que se detectaran a futuro efectos crónicos sobre la comunidad vegetal muestreada, se contempla una compensación que considera la plantación de las especies afectadas. Para esto, se evaluó un posible sector destinado a ello, el cual se escogió según los siguientes criterios:

- a) Accesibilidad en función de la seguridad de los trabajadores y la facilidad de aplicar regadío.
- b) Fuera del área posible de ser afectada por derrame.

El Apéndice J, “Muestreo de Flora y Vegetación en Zonas con Derrame de Lamas – Campaña Invierno 2019”, presenta mayores detalles y antecedentes de esta metodología.

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

De manera similar a lo realizado para el componente flora, durante las visitas a terreno en enero y julio de 2019, se buscaron indicios de la presencia de fauna silvestre en los sectores de la Quebrada Variante 2 y Portal Norte a Cajón 24 afectados por los derrames anteriores al 20 de marzo de 2018 que permitieran inferir su estado sanitario. 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.

Además, se determinó en base a las características geográficas de la Quebrada Variante 2, el trazado de un futuro transecto a recorrer para el monitoreo de *Lagidium viscacia* (vizcachas) y herpetofauna. Para la elección del lugar se consideraron los siguientes criterios:

- a) Accesibilidad.
- b) Presencia de refugios como rocas o plantas.
- c) Muestras como huellas o fecas que puedan dar cuenta del tránsito de vizcachas.

Este trayecto fue georreferenciado mediante un *track* que permita la realización de futuros monitoreos.

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 cargo 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 desde el punto de fuga en el lamaducto 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 ya existente sobre el suelo, la flora, vegetación y fauna.

Estos hechos pudieron tener efectos sobre los componentes ambientales suelo, flora y fauna en los sectores afectados por lamas de la Quebrada Variante 2, sin incluir el sector Portal Norte a Cajón 24, por encontrarse este último fuera de los alcances de la medida establecida en la Res. Ex. N° 384/2018 de la SMA. 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 las dos visitas

a terreno se revisan 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. Posteriormente, durante el mes de julio del 2019 se vuelve a visitar la zona ampliando el área de estudio al Portal Norte – Cajón 24. Se caracteriza la comunidad vegetal en cuanto a indicadores de crecimiento y etapa fenológica. Se listan las especies encontradas y se realiza un conteo visual de aquellas especies creciendo en zonas con derrames a la cual no es posible acceder a pie.

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 y del 10 al 12 de julio de 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.

Además, en la visita del mes de julio del 2019, se plantea una posible zona para efectuar un futuro monitoreo de *Lagidium viscacia* (vizcachas) y herpetofauna. Así como otras medidas en caso de detectarse efectos crónicos a largo plazo.

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, hecho que ocasionó un derrame de lamas el día 20 de marzo de 2018, el cual pudo tener efectos sobre los componentes ambientales suelo, flora, fauna y agua superficial.

Por otro lado, se realizó una revisión de los derrames de lamas anteriores a marzo de 2018, según registros del área de Sustentabilidad de la empresa, lo que permitió identificar 14 episodios, para ninguno de los cuales el malfuncionamiento de la obra dual generó una afectación al suelo más allá de lo ya intervenido por la infraestructura asociada a esta obra, ni tampoco se generaron efectos sobre la calidad del agua del río Ramadillas. El detalle de los derrames ocurridos en este sector se presenta en el Apéndice F.

4.1.1 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, el que presenta los resultados de este cálculo.

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

La operación de la obra IP-A2, de forma distinta a la considerada por el Proyecto, ocasionó que el derrame de lamas ocurrido el día 20 de marzo no siguiera el curso dispuesto para su evacuación.

La acumulación del derrame en la zona de evacuación, previamente considerada, no ocasionó la afectación del suelo de este sector debido a que el área ha sido intervenida y dispuesta para el escurrimiento de lamas y a que, posteriormente al derrame, la empresa procedió al retiro del material afectado por el derrame de lamas, corroborándose la limpieza del sector en la visita a terreno del 31 de enero del 2019.

De este modo, se calcula que un área de 0,5 ha contuvo el derrame ocurrido el 20 de marzo de 2018, como consecuencia de una operación irregular de la obra IP-A2. Esta área actualmente se encuentra sin presencia de lamas, tanto en el sector Quebrada Variante 2,

como en el sector de descarga de la quebrada al río Ramadillas, por lo cual dicha infracción no tendría efectos negativos a la fecha sobre este componente (Figuras 4-1 y 4-2).

Figura 4-1: Sector Obra IP-A2 limpia (visita a terreno)



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 4-2: Suelo sin lamas en cascada del río Ramadillas (visita a terreno)



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

4.1.3 Efectos asociados al Cargo Nº 4 sobre el componente flora

Dado que en el entorno cercano a la obra dual no hay presencia de flora, pues corresponde a una zona industrial intervenida, principalmente por la propia obra IP-A2, los efectos sobre la flora como consecuencia de los derrames anteriores al 20 de marzo de 2018 se analizan en el cargo 5, componente flora.

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 de la Quebrada Variante 2 al río Ramadillas, como 100 metros arriba y 100 metros aguas abajo de este punto, la vegetación se encuentra desarrollándose de forma normal, 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 4-3: Vegetación en buen estado en el sector de descarga de la Quebrada Variante 2 al río Ramadillas (visita a terreno)



Fuente: Mejores Prácticas, 2019

Figura 4-4: Vegetación en buen estado 100 metros aguas arriba del sector de descarga de la Quebrada Variante 2 al río Ramadillas (visita a terreno)



Fuente: Mejores Prácticas, 2019

Figura 4-5: Vegetación en buen estado 100 metros aguas abajo del sector de descarga de la Quebrada Variante 2 al río Ramadillas



Fuente: Mejores Prácticas, 2019

4.1.4 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 lamas 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 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 de enero y julio del 2019 en el sector Quebrada Variante 2 – Portal Norte a Cajón 24, se observó solo una especie animal: *Liolaemus sp.*, el estado mayoritariamente 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 las especies animales no vieron afectadas su fuente de alimento. Inclusive, durante la visita a terreno de enero de 2019 se detectaron fecas de animal en el curso del río Ramadillas que podrían ser atribuibles a una especie de zorro.

Aun así, y dado que durante la visita de julio de 2019 se observó un ejemplar de lagartija, se recomienda realizar una nueva campaña de captura y relocación de herpetofauna durante la primavera de 2019, así como eventuales rescates adicionales en caso de ocurrir nuevos derrames de lamas que afecten otros componentes del ecosistema diferentes al suelo (i.e. flora y fauna).

En relación a las vizcachas, se recomienda realizar un monitoreo de estas en la quebrada variante 2 y una subquebrada de la variante.

De manera alternativa, se propone complementar dicho monitoreo con una medida de compensación de creación de hábitat, lo que de realizarse constituiría una medida altamente conservadora, por cuanto se propone ejecutarla de manera previa e independiente de la efectiva ocurrencia de algún efecto.

En efecto, se propone la creación de hábitat para las vizcachas con el fin de ampliar el alcance geográfico de la población existente en la Quebrada Variante 2. Este nuevo hábitat puede consistir en la construcción de roqueríos o pircas, emplazados de manera colindante a los sectores actualmente poblados por esta especie, complementado por el monitoreo que permite realizar un seguimiento del efectivo poblamiento de vizcachas en este nuevo hábitat.

Figura 4-6: Fecas de fauna en sector descarga del río Ramadillas



Fuente: Mejores Prácticas, 2019

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

4.1.5.1 Calidad del agua del río Ramadillas

La calidad del agua 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 Proyecto⁵ y desde entonces se realiza un monitoreo permanente de las aguas superficiales y subterráneas de su área de influencia. El análisis realizado comparó las mediciones del 20 de marzo de 2018 con

⁵ www.caserones.cl

rangos históricos, no con valores de línea de base, pues su objetivo era comparar los efectos de un incidente ambiental (derrame de lamas) con los efectos de la operación normal del proyecto (para lo que se consideró una serie de tiempo desde que se inició la depositación de lamas). Sin perjuicio de ello, para algunas estaciones de monitoreo las concentraciones del período analizado debieran estar dentro de los rangos de las concentraciones medidas durante el periodo de determinación de la línea de base, ya que se espera que en estos sectores no exista afectación de la calidad del agua por el proyecto Caserones.

En esta sección se realiza una revisión de los datos de calidad de agua para las estaciones evaluadas luego del derrame de lamas, correspondientes a LM-05, LM-06, LM-07, LM-10, LM-27, LM-36 y LM-48.

Los rangos históricos para los parámetros pH, Conductividad Específica (CE), Sólidos Disueltos Totales (SDT) y sulfato (SO_4) consideran una validación mediante la supresión de valores atípicos (*outliers*), los que en este caso corresponden a valores que se apartan del promedio en una cantidad mayor a cuatro desviaciones estándar. El procedimiento de depuración de datos corresponde a un procedimiento estándar que tiene como objetivo eliminar datos que, con alta probabilidad, podrían corresponder a errores de muestreo o de análisis.

La Tabla 4-1 presenta el porcentaje de valores atípicos suprimidos sobre el total de datos (excluyendo valores nulos), para las siete estaciones de monitoreo consideradas en el análisis estadístico. Como puede observarse, la cantidad de datos que califican estadísticamente como *outliers* se encuentra en un rango de 1% a 2%, lo que se considera adecuado y dentro de los estándares habituales en procedimientos de depuración de bases de datos ambientales.

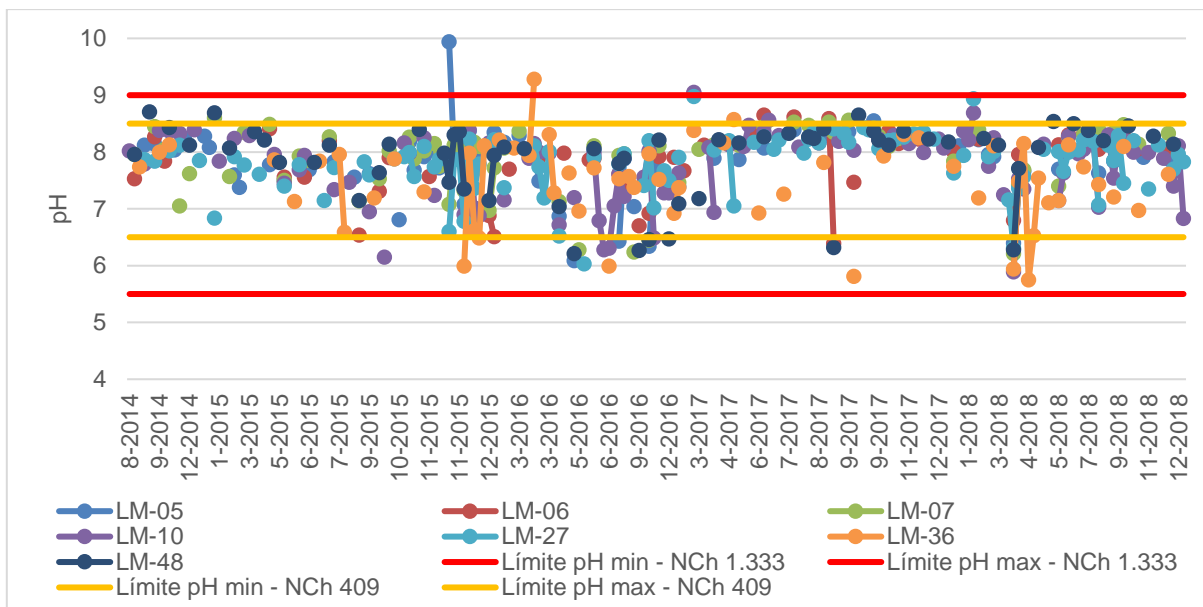
En el Apéndice G se presenta el análisis sin depuración de datos, es decir, sin la supresión de valores atípicos, errores de registro y/o valores nulos, evidenciando que las conclusiones del análisis se mantienen. Adicionalmente, se realiza un análisis de los rangos de calidad basal con el objetivo de determinar si los valores medidos el día en el que ocurrió el derrame de lamas se encuentran fuera de los rangos de calidad basal para las estaciones que cuentan con datos previos al 1 de junio de 2014. Este análisis se presenta en el Apéndice H.

Tabla 4-1: Valores depurados de la base de datos de calidad de aguas superficiales para los parámetros pH, CE, SDT y SO₄

Parámetro	Estación	Fecha	Porcentaje de la serie
pH	LM-10	septiembre de 2017	2%
	LM-10	enero de 2018	
CE	LM-05	noviembre de 2015	1%
	LM-07	noviembre de 2015	1%
	LM-10	septiembre de 2017	1%
	LM-36	septiembre de 2018	2%
	LM-48	abril de 2016	2%
SDT	LM-05	noviembre de 2015	1%
	LM-10	septiembre de 2017	1%
SO ₄	LM-05	noviembre de 2015	1%
	LM-07	noviembre de 2015	1%

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.

Figura 4-7: Registro de pH - agosto de 2014 a diciembre de 2019

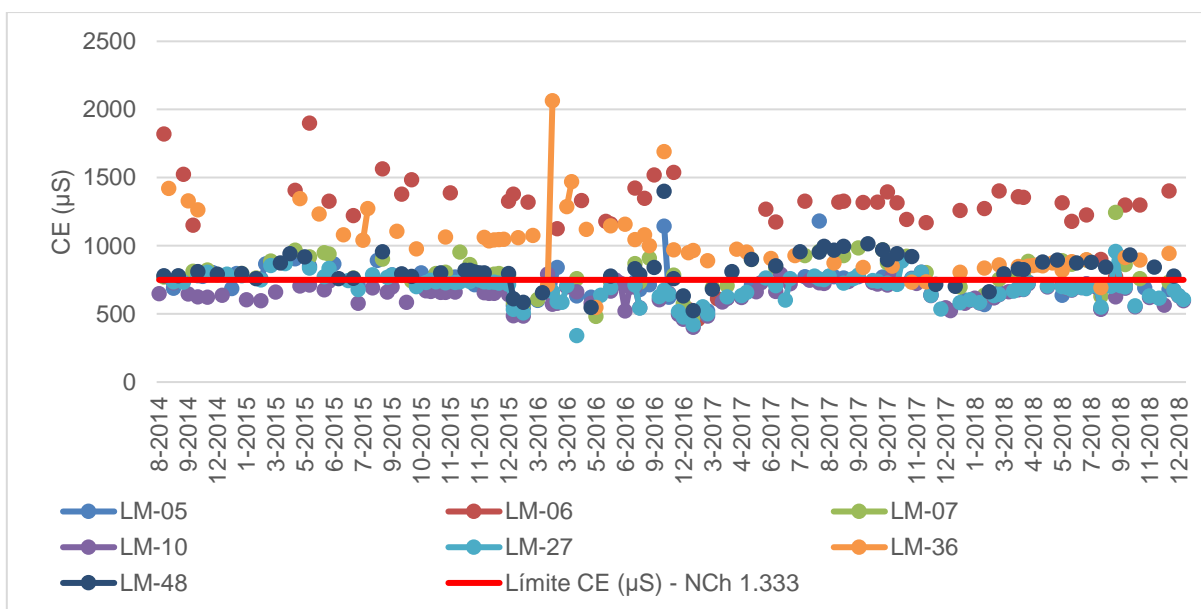


En promedio un 1% de los registros de pH supera los límites de la NCh 1.333/1978 para agua de riego y un 10% de los valores supera los límites de la NCh 409/2005 para agua potable.

Tabla 4-2: Análisis estadístico del pH - agosto de 2014 a diciembre de 2018

Punto de Monitoreo	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Observaciones Depuradas	Valores que superan los límites de agua de riego	Valores que superan los límites de agua potable
LM-05	7,9	6,1	9,9	0,6	72	2%	6%
LM-06	7,8	6,4	8,7	0,6	51	0%	8%
LM-07	7,9	6,2	8,6	0,6	71	0%	14%
LM-10	7,8	5,9	9,1	0,6	98	4%	12%
LM-27	7,8	6,0	9,0	0,5	98	0%	5%
LM-36	7,5	5,8	9,3	0,7	61	0%	6%
LM-48	7,9	6,2	8,7	0,6	62	0%	12%
Supera límites de agua potable (NCh 409/2005)							
Supera límites de agua de riego (NCh 1.333/1978)							

Figura 4-8: Registro de Conductividad Específica (CE) - agosto de 2014 a diciembre de 2018

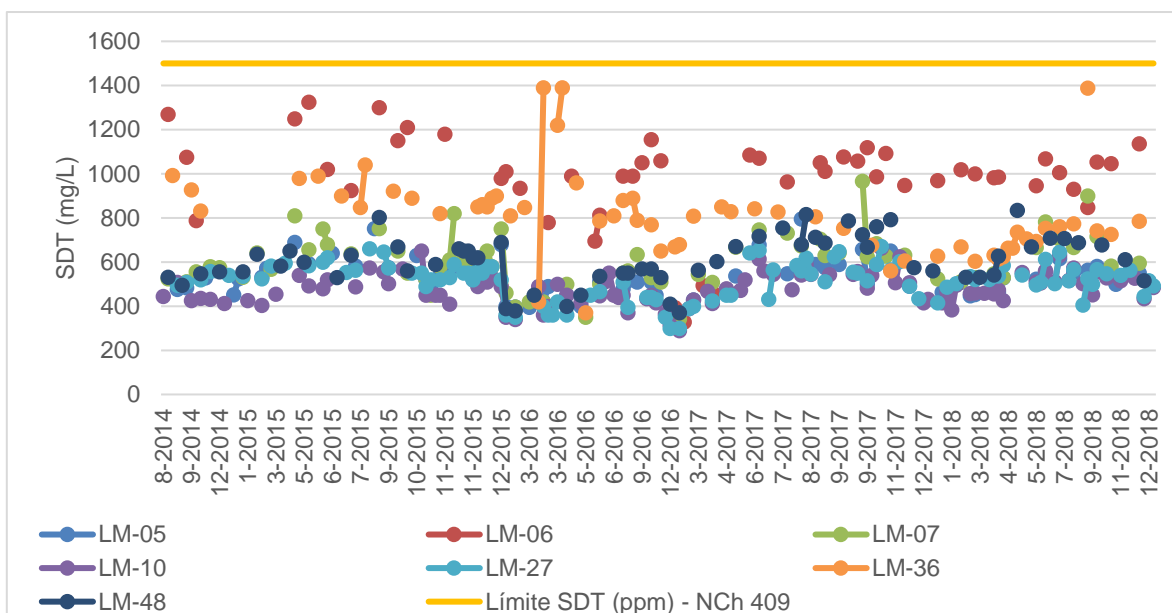


En promedio un 59% de los registros de CE supera los límites de la NCh 1.333/1978 para agua de riego.

Tabla 4-3: Análisis estadístico de la Conductividad Específica (CE) - agosto de 2014 a diciembre de 2018

Punto de monitoreo	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Observaciones Depuradas	Valores que superan los límites de agua de riego
LM-05	724	454	1.181	117	71	39%
LM-06	1.264	460	1.901	277	50	92%
LM-07	793	475	1.246	158	70	74%
LM-10	652	401	899	81	102	6%
LM-27	692	341	958	99	101	25%
LM-36	1.015	548	2.065	245	60	92%
LM-48	827	525	1.401	132	61	84%
Supera límites de agua de riego (NCh 1.333/1978)						

Figura 4-9: Registro de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) - agosto de 2014 a diciembre de 2018

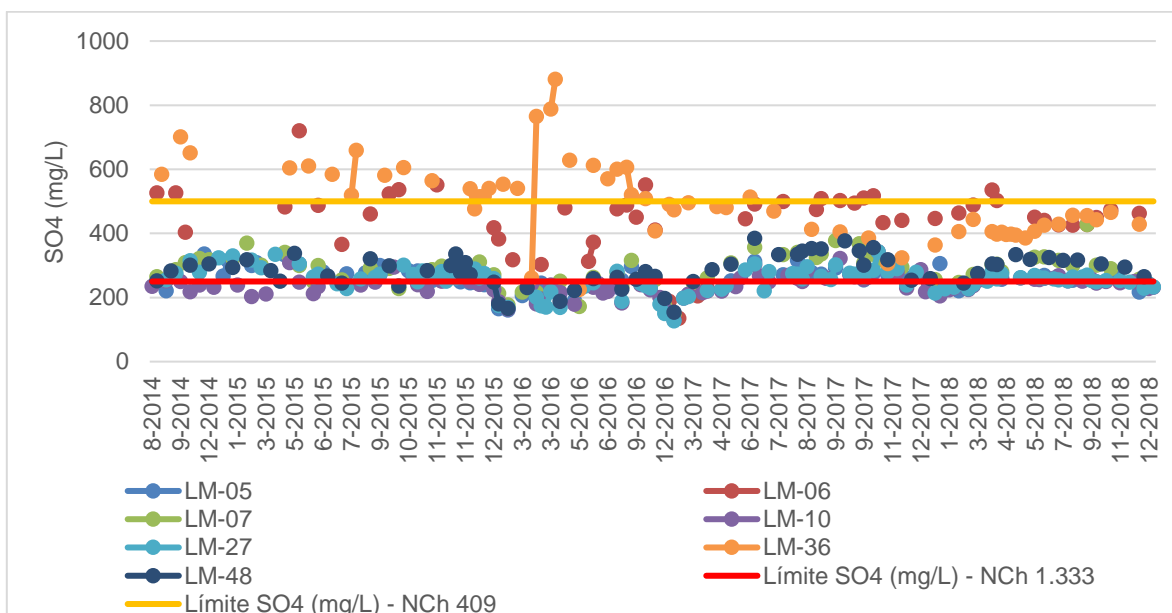


Ninguno de los registros de SDT supera los límites de NCh 409/2005 para agua potable.

Tabla 4-4: Concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) de agosto de 2014 a diciembre de 2018

Punto de Monitoreo	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Observaciones Depuradas	Valores que superan los límites de agua potable
LM-05	531	320	795	86	71	0%
LM-06	982	328	1.324	208	51	0%
LM-07	600	341	966	119	71	0%
LM-10	482	290	664	70	102	0%
LM-27	516	300	671	82	101	0%
LM-36	812	370	1.390	194	61	0%
LM-48	608	370	835	109	62	0%
Supera límites de agua potable (NCh 409/2005)						

Figura 4-10: Registro de la concentración de Sulfato (SO_4) - agosto de 2014 a diciembre de 2018



En promedio un 74% de los registros de SO_4 supera los límites de la NCh 1.333/1978 para agua de riego y un 10% de los valores supera los límites de la NCh 409/2005 para agua potable.

Tabla 4-5: Concentración de Sulfato (SO₄) - agosto de 2014 a diciembre de 2018

Punto de Monitoreo	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Observaciones Depuradas	Valores que superan los límites de agua potable	Valores que superan los límites de agua de riego
LM-05	257	138	335	39	71	0%	66%
LM-06	443	135	720	102	51	25%	92%
LM-07	285	147	427	49	70	0%	81%
LM-10	241	130	342	32	103	0%	36%
LM-27	254	127	342	39	101	0%	63%
LM-36	499	224	881	122	61	46%	98%
LM-48	284	153	384	49	62	0%	79%
	Supera límites de agua potable (NCh 409/2005)						
	Supera límites de agua de riego (NCh 1.333/1978)						

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

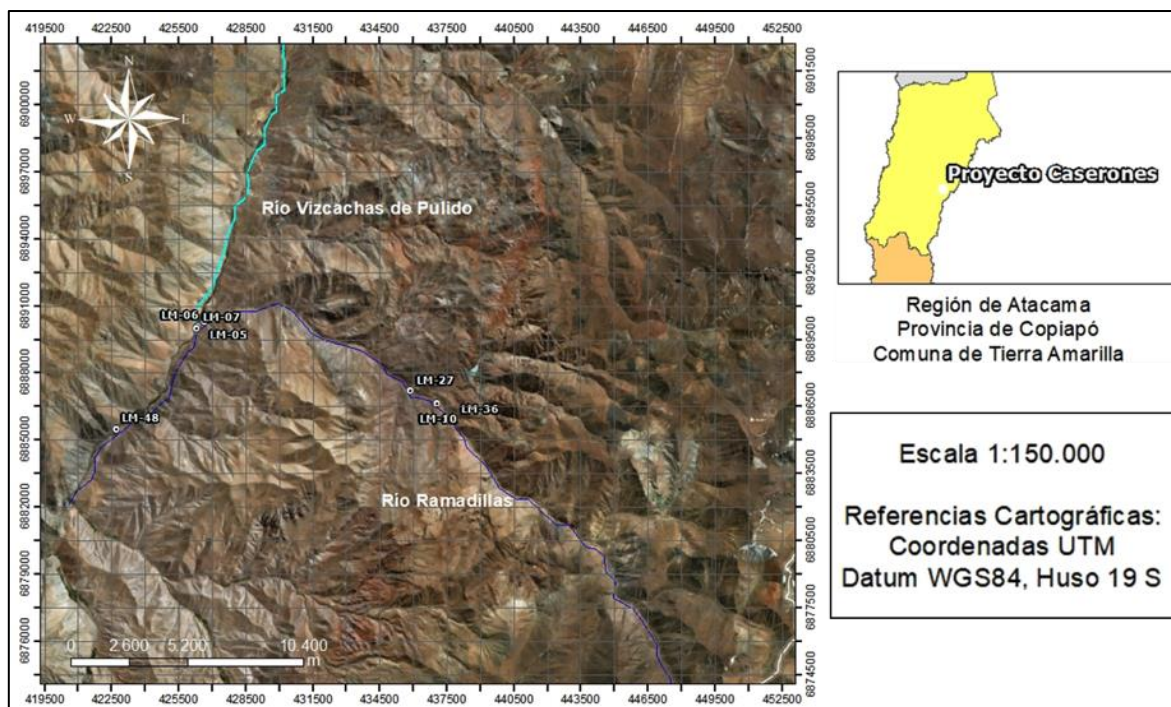
El día 20 de marzo, de manera inmediatamente posterior al derrame de lamas ocurrido en la Quebrada Variante 2 de la faena de minera Caserones se realizaron muestreos de aguas en siete puntos de monitoreo ubicados en las proximidades del lugar en el que ocurrió el derrame. La Tabla 4-6 presenta las estaciones 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 4-11 presenta la localización geográfica de las estaciones de monitoreo de calidad de aguas superficiales, consideradas en este informe.

Figura 4-11: 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 de manera inmediatamente posterior al derrame de lamas en el río Ramadillas, corresponde a un valor atípico, con excepción del parámetro pH en el punto de monitoreo LM-10.

Las figuras a continuación presentan los resultados de las mediciones realizadas el día 20 de marzo de 2018, los rangos en los que varían las concentraciones de los distintos parámetros y el promedio histórico para el periodo agosto de 2014 a diciembre de 2018.

Figura 4-12: pH en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos

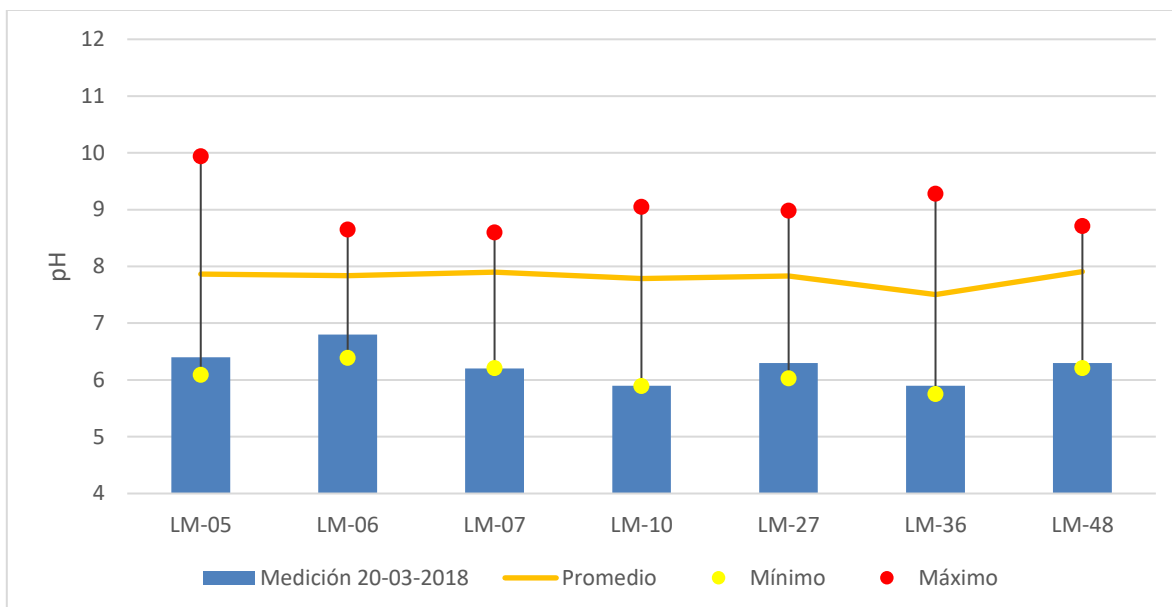


Figura 4-13: Conductividad Específica en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos

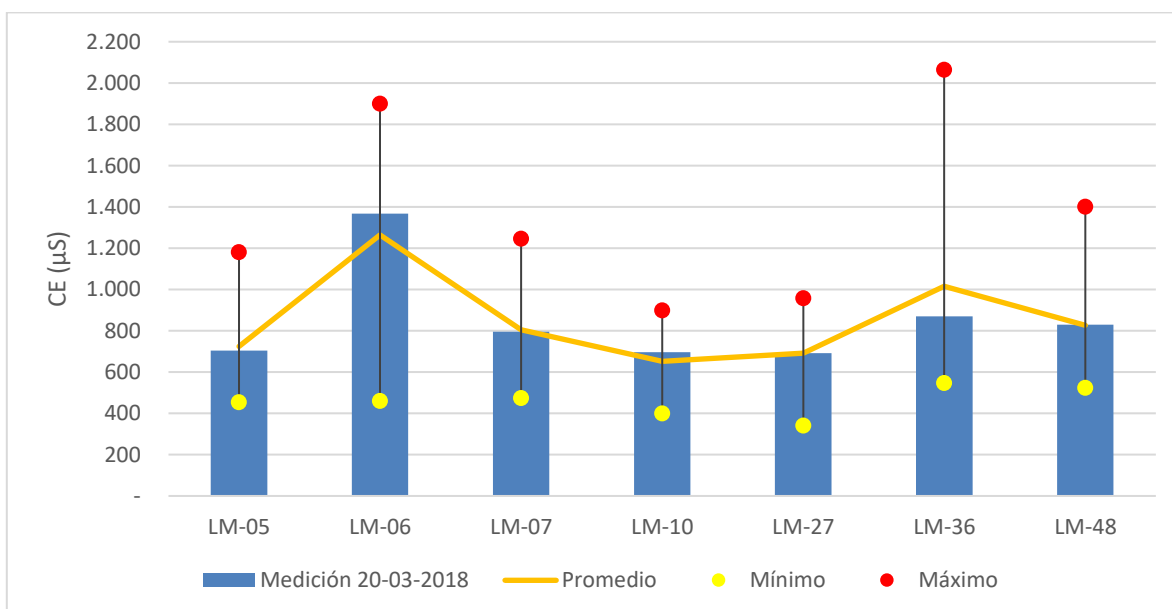


Figura 4-14: Sólidos Disueltos Totales en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos

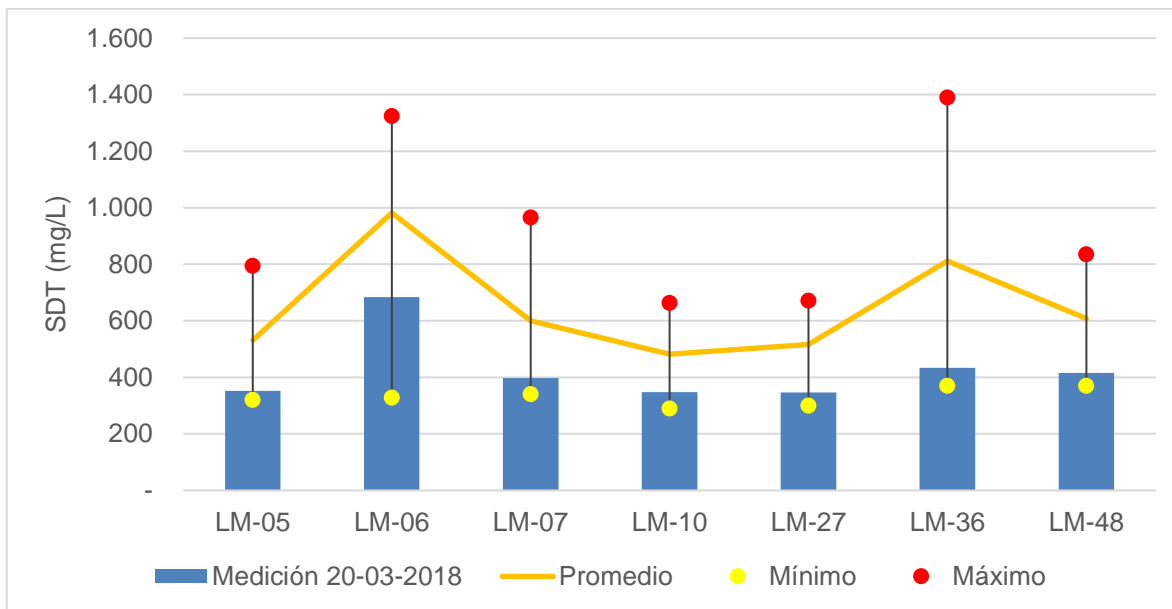
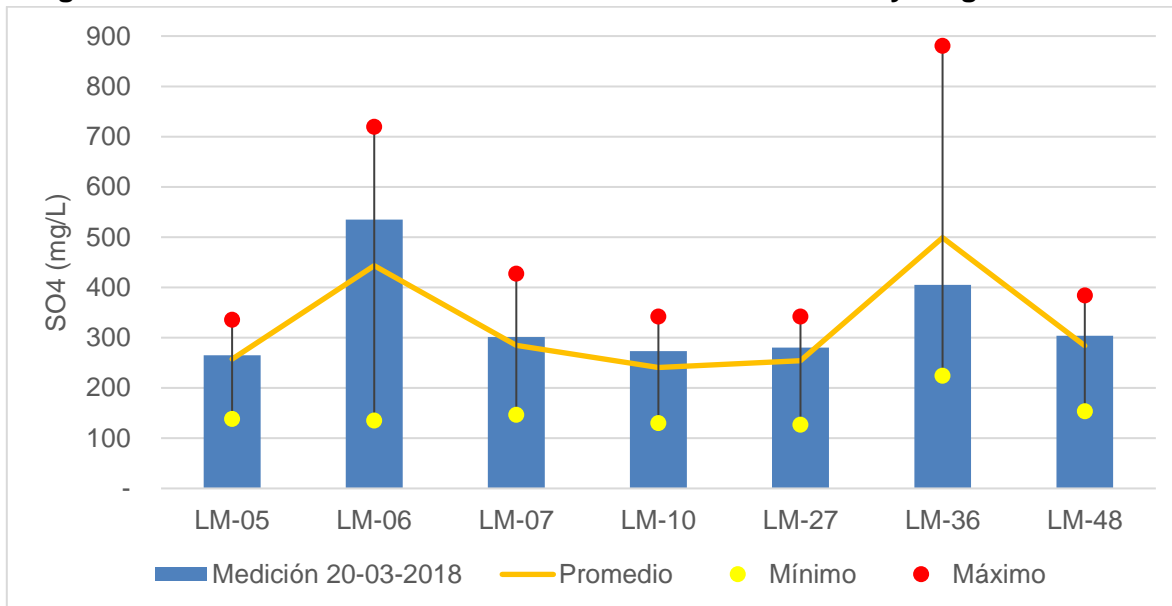


Figura 4-15: Sulfato en el río Ramadillas 20 de marzo de 2018 y rangos históricos



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 para los parámetros pH, CE, SDT y SO₄ que se presenta en la Tabla 4-7.

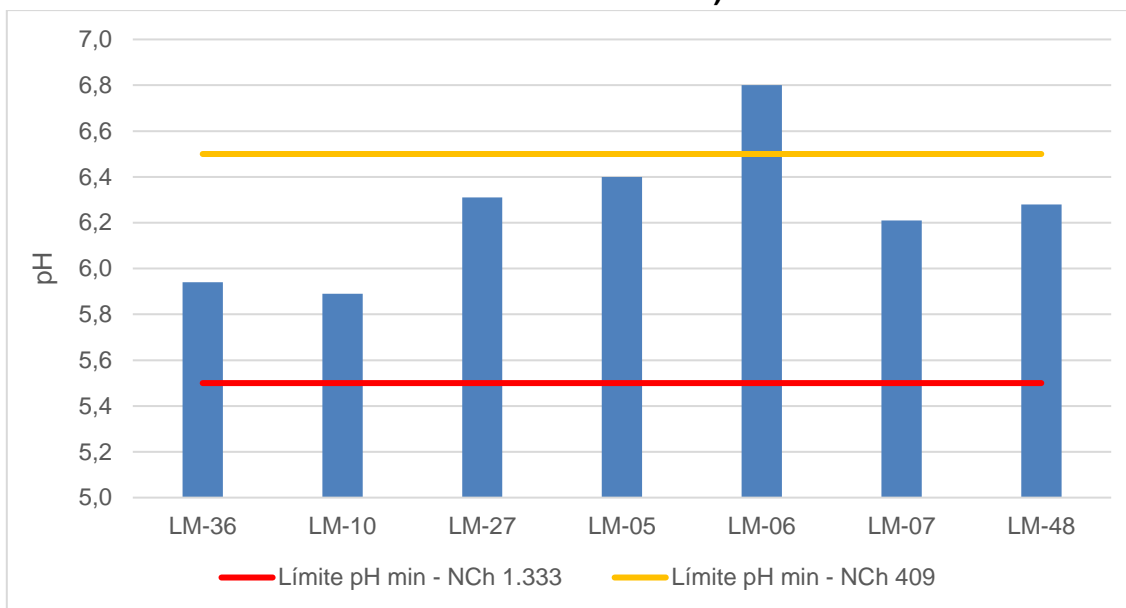
Tabla 4-7: Resultados para los parámetros pH, CE, SDT y SO₄, 20 de marzo de 2018

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

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

La Figura 4-16 presenta los resultados de las mediciones de pH realizadas el día 20 de marzo de 2018 y los límites inferiores de pH que se establecen en las normas de agua potable (NCh 409/2005) y en 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 4-16: 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” 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.

De acuerdo a las Guías para la Calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS), Tercera Edición, Volumen 1: Recomendaciones (pág. 338): No se propone ningún valor de referencia para este parámetro basado en efectos sobre la salud. Las Guías OMS establecen lo siguiente:

- Guías OMS para la calidad del agua potable, primera edición, 1984, 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, señalando que el intervalo aceptable de pH podría ser más amplio en ausencia de un sistema de distribución.
- Guías OMS para la calidad del agua potable, 1993: no se propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH.

De acuerdo al documento pH in drinking-water (Apéndice I), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/12), 2003. 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. De acuerdo a la sección “Effects on Humans” (página 1) de dicho documento “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 gastrointestinal. 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 de los efectos se incrementa a valores menores, bajo pH 2,5 *“el daño al epitelio es extensivo e irreversible”*.

Los resultados del monitoreo de calidad de agua realizado el día 20 de marzo de 2018, 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 de consumo humano y animal y dentro de los rangos permitidos por la norma de riego, es decir el agua puede utilizarse para riego sin ningún tratamiento para controlar la concentración de este parámetro.

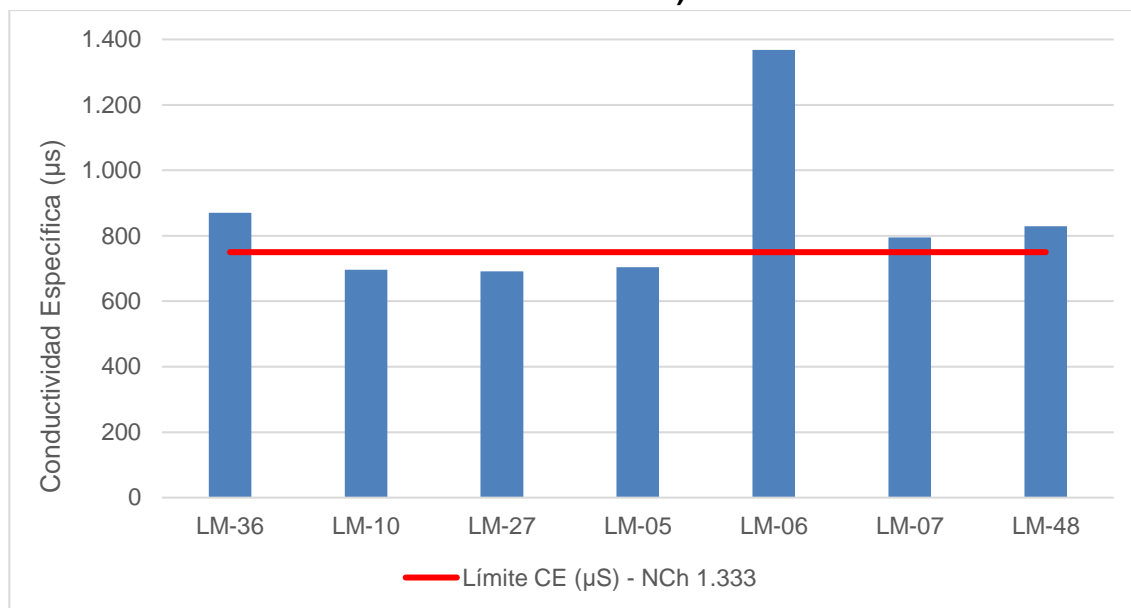
4.1.5.4 Efectos negativos a la salud de los Sólidos Disueltos Totales y Conductividad Eléctrica

La Conductividad Específica (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 4-17 presenta las mediciones *in situ* del parámetro Conductividad Específica (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.

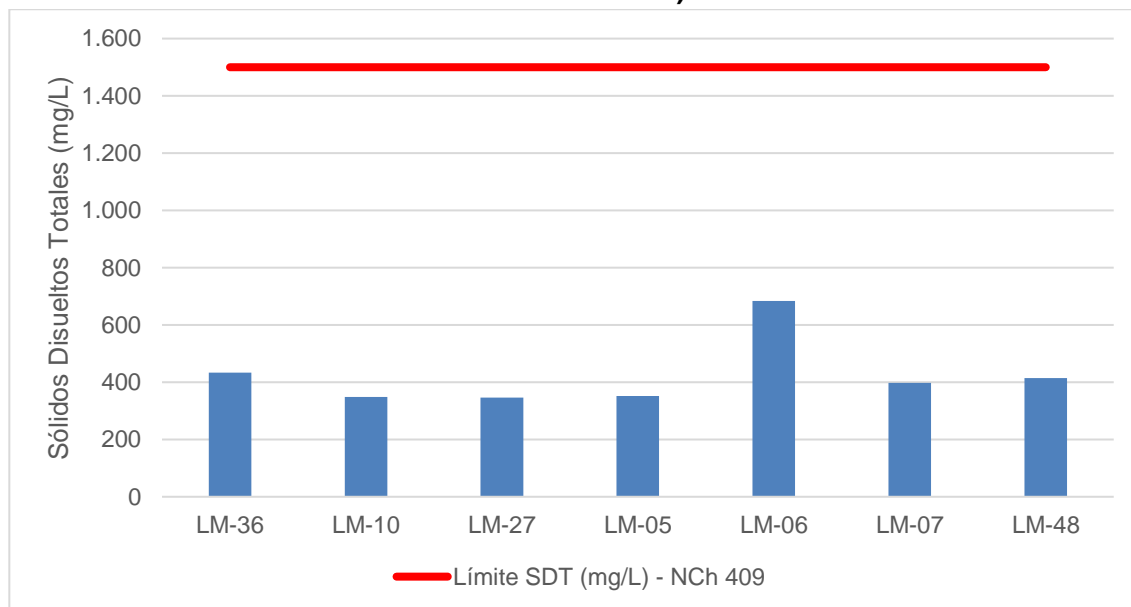
No obstante, como se expuso en la Figura 4-13, los valores medidos durante el 20 de marzo de 2018 se encuentran en el rango de los promedios históricos para este parámetro en todos los puntos de monitoreo. El mayor valor de CE se obtuvo en el punto de monitoreo LM-06, el que presenta mayores niveles 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 histórica”* del agua desde el inicio de la operación del proyecto Caserones.

Figura 4-17: Conductividad Específica y límites de calidad para agua de riego (20 de marzo de 2018)



La Figura 4-18 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 4-18: 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.

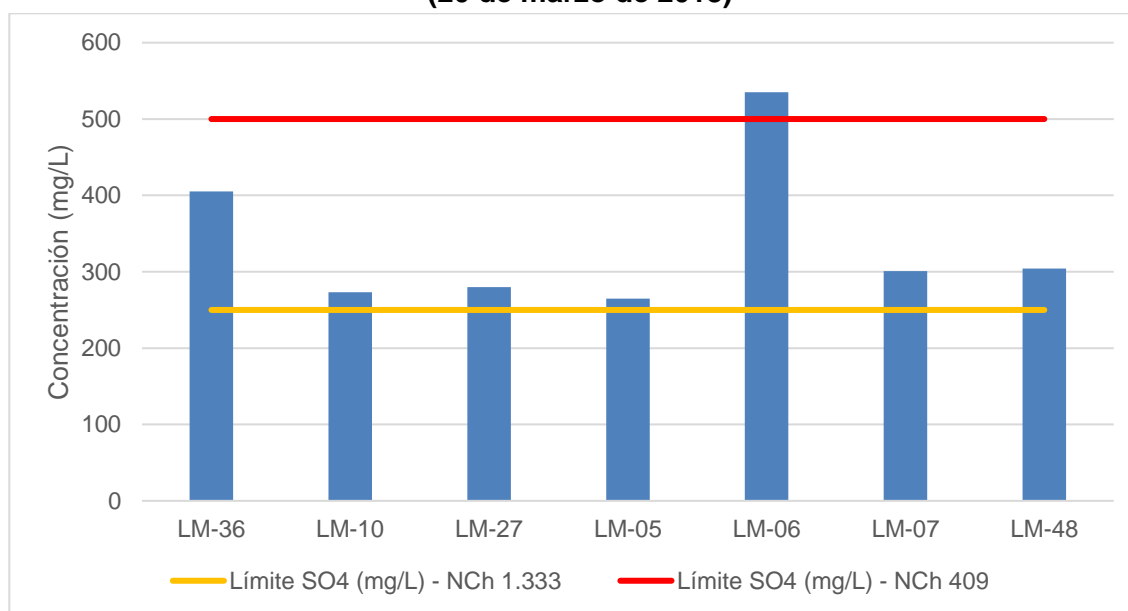
Por lo anterior, se descarta la generación de un riesgo para la salud humana o animal a partir de las concentraciones de SDT y los valores de CE medidos el 20 de marzo de 2018 en el río Ramadillas y sus afluentes.

4.1.5.5 Efectos negativos a la salud del Sulfato

La Figura 4-19 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 4-15 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 4-19: 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 histórica*” 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 hectáreas⁶ (ver Figura 4-20) y que constituye el área de estudio con mayor afectación de suelo. En cuanto al sector que va desde el Portal Norte a Cajón 24, también se presencia derrame en el suelo pero en menor medida (aproximadamente 0,69 ha⁷). Por lo tanto, una estimación conservadora de la superficie total de suelo afectado por lamas alcanzaría un valor de 2,68 ha.

Las dos visitas a terreno permitieron constatar la falta de limpieza del componente suelo en dichas áreas, por lo que la afectación de este componente se mantiene hasta el tiempo presente.

Figura 4-20: Componente suelo afectado por derrames de lamas anteriores al 20 de marzo de 2018 en Quebrada Variante 2.

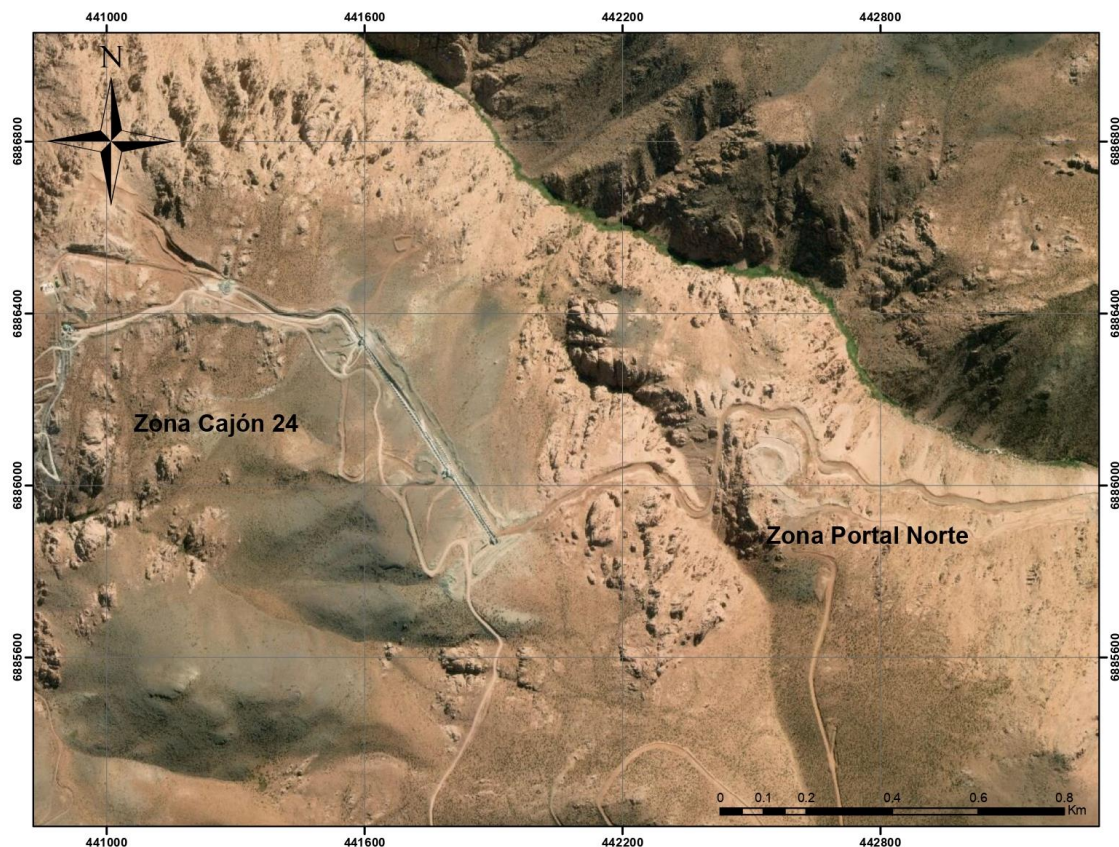


Fuente: Mejores Prácticas, 2019 en base a fotografía satelital de Google Earth

⁶ Cabe señalar que el documento de Minera Caserones “Factibilidad de Limpieza de Superficies Afectadas por Derrames de Lamas Previos a Marzo 2018” realiza una estimación levemente superior, de 1,99 ha, la que se considera dentro del margen de error de esta metodología, y como un valor conservador de la superficie de suelo afectada.

⁷ En base a estimación realizada por Minera Caserones en documento “Factibilidad de Limpieza de Superficies Afectadas por Derrames de Lamas Previos a Marzo 2018”.

Figura 4-21: Componente suelo afectado por derrames de lamas anteriores al 20 de marzo de 2018 en zona Portal Norte a Cajón 24.



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, excepto en algunos lugares puntuales. 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 quedan parcialmente cubierta por lamas, manteniendo en general un estado vigoroso y un color verde con escasa presencia de polvo en partes aéreas, exceptuando algunos ejemplares que se encuentra en las laderas afectadas por lamas a las cuales no se tuvo acceso a pie Asimismo, ninguna de estas especies se

encuentra en estado de conservación. En el caso del estrato herbáceo, es casi ausente como consecuencia de la época del año, ya que en verano-otoño casi desaparecen, excepto por algunas especies emergentes que se registran. 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 15 especies arbustivas y herbáceas, para dos campañas, una realizada en marzo del 2019 y otra en julio del mismo año. Las especies arbustivas mayoritariamente 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.
- La mayoría de los arbustos encontrados se encuentran vivos 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 de matorrales ampliamente distribuida en el área.

A partir de la visita a terreno del 31 de enero y del 10-12 de julio 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.

En este sentido la campaña de enero del 2019 evaluó 15 individuos próximos al sector de la IP-A 2, los cuales mayoritariamente, se encontraban en buenas condiciones de salud, y cuyo detalle de los datos tomados se muestra a continuación:

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 4-22: Ubicación de individuos de vegetación en Quebrada Variante 2



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Si bien, la vegetación en terreno muestreada durante la primera campaña, 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 muestreadas se encuentran evidentemente desarrollando alguna etapa de su ciclo normal de vida: ya sea están en floración, dispersión de frutos o yemas florales (Figura 4-22, Figura 4-23 y Figura 4-24). Por otro lado, el follaje de estos se presenta limpio y con una coloración propia de cada especie (Figura 4-25, Figura 4-26 y Figura 4-29).

Figura 4-23: *Haploppapulus bailahuen* en floración.



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 4-24: *Adesmia hystrix* en dispersión de semillas



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 4-25: *Buddleja suaveolens* en floración



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 4-26: *Adesmia aphylla* con follaje verde



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 4-27: *Ephedra breana* con follaje verde.



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 4-28: *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 proponen dos opciones o alternativas: un monitoreo de la vegetación con frecuencia semestral por un periodo de tres años, midiendo 30 individuos afectados y 30 control para comparar los efectos de la falta de limpieza de lamas y restauración del suelo sobre cada grupo; o realizar una compensación de la totalidad de individuos presentes en las zonas afectas por derrames anteriores de lamas, en un

ANEXO N° 5.1

Elaborado por: Mejores Prácticas Asociados

Julio, 2019

Página 51 de 66

porcentaje mayor al 100% (por ejemplo, del 160% de individuos, según lo aprobado ambientalmente en el EIA del proyecto).

En caso de realizarse el monitoreo de efectos crónicos, al cabo de tres años se debiera compensar el porcentaje de ejemplares efectivamente afectados, en un porcentaje recomendado mayor al 100% (por ejemplo, 160%).

En caso de realizarse una compensación por el total de individuos presentes en las zonas afectas por derrames anteriores de lamas, esta medida es altamente conservadora, pues compensa la totalidad de los potenciales individuos afectados, de manera anterior e independiente de la verificación de eventuales efectos crónicos. En este caso no se requiere la ejecución del monitoreo de efectos crónicos.

En concordancia con esto, como primera campaña de la propuesta de monitoreo, se procedió los días 10 a 12 de julio del 2019, a efectuar un marcaje de 18 individuos afectados y 31 individuos control en el sector Portal Norte a Cajón 24 y, 30 individuos afectados y 61 individuos control en el sector Quebrada Variante 2 - Eje 500. La ubicación de cada individuo muestreado, se señala en las figuras a continuación.

Se muestrearon 61 individuos control (más que los 30 comprometidos), con la finalidad de tener datos de un sector donde no fuese posible la ocurrencia de nuevos derrames.

Figura 4-29: Mapa de individuos muestreados en sector Portal Norte a Cajón 24

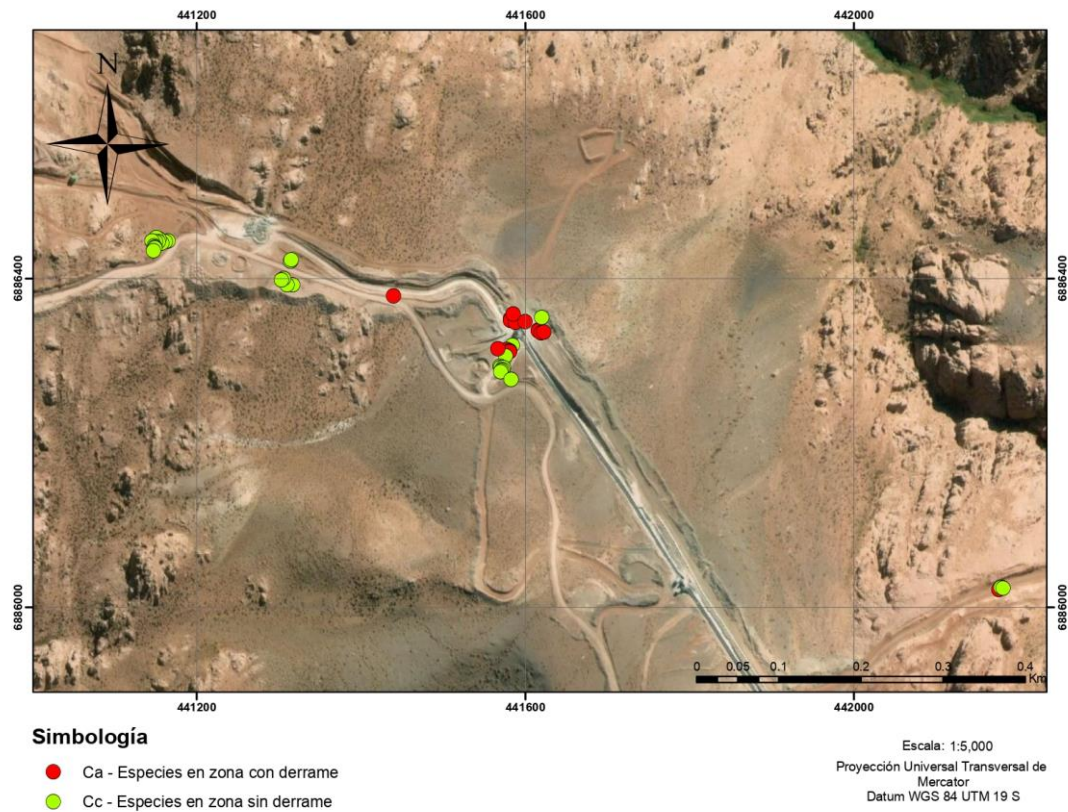
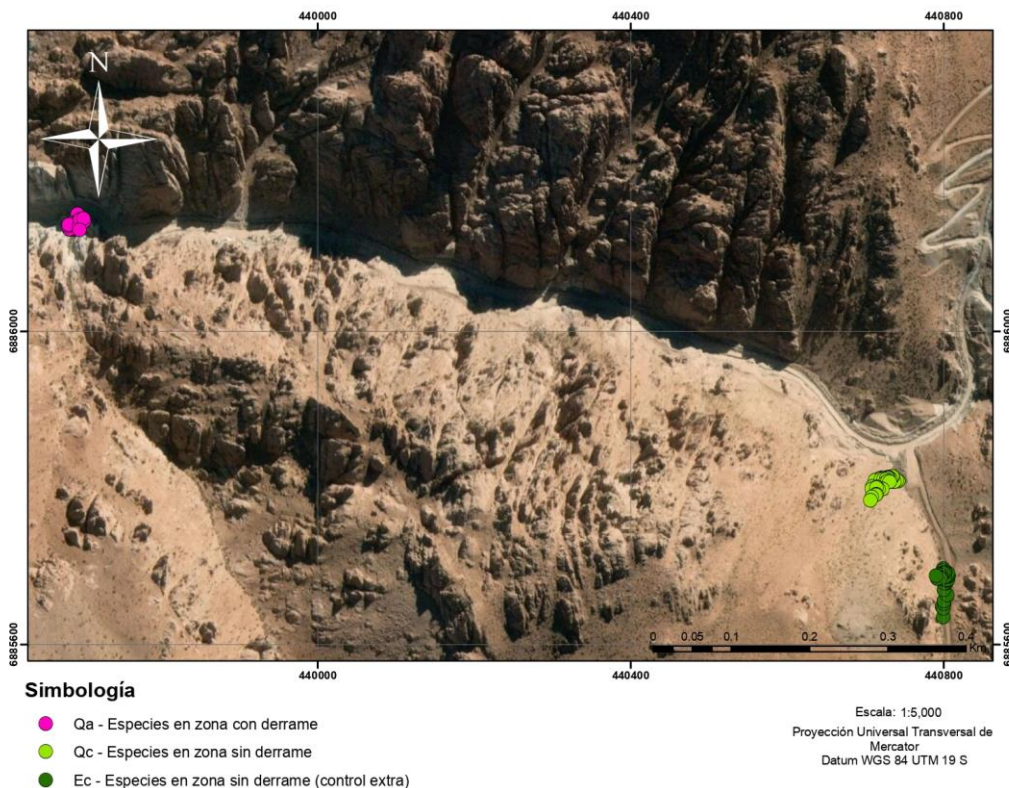


Figura 4-30: Mapa de individuos muestreados en sector Quebrada Variante 2 a Eje 500



Del total de datos recogidos es posible identificar que la mayoría de las especies de la comunidad se encuentran en una etapa fenológica de crecimiento vegetativo y receso vegetativo.

En cuanto a la etapa de receso vegetativo, se debe a las especies de plantas al verse enfrentadas a condiciones desfavorables durante la época invernal, deciden reducir su metabolismo y frenar el crecimiento para optimizar recursos hasta que las condiciones vuelvan a ser favorables. Asimismo, el prolongado periodo de ausencia de lluvias en la zona podría estar favoreciendo esta condición.

Por su parte, las especies en crecimiento vegetativo, corresponden a individuos que localmente continúan su desarrollo a pesar de las condiciones adversas propiciadas por la temporada invernal.

Es importante mencionar que se realizó un recorrido completo en ambos sectores, en el caso del Portal Norte a Cajón 24 no se encontraron más individuos que los 18 marcados en sectores con derrame de lamas. En el sector Quebrada Variante 2 - Eje 500, se hizo la búsqueda de individuos afectados que estuvieran en áreas accesibles, considerando la

seguridad de los especialistas dado que es un área de fuertes pendientes, se encontró una subquebrada de la Variante 2 que cuenta con 30 individuos afectados, por lo cual fue posible alcanzar el “n” establecido.

Figura 4-31: Ejemplo *Ephedra breana* en zona con derrame de lamas, Quebrada Variante 2



Además, paralelamente se procedió a inventariar las especies detectadas de plantas vasculares, ya sean arbustivas o herbáceas, registrándose la especie y el área en que se encontró ya sea Quebrada Variante 2 o Portal Norte a Cajón 24. A continuación, se listan las especies detectadas en el área de estudio.

Tabla 4-9: . Especies en el área de estudio

N°	Nombre científico	Forma de crecimiento	Etapas Fenológicas	Lugar*
1	<i>Adesmia aegiceras</i>	Arbusto	Crec. Vegetativo /Receso	Qbda-E
2	<i>Adesmia aphylla</i>	Arbusto	Crec. Vegetativo /Receso	Qbda-E/PC
3	<i>Adesmia hystrix</i>	Arbusto	Crec. Vegetativo /Receso	PC
4	<i>Buddleja suaveolens</i>	Arbusto	Crec. Vegetativo	Qbda-E
5	<i>Ephedra breana</i>	Arbusto	Crec. Vegetativo /Receso	Qbda-E
6	<i>Haplopappus baylahuen</i>	Arbusto	Crec. Vegetativo /Receso	Qbda-E/PC
7	<i>Pappostipa chrysophylla</i>	Hierba	Crec. Vegetativo	PC
8	<i>Senecio rahmeri</i>	Hierba	Floración	PC
9	<i>Fabiana sp.</i>	Arbusto	Crec. Vegetativo	Qbda-E
10	<i>Cristaria sp.</i>	Hierba	Receso	Qbda-E
11	<i>Phacelia sp.</i>	Hierba	Crec. Vegetativo	PC
12	<i>Polyachyrus sp.</i>	Hierba	Crec. Vegetativo	Qbda-E/PC
13	<i>Cryptantha sp.</i>	Hierba	Crec. Vegetativo	PC
14	<i>Viola sp.</i>	Hierba	Crec. Vegetativo	PC
15	<i>Viviania sp.</i>	Hierba	Crec. Vegetativo	Qbda-E/PC

Dado que en la Quebrada Variante 2 existen sectores donde la ladera tiene una pendiente tan abrupta que es imposible hacer un recorrido a pie por sobre éstas para muestrear las plantas que crecen en zonas afectadas por derrame de lamas, con la finalidad de tener una aproximación de las especies aquí ubicadas, se procedió a contar visualmente dichas especies.

Figura 4-32: Ejemplo de ladera con fuerte pendiente donde se realizó conteo visual de especies



En total se contabilizaron un total de 474 individuos aproximadamente creciendo en zonas afectadas por derrame de lamas, de éstas un 39% corresponde a *Ephedra breana*, un 33% a *Adesmia aphylla* y un 15% a *Haplopappus baylahuen*, entre otras especies contabilizadas.

En esta sección de la Quebrada Variante 2, es importante enfatizar que dada las dificultades impuestas por la distancia a la especie, la pendiente del terreno para llegar a ella y el mismo derrame de lamas que en algunos casos, no permitía identificar la forma y follaje del individuo a distancia, estos valores corresponden a una aproximación de los individuos creciendo en zonas con derrame de lamas, tanto en número como la identificación de la especie a la que corresponde cada planta medida.

En este sentido, cabe señalar que las especies identificadas con mayor porcentaje son también las que presentan mayor facilidad para ser identificadas a distancia, ya que sus formas (*Ephedra breana* y *Adesmia aphylla*) tienen una silueta característica en cada especie.

El Apéndice J, “Muestreo de Flora y Vegetación en Zonas con Derrame de Lamas – Campaña Invierno 2019”, presenta mayores detalles y antecedentes de estos resultados.

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.

Sin embargo, dado que al momento de las visitas a terreno del 31 de enero y del 10-12 de julio del 2019, se observaron algunos sectores afectados por lamas, aunque en menor proporción, se proponen futuras campañas de muestreo de vizcachas, así como campañas de creación de hábitat para vizcachas y una campaña adicional de captura y relocalización para herpetofauna.

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 4-33: Fondo de quebrada limpio tras limpieza del derrame del 20 de marzo de 2018



Fuente: Mejores Prácticas, 2019.

Figura 4-34: 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, iniciando la primavera del 2019, de forma semestral, y cada vez que hayan eventuales derrames de lamas.

Además, se proyecta de forma complementaria al monitoreo, la creación de hábitat para vizcachas en zonas que no puedan ser afectadas por el derrame de lamas. Esta generación de hábitat considerará un estudio de disponibilidad de territorio, que contemple formaciones rocosas, oferta alimenticia, humedad, tipo de suelo, viento, entre otros factores que puedan influir, por ende, el nuevo lugar y superficie de este hábitat, debe zanjarse posterior a una primera campaña de monitoreo que permita levantar información referente a los factores que están involucrados. Complementariamente, se proyecta hacer un monitoreo de la utilización de este nuevo hábitat por parte de las vizcachas.

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, 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 ocasionó un derrame de lamas el día 20 de marzo de 2018, se concluyó lo siguiente:
 - a. 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.
 - b. 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.
 - c. El volumen total de lamas que pudo haber rebasado a través de la apertura de la compuerta fue menor a 1,0 m³, y gran parte de éste 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.
 - 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 riesgo sobre 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.
 - 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 en dos áreas: Quebrada Variante y en el sector Portal Norte a Cajón 24. Esta afectación se mantiene parcialmente hasta el tiempo presente, según fue verificado en terreno. La magnitud de este impacto se estimó conservadoramente en aproximadamente 2,68 hectáreas, y se sugiere su limpieza, tal como se detalla en las recomendaciones.
 - b. Existe evidencia de que la mayoría de la comunidad de plantas presentes en el sector Quebrada Variante 2 – Portal Norte a Cajón 24, se encuentra desarrollando un ciclo de vida normal con lo que corresponde a la época. Si bien, se visualiza un impacto sobre este componente, este fue de corta duración y restringido a ciertos sectores, pues la gran mayoría de la comunidad de plantas actualmente parecen estar en buenas 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 Quebrada Variante 2, y con no haber capturado y relocalizado oportunamente los individuos de herpetofauna y micromamíferos, se concluyó lo siguiente:
 - a. En cuanto al retraso en la ejecución de la limpieza de la quebrada, se considera que los efectos sobre el suelo se mantienen hasta el tiempo

presente, pero no existe evidencia sobre un impacto significativo sobre los componentes flora y fauna, por las siguientes razones principales:

- Según se informó en los informes 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.
- La flora y vegetación a pesar de que en términos generales se encuentra desarrollando su ciclo normal de vida, muestra afectación en una menor proporción de la comunidad en el tiempo presente, tal como se da cuenta en el informe, por lo que se recomienda proceder a una futura campaña de captura y relocalización de herpetofauna, así como monitoreo de vizcachas y la ejecución de una eventual medida de compensación de creación de hábitat .

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

- 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 y rocas de las 2,68 hectáreas afectadas, donde ello sea posible considerando las restricciones de pendiente, accesibilidad y seguridad existentes en el área de la Quebrada Variante 2, con el objetivo de restaurar este componente a su condición previa a los derrames y de evitar futuras afectaciones potenciales a la fauna.

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 representativos 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
- A su vez, en caso de detectar efectos crónicos en la población afectada, según lo indicado en el párrafo anterior, se compromete una compensación que considera reposición de un 160% de individuos en un sector que no tenga la posibilidad de ser afectado por lamas. Para ello se recomienda realizar dicha plantación preferentemente en el Km 10 de la ruta 1.

- De manera alternativa, se propone compensar el 160% de los individuos presentes en los sectores afectados por derrames anteriores de lamas, presenten o no presenten efectos crónicos, en la misma proporción (160%). En caso de realizarse esta medida, se debiera considerar la reforestación con 760 ejemplares (160% de 474 individuos).
- Esta última alternativa (compensación por el total de individuos presentes en las zonas afectas por derrames anteriores de lamas) se considera preferible a la anterior (monitoreo de eventuales efectos crónicos y reforestación sólo de los individuos afectados), pues reduce la incertidumbre asociada a la medida, pues compensa la totalidad de los potenciales individuos afectados de manera anterior e independiente de la verificación de eventuales efectos crónicos. En este caso no se requiere la ejecución del monitoreo de efectos crónicos.
- Además, se propone realizar un monitoreo o seguimiento de poblaciones de micromamíferos con especial énfasis en vizcachas, iniciando la primavera del 2019, de forma semestral, y anualmente cada vez que hayan eventuales derrames de lamas. Se proyecta de forma complementaria al monitoreo, la creación de hábitat para vizcachas en zonas que no puedan ser afectadas por el derrame de lamas. Esta generación de hábitat considerará un estudio de disponibilidad de territorio, que contemple formaciones rocosas, oferta alimenticia, humedad, tipo de suelo, viento, entre otros factores que puedan influir, por ende, el nuevo lugar y superficie de este hábitat, debe zanjarse posterior a una primera campaña de monitoreo que permita levantar información referente a los factores que están involucrados. Complementariamente, se proyecta hacer un monitoreo de la utilización de este nuevo hábitat por parte de las vizcachas.
- En relación a la herpetofauna, se propone realizar una campaña adicional de rescate y relocalización, la que complementaría la ejecutada en 2018. Esta nueva campaña podría ejecutarse en primavera de 2019.

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 Incidente 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.

APÉNDICE F: Cronología de Eventos de Derrames de Lamas Anteriores a marzo de 2018 en Tramo Portal Norte a Cajón 24.

APÉNDICE G: Análisis Histórico de Calidad de Agua sin Depuración de Datos ni Supresión de Valores Atípicos.

APÉNDICE H: Análisis de la calidad basal de las aguas para los parámetros pH, CE, SDT y SO₄.

APÉNDICE I: "pH in Drinking Water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality".

APÉNDICE J: Muestreo de Flora y Vegetación en Zonas con Derrame de Lamas – Campaña Invierno 2019.