

EN LO PRINCIPAL: Téngase presente; OTROSÍ: Acompaña documentos.



**SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE**

**Sebastián Gil Clasen**, en representación de **Minera Invierno S.A. y Portuaria Otway Limitada**, todos domiciliados para estos efectos en Avenida El Bosque Norte N° 500, piso 23, comuna de Las Condes, ciudad de Santiago, en procedimiento sancionatorio Rol D-050-2016, a esta Superintendencia del Medio Ambiente respetuosamente digo:

Frente a los cargos formulados mediante Res. Ex. N° 1/Rol D-050-2016, de fecha 9 de agosto de 2016, mis representadas en conformidad al artículo 42 de la LOSMA presentaron un programa de cumplimiento, con fecha 8 de septiembre de 2016. Dicho programa de cumplimiento fue objeto de observaciones por parte de esta Superintendencia, las que fueron abordadas en el escrito presentado con fecha 22 de noviembre de 2016. Luego, mediante Res. Ex. N° 6/Rol D-050-2016, esta Superintendencia efectuó nuevas observaciones, las que fueron incorporadas en el programa de cumplimiento refundido presentado con fecha 6 de febrero de 2017. Posteriormente, a través de la Res. Ex. N° 8/Rol D-50-2016 la SMA realizó nuevas observaciones, las cuales fueron incorporadas en el programa de cumplimiento refundido presentado con fecha 27 de abril de 2017.

Finalmente, con fecha 9 de mayo, se realizó una reunión de asistencia al cumplimiento, donde se orientó a mis representadas respecto del contenido del programa de cumplimiento refundido, por lo que, mediante esta presentación, y de conformidad al artículo 17 letra f) de la Ley N° 19.880, vengo en formular las siguientes observaciones y complementaciones, según detallo a continuación:

**A. Cargo N° A1 (RCA N° 025/2011 Considerando 7.1.7) y Cargo N° A2 (RCA N° 025/2011 Considerando 8.6)**

En relación al contenido del programa de cumplimiento refundido presentado con fecha 27 de abril de 2017, cabe señalar que en ambos cargos ya individualizados, se identificó como efecto negativo el *"arrastre de sólidos suspendidos en Chorrillo Invierno 2 que esporádicamente han superado el valor de referencia definido por la DGA en el SUP-8"*.

Los referidos cargos dicen relación con que la implementación de las obras de decantación para las aguas provenientes del rajo y los canales interceptores 1 y 2 no permitieron abatir adecuadamente los sólidos suspendidos, así como a la superación de parámetros físicos y químicos en el SUP-8.

Ahora bien, con el objetivo de poder analizar en forma científica y objetiva eventuales efectos negativos como consecuencia de dichas infracciones, es que mis

representadas encargaron la elaboración de un Informe Experto al Centro de Ecología Aplicada, informe que se complementa y se acompaña en el otrosí de esta presentación. En síntesis, las conclusiones del referido Informe Experto, señalan que:

- 1) El Chorrillo Invierno 2 presenta diversos tipos de ecosistemas acuáticos: i) lótico heterotrófico (tramo superior del Chorrillo Invierno 2, dentro de zona boscosa); ii) lótico autotrófico (tramo medio del Chorrillo Invierno 2, fuera de la zona boscosa); y iii) lentico estuarino (albufera).
- 2) Cada uno de los ecosistemas acuáticos encontrados presentan características estructurales y funcionales particulares, las cuales determinan respuestas distintas a perturbaciones de origen natural y antrópico. Dichos ecosistemas acuáticos, dado el tiempo de exposición y los niveles encontrados, deberían presentar riesgo ecológico bajo. Sin embargo, la albufera requiere un análisis particular durante periodos en la cual la barra de arena aísla hidráulicamente este ecosistema del mar.
- 3) Al analizar aspectos abióticos de los ecosistemas lóticos (ej. morfología, hidráulica, hidrodinámica), se observa que cada uno de ellos presenta una elevada heterogeneidad espacial, con presencia de rápidos, pozas y zonas meandrosas, las cuales permiten una respuesta resiliente diferencial a las perturbaciones.
- 4) El curso de agua que alimenta el Chorrillo Invierno 2, ha registrado modificaciones en la calidad físico-química del agua respecto de aquellos registrados durante la línea base del EIA. Dichas modificaciones corresponden principalmente a aumento en la concentración de manganeso, sulfato, sólidos totales suspendidos, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica. A partir de los resultados aportados por Mina Invierno se pudo observar que, desde el mes de septiembre de 2016, los valores de SST se han mantenido dentro de los umbrales definidos en la Resolución de Calificación Ambiental.
- 5) Estudios científicos internacionales no evidencian efectos negativos de excedencia de manganeso sobre organismos acuáticos a los niveles registrados en el Chorrillo Invierno 2. Para el sulfato existen antecedentes científicos que plantean que niveles superiores a 500 mg/L en aguas duras podrían generar efectos negativos sobre organismos acuáticos. En relación a los sólidos totales suspendidos los efectos sobre los ecosistemas acuáticos están centrados en el sepultamiento de comunidades bentónicas y disminución de la producción primaria acuática por disminución de la transparencia del agua. Este proceso es controlado por el lavado hidráulico que realizan las crecidas anualmente. En relación a las variables sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica, los valores de excedencia tampoco suponen riesgos a la biota acuática presente, ni crónica ni aguda, según datos y publicaciones internacionales.
- 6) En términos generales, es posible esperar una probabilidad de riesgo ecológico baja, considerando los niveles de excedencia de algunas variables químicas registradas en el Chorrillo Invierno 2 y asociado esto también a los bajos tiempos de exposición.



7) Los resultados obtenidos en el programa de monitoreo que realiza Minera Invierno en el Chorrillo Invierno 2, en función a las directrices establecidas en la RCA, han permitido identificar cambios en la composición y abundancia en las comunidades de microalgas e invertebrados bentónicos. Estos cambios han sido registrados en las 2 estaciones de monitoreo localizadas en el Chorrillo Invierno 2, en ecosistemas acuáticos diferentes según los antecedentes entregados en este Informe Experto. Lo anterior plantea la necesidad de identificar el origen de los cambios, a la luz de las propiedades estructurales y funcionales de cada ecosistema acuático.

8) El análisis de los ecosistemas acuáticos realizado durante el desarrollo de este Informe Experto, arrojó como principales resultados que: i) los 3 ecosistemas acuáticos presentes en el Chorrillo Invierno 2 se encontraban activos; ii) los diferentes ecosistemas acuáticos mantienen un metabolismo ecosistémico acorde con las características naturales de los ecosistemas acuáticos, especialmente las relacionadas con la producción primaria; ii) Los 3 ecosistemas acuáticos presentan una elevada heterogeneidad espacial, es esperable también que presenten importantes cambios temporales en su estructura y funcionamiento relacionados al régimen de caudal.

9) En términos del estado ecológico, es posible señalar que los ecosistemas acuáticos presentes en el Chorrillo Invierno 2, mantienen actualmente características comparables con ecosistemas naturales con patrones de perturbación natural, siendo necesario evaluar de manera representativa y científicamente validada, qué componentes y procesos de los ecosistemas podrían haber sido afectados por las excedencias en la calidad físico-química y su potencial capacidad de recuperación, si ese fuese el caso.

10) Teniendo en consideración la heterogeneidad y variabilidad natural de los ecosistemas acuáticos identificados en Chorrillo Invierno 2, para establecer efectos relevantes de las excedencias de SST, manganeso, sulfato, SDT y Conductividad Eléctrica sobre los organismos acuáticos, es necesario evaluar de manera integrada las concentraciones máximas de estos parámetros, tiempos de exposición y la sensibilidad de los organismos. Sin embargo, a partir de los resultados obtenidos en este Informe de Experto, podemos indicar que la probabilidad el riesgo ecológico es baja y se concentra en periodos de bajo caudal (estiaje).

Sobre la base de los antecedentes anteriormente expuestos, es que solicitamos que se reemplace el Informe de Experto (**Anexo 15**) presentado en el Programa de Cumplimiento Refundido ingresado con fecha 27 de abril de 2017, por el documento que se acompaña en el otrosí de esta presentación.

**B. Cargo A2 (RCA N° 025/2011 Considerando 8.6)**

En relación a la Acción 16 del programa de cumplimiento refundido presentado con fecha 27 de abril de 2017, cabe señalar que mediante el presente escrito se solicita reemplazar dicha acción por la siguiente:

	Acción y meta			Reportes de avance		Impedimentos
16	Cumplimiento progresivo de los valores umbrales para el punto SUP-8 respecto al parámetro SST, en conformidad a la metodología de medición establecida en el Memo N° 42/2017 de la Dirección General de Aguas del 17 de febrero de 2017.	4 meses desde la notificación de la resolución que aprueba el Programa de Cumplimiento y progresivamente durante su vigencia.	100% de las mediciones diarias de SST en el punto SUP-8, realizadas por ETFA y reportadas, acreditando el cumplimiento gradual del valor medio mensual representativo calculado según la metodología indicada en Memo N°42/2017 de la DGA  Mes 5 al mes 12: máximo 3 excedencias.  Mes 13 al mes 24: máximo 2 excedencias.  Después del mes 24 habrá un 100% de cumplimiento.	En los reportes bimestrales se enviarán: 1. Comprobante de carga del reporte asociado al considerando 8.6 de la RCA N°25/2011 al SSA de la SMA, conforme a la Res. Ex. N°223/2015. 2. Registro consolidado, incluyendo datos históricos, en formato Excel. Los campos mínimos que incluirá el registro son: fecha y hora de las muestras, y resultados de SST certificados por ETFA en terreno.	No aplica.	Para el segundo año, impedimentos asociados a las Acciones 8 y 9 que no permitan la ejecución y puesta en marcha de las obras en la oportunidad que se indican en el PdC.  A partir de ejecución de la acción 22, se modifica la forma de verificar la calidad de las aguas del Chorrillo Invierno 2.
	Forma de implementación			Reporte final		Acción y plazo de aviso en caso de ocurrencia
	Se modificará la frecuencia de monitoreo de SST en el punto SUP-8, de mensual a diaria. La medición diaria se realizará por una ETFA <sup>1</sup> , y consistirá en una medición diaria en terreno según se detalla en el <b>Anexo 5</b> . Se reportará en conformidad a la Res. Ex. N°223/2015.  Durante los primeros cuatro (4) meses, a partir de la notificación de aprobación			En el reporte final se presentará un informe consolidado con registro consolidado en formato Excel que incluya todos los monitoreos de SST en el punto SUP-8, realizados durante la vigencia del PdC.		El cumplimiento de la acción se ajustará a lo resuelto en el SEIA, dándose aviso a la SMA dentro del plazo de 5 días hábiles desde notificada la resolución de calificación ambiental.

<sup>1</sup> En los documentos adjuntos al **Anexo 5** se explica las etapas de acreditación de la ETFA. Se inicia con la medición en terreno por parte de un Inspector Ambiental, perteneciente a un laboratorio acreditado para realizar mediciones de aguas crudas superficiales. Se estima que a partir del mes 5 comenzaría la medición diaria en terreno por parte de una ETFA.



<p>del PdC, se continuará con el monitoreo mensual por parte de una ETFA y a partir del mes 5 se comenzará una medición diaria en terreno por parte de una ETFA.</p> <p>Cabe señalar que en forma complementaria durante los primeros 4 meses desde la notificación de aprobación del PdC, se llevará a cabo un monitoreo semanal <sup>2</sup>, realizado por una ETFA, como actividad temporal hasta que comience a hacerse efectivo el cumplimiento progresivo según el Memo DGA 42/2017.</p> <p>A partir del mes 5 comenzarán las mediciones de terreno diarias por una ETFA y se incorporarán como parte del reporte que se debe efectuar en conformidad al considerando 8.6 de la RCA N°25/2011.</p> <p>En el <b>Anexo 6</b> se explica el calculo de las excedencias, para el punto SUP-8 respecto al parámetro SST.</p>			
--	--	--	--

**C. Cargo A2 (RCA N° 025/2011 Considerando 8.6)**

En relación a la Acción 21 "Mejoramiento del monitoreo de variables limnológicas en el cauce Chorrillo Invierno 2, comprometido en el considerando 8.16 de la RCA N°25/2011". Se solicita rectificar el **Anexo 10** "Mejoramiento del Monitoreo de Variables Limnológicas en el cauce Chorrillo Invierno 2, comprometido en el Considerando 8.16 de la RCA N°25/2011", el cual se acompaña en el otrosí de esta presentación.

**D. Cargo A2 (RCA N° 025/2011 Considerando 8.6)**

En relación a la Acción 23 "Cumplimiento progresivo de los valores umbrales para el punto SUP-8 respecto a los parámetros de control, a excepción de SST". Se

<sup>2</sup> Esta medición semanal se realizará en aquellas semanas en que no se ha llevado a cabo el monitoreo mensual derivado del Considerando 8.6 de la RCA N°25/2014.

solicita rectificar el **Anexo 12** "Cumplimiento progresivo de valores umbrales en el punto SUP-8, respecto a parámetros de control a excepción de SST", el cual se acompaña en el otrosí de esta presentación.

**POR TANTO:**

Se solicita a esta Superintendencia del Medio Ambiente se sirva tener presente las observaciones y complementaciones expuestas respecto del programa de cumplimiento refundido presentado con fecha 27 de abril de 2017.

**OTROSÍ:** Sírvase esta Superintendencia del Medio Ambiente tener por acompañado el Informe Experto del Centro de Ecología Aplicada, elaborado por los doctores Manuel Contreras e Italo Serey (Anexo 15), el informe de Mejoramiento del Monitoreo de Variables Limnológicas en el cauce Chorrillo Invierno 2, comprometido en el Considerando 8.16 de la RCA N°25/2011 (Anexo 10) y el Cumplimiento progresivo de valores umbrales en el punto SUP-8, respecto a parámetros de control a excepción de SST (Anexo 12).



Sebastián Antonio Gil Clasen  
Representante Legal Minera Invierno S.A. y Portuaria Otway Ltda.  
12.454.679-6





## **INFORME EXPERTO**

### **EVALUACIÓN ESTADO ECOLÓGICO DEL CHORRILLO INVIERNO 2, ISLA RIESCO, REGIÓN DE MAGALLANES Y ANTARTICA CHILENA.**



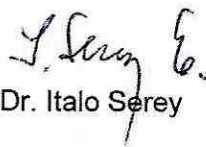
**Mayo, 2017**





AUTORIA

Este documento ha sido elaborado por el Centro de Ecología Aplicada Ltda., bajo la  
dirección de Dr. Italo Serey y Dr. Manuel Contreras L.

  
Dr. Italo Serey

  
Dr. Manuel Contreras L.





## 1 Introducción

Yacimiento Invierno es un depósito de carbón sub-bituminoso, ubicado en los terrenos de la Estancia Invierno, ubicada en la parte sureste de la Isla Riesco, en la costa que bordea el seno Otway, comuna de Río Verde, Provincia de Magallanes, Región de Magallanes y Antártica Chilena. Este yacimiento está siendo explotado por la empresa Minera Invierno S.A., mediante un sistema de rajo abierto.

Para la operación del proceso de extracción se necesitó reemplazar parte de los cauces naturales que cruzaban la zona del rajo, botaderos e instalaciones anexas, por una nueva red de cauces, denominados "de desvío", que descargan sus aguas en el tramo final de chorrillo Invierno 2, el cual no se ve intervenido por la explotación. Adicionalmente, en fase de operación, fue necesario construir una red de canales "interceptores", que condujeran las aguas que escurren desde los botaderos, hacia el tramo final del Chorrillo Invierno 2.

Por lo tanto, las actividades de producción de Mina invierno presentan un sistema de canales construidos que permite la captación de aguas de escurrimiento provenientes de la cuenca (canales de desvío) y de aguas de descarga proveniente de sectores industriales como son el botadero Sur y Norte (canales interceptores). Estos canales conforman una red de drenaje que desemboca en un único punto para luego evacuar hacia el seno Otway. El punto de confluencia entre los canales interceptores y canales de desvío se encuentran monitoreados en una estación de muestreo llamada SUP-8, la cual es parte del Plan de Implementación y Seguimiento Ambiental y sus resultados son enviados a la Superintendencia de Medio Ambiente.

Los resultados a la fecha dan cuenta de registros de picos de Manganese disuelto, Sulfatos, Sólidos Totales Disueltos, Sólidos Totales Suspendidos y Conductividad Eléctrica y todos estos parámetros tienen picos máximos que podrían estar relacionados con eventos hidrológicos de precipitaciones máximas y, dependiendo del diseño hidráulico original, la baja capacidad del sistema de canales de poder amortiguar el aumento de la descarga, y por lo tanto de las cargas másicas de contaminantes. A consecuencia de esto, Minera Invierno le solicita a Centro de Ecología Aplicada una evaluación del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos presentes (sensu Ramsar) en el Chorrillo Invierno 2.

## 2 Objetivo y Enfoque Conceptual

### 2.1 Objetivo

El objetivo de este Informe de Experto es evaluar el estado ecológico actual de los ecosistemas acuáticos existentes en el Chorrillo Invierno 2.

### 2.2 Enfoque

Los sistemas fluviales han sido estudiados de acuerdo a Petts y Amoros (1996) habitualmente desde dos grupos de disciplinas distintas. Desde la hidrología y la geomorfología fluvial, con fundamentos geográficos, geológicos y de ingeniería. Han investigado sobre las vías como los caudales, carga de sedimentos y forma de los

canales varía a lo largo del río, desde las cabeceras de las aguas hasta la desembocadura, en escalas de tiempo que van desde horas (en las inundaciones) a un año (patrones estacionales) a 100 años (el periodo principal de impacto humano) y hasta 10.000 años (holoceno). Desde la ecología, biología y ciencias pesqueras, que han examinado los patrones aguas abajo en la estructura y función de las comunidades biológicas – algas, macrófitas, macro invertebrados y peces - desde escalas que van desde micro hábitats (piedras individuales) a la totalidad del río, incluyendo la naturaleza de las mallas tróficas y flujos de nutrientes.

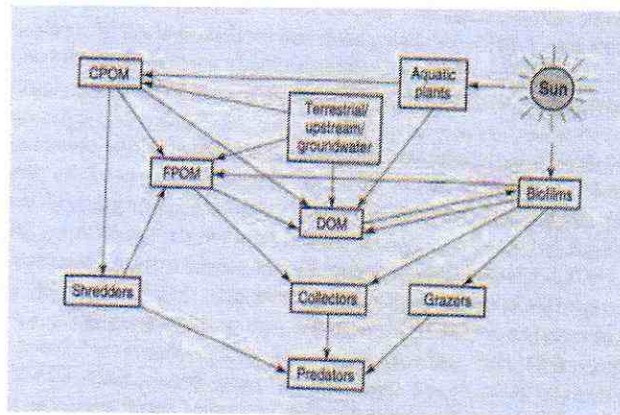
Las actividades que alteran de la red hidrográfica y/o calidad de agua en una cuenca hidrográfica, generan perturbaciones en los ecosistemas que se desarrollan en el río. Ecológicamente una perturbación es un cambio en la estructura mínima del ecosistema, causada por un factor externo al nivel de interés (Pickett et al 1989).

Los estudios en ríos han tenido sistemáticamente un fuerte énfasis descriptivo, documentado en importantes obras como las de Hynes (1970), Welcomme (1992) y recientemente Allan (1995). En este contexto, la mayoría de los estudios desarrollados en ecosistemas lóticos establecen como marco conceptual la hipótesis planteada por Cummins et al (1973), basados principalmente en estudios de hábitos alimentarios de invertebrados acuáticos. En ella se plantea un modelo de la estructura trofodinámica de los macroinvertebrados bentónicos, considerando diferentes fuentes alimenticias de materia orgánica (Figura 2-1). En estos ríos exorreicos el metabolismo de los ríos es fundamentalmente heterotrófico (Figura 2-2).

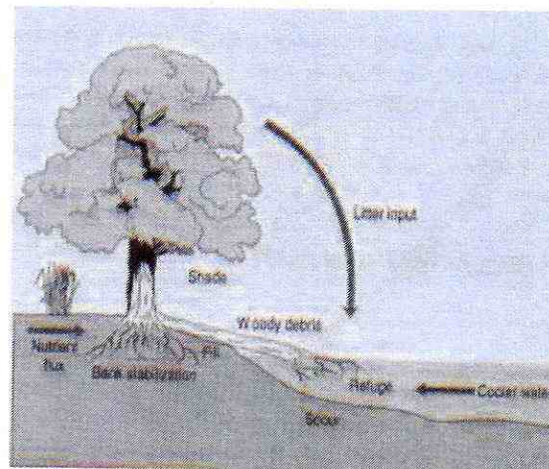
A partir de este modelo, se desarrolló la hipótesis del "Río Continuo" (Vannote et al 1980), donde se postulan los cambios biogeoquímicos que afectan al carbono orgánico al ser transportado en un gradiente altitudinal. Esta hipótesis postula que la abundancia de los diferentes grupos trofofuncionales y la relación entre P/R (producción/respiración), varía espacialmente en respuesta a los cambios que se producen en las características hidrodinámicas de los ríos y a la disponibilidad de materia orgánica alóctona (Figura 2-3).

La mayor parte de la evidencia empírica que apoya la hipótesis del "Río Continuo", proviene de estudios realizados en ecosistemas lóticos de cabecera de bosques templados del Hemisferio Norte. En éstos, la principal fuente de carbono proviene de materia orgánica alóctona que se acumula estacionalmente en los cursos de agua. Este patrón es recurrente en ecosistemas lóticos de montaña con abundante cobertura de vegetación ripariana, en donde la trama trófica está estructurada principalmente por organismos detritívoros, que degradan y consumen la materia orgánica alóctona (ej. hojas, ramas).





**Figura 2-1: Flujo de materia orgánica en los ríos, basado en aportes de materia orgánica alóctona.**



**Figura 2-2: Aporte de materia orgánica alóctona a los ríos desde la vegetación terrestre.**

En función del régimen temporal de perturbaciones es probable encontrar en la naturaleza un continuo entre ecosistemas lóticos basados en la utilización de materia orgánica alóctona y/o autóctona. En los primeros, las perturbaciones exógenas tales como los eventos hidrológicos estocásticos, serían las principales fuerzas estructuradoras del ecosistema. En cambio, las interacciones biológicas endógenas, como competencia o predación, regularían los ecosistemas lóticos basados principalmente en la materia orgánica autóctona. Este patrón resultaría en una capacidad de respuesta diferencial de los ecosistemas a las perturbaciones, en términos de la estabilidad temporal de las estructuras ecológicas.

Ecosistemas acuáticos basados en la degradación de materia orgánica alóctona son característicos de ambientes fluctuantes, debido a que el material particulado alóctono

permanece con biomasa alta en el sedimento, incluso después de incrementos drásticos en el caudal, lo cual permite una rápida recuperación de la estructura de los ecosistemas. En cambio, ecosistemas lóticos basados en la producción de carbono orgánico autóctono (ej. microalgas, macrófitas), son frecuentes en ambientes poco fluctuantes, como los desiertos en zonas de alta evaporación, en donde los autótrofos son la principal fuente de carbono. Los organismos autótrofos requieren mayor tiempo de recuperación después de una perturbación, debido a los lentos tiempos de recambio generacional.

Ríos afectados por crecidas (evento hidrológico), estarían permanentemente regresando a las primeras etapas de la sucesión ecológica, de alguna manera las crecidas eliminarían la "memoria ecológica" de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. Estos resultados permiten plantear una hipótesis en torno al metabolismo de los ecosistemas lóticos, a través de la cual se podrían explicar los cambios espaciales y temporales en las características estructurales y funcionales de los mismos.

En último término, donde el metabolismo de los ecosistemas lóticos está determinado por el régimen de perturbaciones exógenas de meso y macroescala, las variaciones en los patrones climáticos a macroescala (e.g. fenómeno "El Niño"), determinarían la importancia relativa de la utilización de carbono orgánico alóctono (metabolismo heterotrófico) y autóctono (metabolismo autotrófico) en el flujo de materia y energía en los ecosistemas lóticos, mientras que las variaciones intranuales del caudal determinarían la magnitud de los flujos de materia y energía intra e intersistémicos. En general, ecosistemas basados en metabolismos heterotróficos serían característicos de ambientes fluctuantes, en cambio, el metabolismo autotrófico sería dominante en ambientes estables (Figura 2-4).

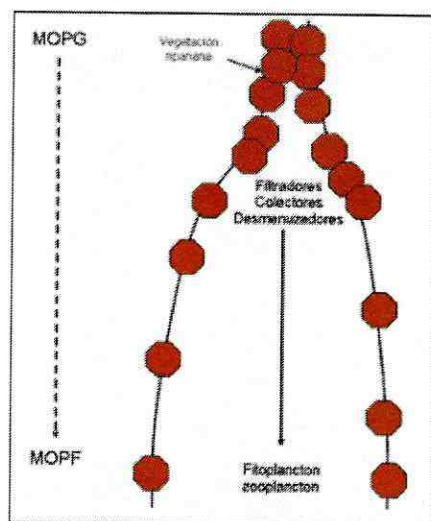


Figura 2-3: Reciclamiento geoquímico de materiales a lo largo del río. MOPG= materia orgánica particulada gruesa. MOPF = materia orgánica particulada fina.



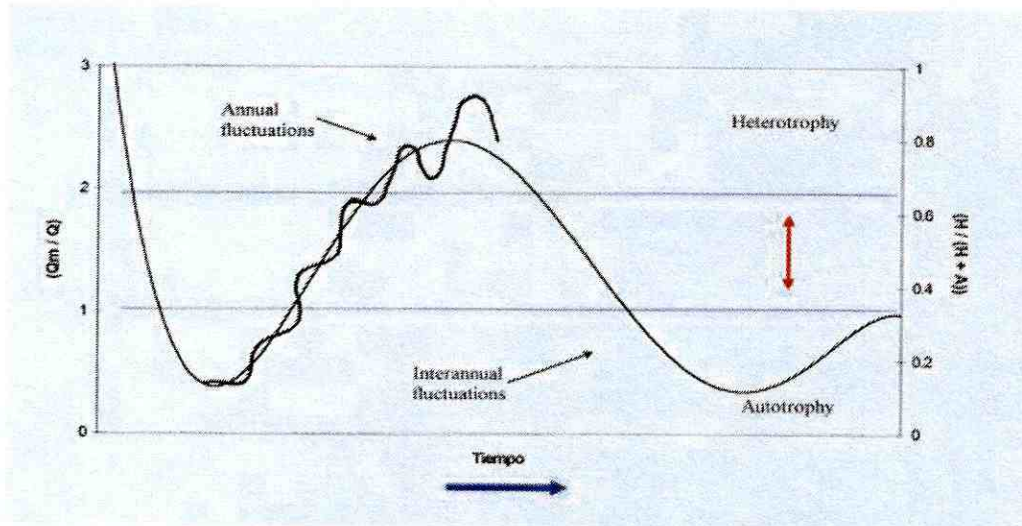
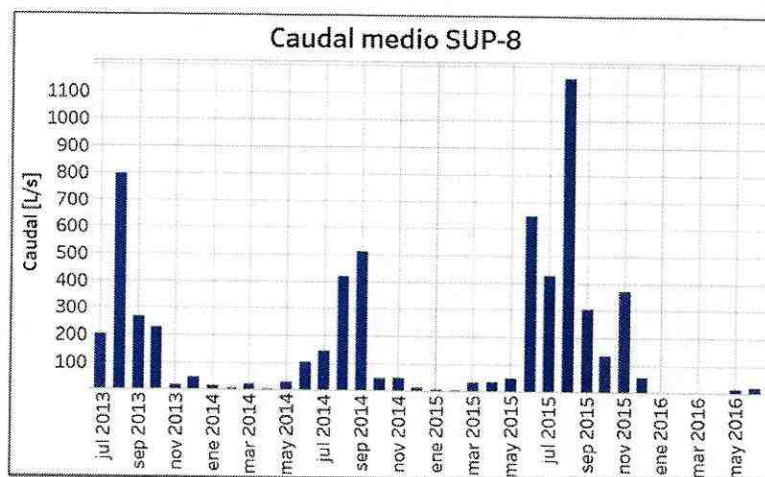


Figura 2-4: Modelo del metabolismo de los ríos en función del grado de perturbación hidrológica.  $Q_m$ = caudal mensual.  $Q$ =caudal promedio.  $H$ = heterotrofia.  $A$ = autotrofia. (Contreras, 1998).

### 2.2.1 Régimen de perturbación natural

En los ríos, desde el punto de vista hidrológico, un concepto fundamental es el régimen del caudal. La Figura 2-5 muestra el régimen del caudal del Chorrillo Invierno 2, en la estación SUP-8. Este régimen determina cambios estacionales que pueden ser considerados perturbaciones propias del sistema fluvial, dependiente globalmente del clima. En el sur de Chile los ríos tienen un régimen pluvial, mostrando crecidas concentradas principalmente en invierno. Este periodo genera crecidas de distintas magnitudes y en función de oscilaciones climáticas como los fenómenos del Niño y la Niña, ampliamente reconocidos en la literatura científica. Los cambios entre crecidas y estío en el Chorrillo Invierno 2, determinan un régimen de perturbación natural del sistema. Los ríos tienen importantes oscilaciones del caudal y los ecosistemas responden a estas variaciones intra e interanuales.



**Figura 2–5: Serie caudales medios mensuales Chorrillo Invierno 2 en estación SUP-8.**

### 2.2.2 Desarrollo de Ecosistemas y Sucesión Ecológica en Ríos

El ecosistema, es considerado ser la unidad de organización biológica de todos los organismos de un área dada (esto es la comunidad), interactuando con el ambiente físico, así como los flujos de energía y ciclos de materiales tratan de la estructura trófica característica, dentro del sistema (Odum, 1969). El principio de sucesión ecológica, considera de manera importante las relaciones entre la naturaleza y el hombre (Odum, 1969). El concepto de sucesión es uno de los más importantes en ecología porque introduce la dimensión temporal para la evolución de las comunidades biológicas. Las sucesiones son procesos a mediano y largo plazo en una dirección, son secuencias temporales de comunidades de especies dentro del ecosistema (Corembliet et al 2006).

En ríos, los principales parámetros hidrogeomórficos que controlan la sucesión de la vegetación (y del ecosistema), son los caudales y el régimen de transporte de sedimentos, erosión de sedimentos y depositación, topografía y textura del sedimento (Corembliet et al 2006).

## 3 Alcances

Este Informe Experto corresponde a un análisis realizado en marzo y mayo de 2017 (Figura 3–1), sobre la base de antecedentes secundarios disponibles en referencias de acceso público y aportados por el titular. Se realizó un levantamiento de información ecológica en terreno durante marzo de 2017 (Figura 3–2), donde participaron especialistas del Centro de Ecología Aplicada y se obtuvieron imágenes de alta resolución del área de estudio. Lo anterior es relevante para determinar la presencia de diferentes ecosistemas acuáticos en el área de estudio.





Figura 3-1: Ubicación de área de estudio en Isla Riesco.



Figura 3-2: Descripción del área de estudio con alta resolución espacial.

#### 4 Aspectos considerados en el informe

A continuación, se describen los resultados obtenidos en el Informe Experto:

##### 4.1 Caracterización geomorfológica e hidráulica

Para la caracterización hidrodinámica del cuerpo de agua Chorrillo Invierno 2, se realizó un levantamiento topobatimétrico del cauce, específicamente desde el punto de monitoreo SUP-8 hasta su desembocadura en el seno de Otway. Se tomó un total de 1383 puntos topográficos, distribuidos espacialmente en un total de 277 perfiles transversales, cada uno con aproximadamente 5 puntos.

Se caracterizó la hidrodinámica tomando en cuenta el Thalweg del cauce, correspondiente al punto más profundo de cada perfil transversal. Con ello se desarrolló el perfil longitudinal y se sectorizó el comportamiento hidráulico en base a la pendiente de fondo y a las características geomorfológicas fluviales, esto es, inspección de la geometría espacial de meandros y sus procesos formativos, como también las características del sector en cuanto a la cantidad de vegetación e inspección de fotografías del lugar.

Se registró un total de 276 perfiles transversales a lo largo de 3,44 km, los cuales permitieron conocer la pendiente de fondo del canal y los anchos representativos de éste. Del análisis de la información se logró determinar tres sectores con características geomorfológicas distintas. La Tabla 4.1. muestra las características geomorfológicas de importancia

**Tabla 4-1: Características morfológicas del cauce Chorrillo Invierno 2, según sectores diferenciados por su pendiente**

Sector del cauce	Longitud	Ancho medio	Pendiente media
	[km]	[m]	[%]
Alto	0,67	0,67	1,162
Medio	1,73	0,88	2,210
Bajo	0,89	1,18	0,767

La Figura 4.1 muestra los puntos tomados en terreno, donde se logró identificar tres sectores diferenciados principalmente por la pendiente de fondo, la cual se presenta en la Figura 4.2. Asimismo, la Figura 4.3 da cuenta de la estimación de los anchos de los perfiles transversales, diferenciados por los sectores identificados.

El primer tramo (sector alto), de aproximadamente 670 m, presenta sinusoidales bastante pronunciadas, con radios de giro mayores a 180° (meandros cerrados). Su pendiente de fondo es elevada, del orden del 1%, por lo cual se esperaría un mayor arrastre de sólidos en esta sección, con un flujo preferentemente supercrítico. De la Figura 4.3 se logra apreciar una baja variabilidad en el ancho del cauce, entre 0,5 a 1 m en promedio, lo cual caracteriza a un sistema con un escurrimiento rápido, sin presentar zonas estancas. Por otro lado, se observan sinusoidales con radios de giro



mayores a los  $180^\circ$  los que no responden a una pendiente fuerte pero puede atribuirse a las interferencias asociadas a elementos mayores como vegetación y rocas.

El segundo tramo (sector medio) se caracteriza por una zona de transición en que el cauce cambia de dirección hacia el Este tomando el sentido de la quebrada. En esta zona se logra observar una mayor presencia de rocas, lo cual da cuenta de un probable lavado de finos provocado por un escurrimiento fuerte de alta pendiente. La característica principal de este tramo es el aumento de pendiente a prácticamente el doble (de 11,61 m/km a 22,1 m/km), lo cual condice con lo dicho anteriormente.

En el último tramo (sector bajo), se observa una transición meandrosa entre la sección de pendiente fuerte a una suave, por donde cambia la dirección del flujo hacia el sur nuevamente. En los sectores donde ya el cauce posee baja pendiente pueden observarse zonas de aguas estancas y una mayor cantidad de sedimentos en el lecho del cauce, lo cual indicaría que existen zonas con características menor transporte fluvial y en consecuencia, mayor deposición sedimentaria. A pesar de tener una menor pendiente, esta zona no presenta meandros, lo cual responde a que en este sector ya no existen interferencias de vegetación, siendo un terreno más bien llano. Este último motivo muestra que en el sector bajo exista una alta variabilidad en el ancho del cauce, donde este pierde velocidad, generando zonas estancas. Ya en este lugar el flujo cambia de dirección de sur a oeste, lo cual responde ya que se alcanza la desembocadura, con un sistema geomorfológico semicerrado, uniéndose con Chorrillo Invierno1.

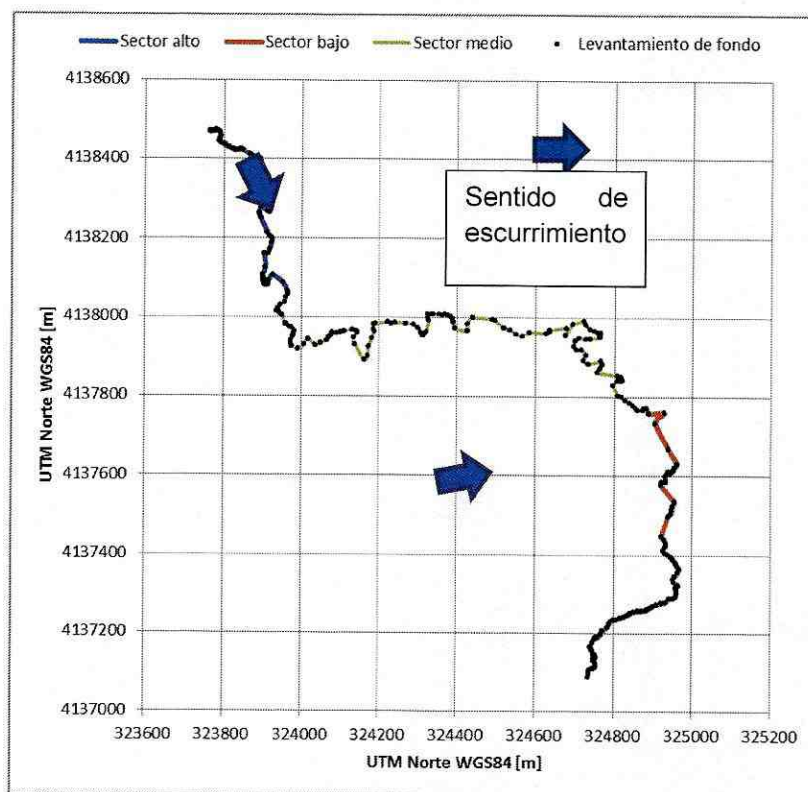


Figura 4-1: Levantamiento topobatimétrico del cauce y sectorización en base a la pendiente del Thalweg.

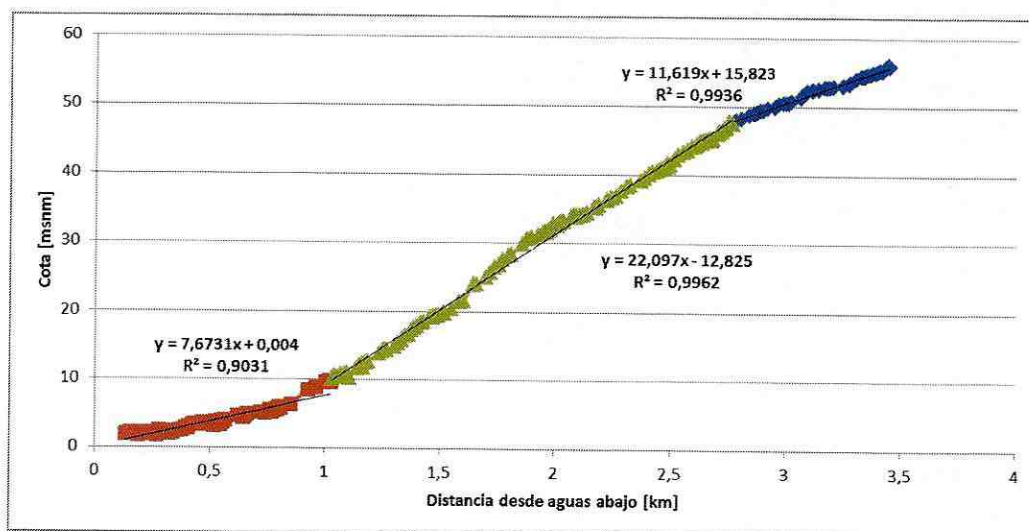


Figura 4-2: Identificación de pendientes características del Thalweg en Chorrillo Invierno 2, desde su desembocadura hasta el punto de monitoreo SUP-8.

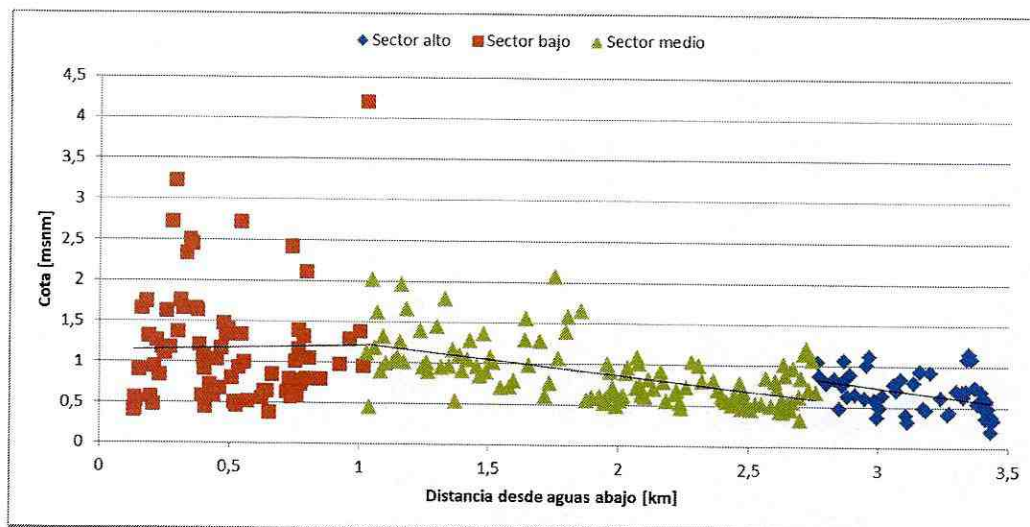


Figura 4-3: Anchos representativos del cauce Chorrillo Invierno 2, desde su desembocadura hasta el punto de monitoreo SUP-8.



## 4.2 Caracterización hidrológica

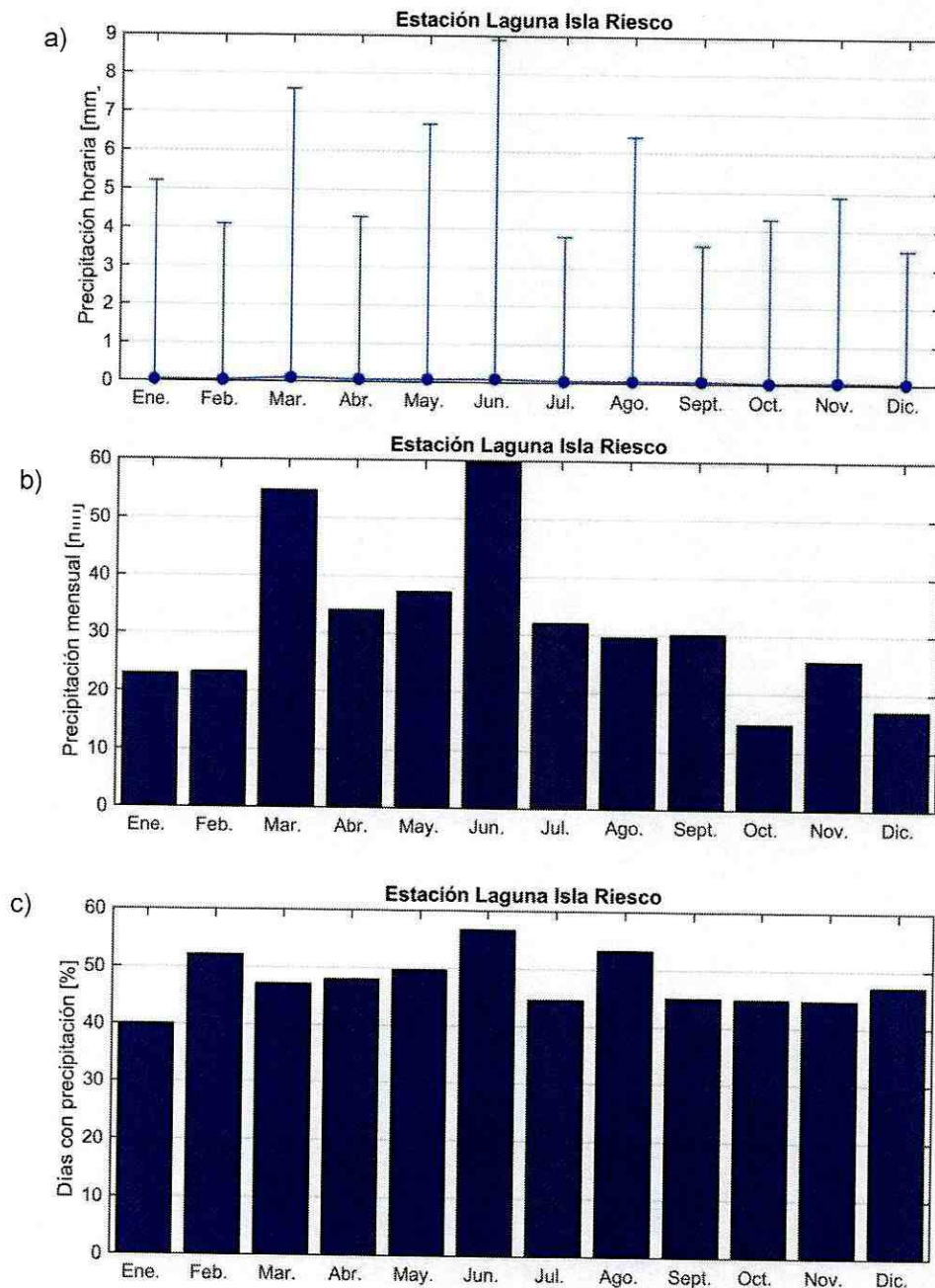
Los datos meteorológicos obtenidos del EIA desarrollado por Mina Invierno se presentan en la Figura 4.4 a) y b), la cual da cuenta de un patrón relativamente parejo a lo largo del año, no obstante se logra observar una mayor precipitación en los meses otoño - invierno. De la serie de tiempo se observó un valor de 80 mm para el mes de marzo de 2012 (Figura 2.1), valor que se escapa de la tendencia de otros años. Al ser comparados estos datos con el estudio hidrológico de la Línea Base del EIA (Harambour, 2007), se observa que las precipitaciones son entre 10 a 20 mm menor. Por otro lado, en la Figura 4.4 c) se muestra el % de días al mes en los cuales existe precipitación, lo cual permite inferir que durante un año normal, existe un 50% de precipitaciones al mes.

Cabe señalar que en el mismo estudio hidrológico se señala que si bien los resultados de precipitación durante marzo, abril y mayo indican que caería más agua, esto no es necesariamente cierto, debido a que es posible que en las estaciones existentes en la Región no se mida la totalidad de la precipitación que cae durante el invierno, debido a la dificultad existente para captar con los pluviómetros la totalidad de la nieve que generalmente cae durante ese periodo del año. Además de un promedio mensual (Figura 4.5), es posible observar el régimen hidrológico del lugar, que vendría siendo mayoritariamente pluvial.

### Régimen del Caudal

En los ríos, la estructura física del ambiente y así del hábitat (para los organismos) está definido ampliamente por procesos físicos, especialmente el movimiento del agua y sedimento dentro del canal y entre el canal y la planicie de inundación. Para comprender la biodiversidad, producción y sustentabilidad de los ecosistemas en ríos, es necesario apreciar el rol organizativo central jugado por el ambiente físico cambiando dinámicamente. Los componentes críticos del régimen natural del caudal son magnitud, frecuencia, duración, secuencia y tasa de cambio (Poff et al 1997). Los datos proporcionados por Mina Invierno, en SUP-8 muestran que la magnitud del caudal, puede variar ampliamente, desde valores iguales a cero, menores a un litro por segundo hasta valores de 2380 L/s (Figura 4.6). La magnitud de los caudales, muestra la existencia de crecidas anuales e interanuales al igual que valores cero o cercanos a cero. Las crecidas, y las reducciones del caudal representan el régimen de perturbación natural del sistema. En Mina Invierno, los caudales de agua aportados por los bombeos, son poco significativos en relación al caudal natural, excepto cuando bajan a niveles inferiores a 10 L/s.

Este análisis, muestra que el régimen del caudal, no ha sido modificado de forma significativa por las operaciones mineras. Este hecho es relevante a escala de los ecosistemas, dado la importancia que tienen las magnitudes del caudal en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y en especial el efecto que tienen los caudales de crecidas en la perturbación de la estructura biológica de los ecosistemas, especialmente en el fitobentos, afectando la biomasa de los grupos funcionales de algas, reduciéndolas en los eventos de crecida (DGA, 2009). Estos *peak* de crecidas deben ser considerados cuando se analiza el estado ecológico de los ecosistemas en estudio.



**Figura 4-4: Variación mensual de la precipitación en Mina invierno. a) presenta la precipitación horaria registrada por el instrumento; b) precipitación mensual y c) el porcentaje de días con precipitación al mes.**



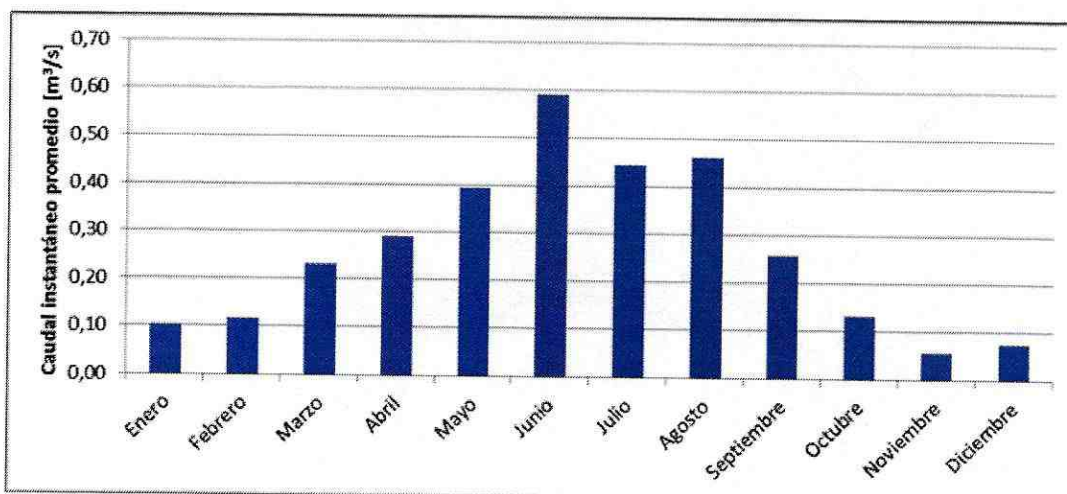


Figura 4-5: Caudal instantáneo promedio en SUP-8 por mes.

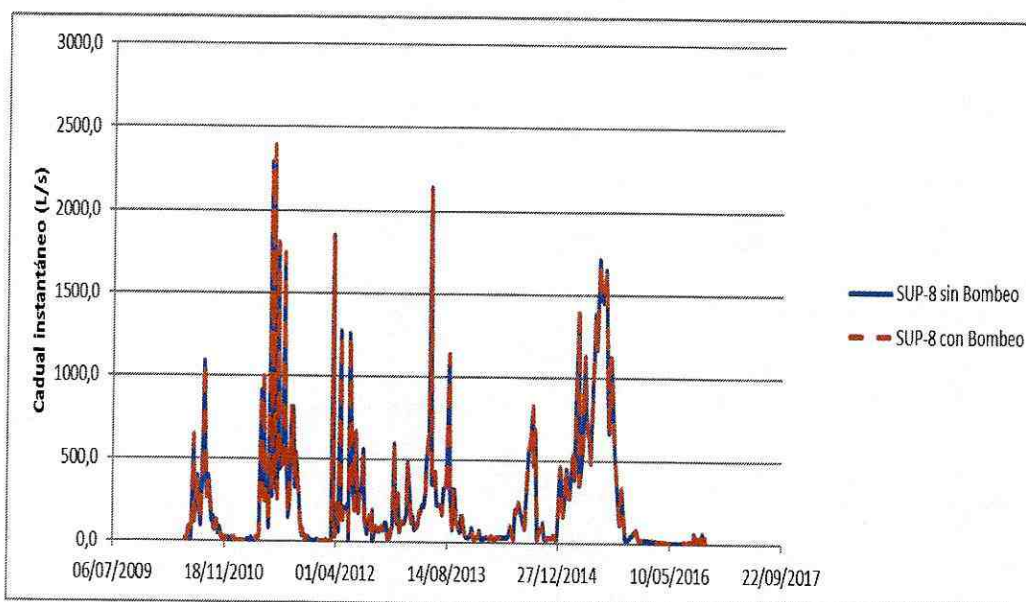


Figura 4-6: Caudal instantáneo en días específicos, muestra las crecidas y reducción de caudal, muestra el patrón del régimen de perturbación especialmente para los ecosistemas reófilos heterotróficos.

### 4.3 Efecto de la excedencia de variables ambientales sobre los ecosistemas acuáticos.

#### 4.3.1 Análisis de las excedencias

A continuación se detallan sintéticamente los principales resultados aportados por Mina Invierno, respecto a variables que registraron excedencia en las aguas del Chorrillo Invierno 2 durante la operación del proyecto, respecto de su línea de base.

##### 4.3.1.1 Sólidos suspendidos totales (SST)

Basado en mediciones operacionales diarias de sólidos suspendidos totales (SST), realizadas por Mina Invierno durante los años 2014, 2015 y 2016 es posible concluir que, en términos de promedios mensuales, generalmente los valores se encuentran dentro del límite máximo establecido por la DGA (905 mg/L como promedio mensual). No obstante, es posible observar valores puntuales que superan el valor de referencia de 905 mg/L, concentradas principalmente en los meses de invierno, según se muestra en Figuras 4.7, 4.8 y 4.9. Los registros diarios aportados por Mina Invierno señalan que este límite no ha sido superado durante gran parte del año 2016 (Figura 4.10) ni en los primeros meses del año 2017 (Figura 4.10).

Es importante señalar que, en el Estudio de Impacto Ambiental, se indicó que existiría un aumento de los SST durante la fase de operación, generando un aumento de la concentración de SST el Chorrillo Invierno 2.

**Tabla 4-2: Concentración media mensual de SST en el Chorrillo Invierno 2, medidos en la estación SUP-8 (Fuente: Base de datos Mina Invierno).**

SST media mensual (según Memo N° 42 DGA 17/2/2017, mg/l)			
Mes	2014	2015	2016
ene	5	77	8
feb	15	26	30
mar	30	776	9
abr	26	654	21
may	65	365	6
jun	369	1.173	10
jul	153	672	23
ago	402	815	58
sep	817	279	21
oct	144	141	10
nov	302	76	5
dic	130	39	6
Umbral		905	905



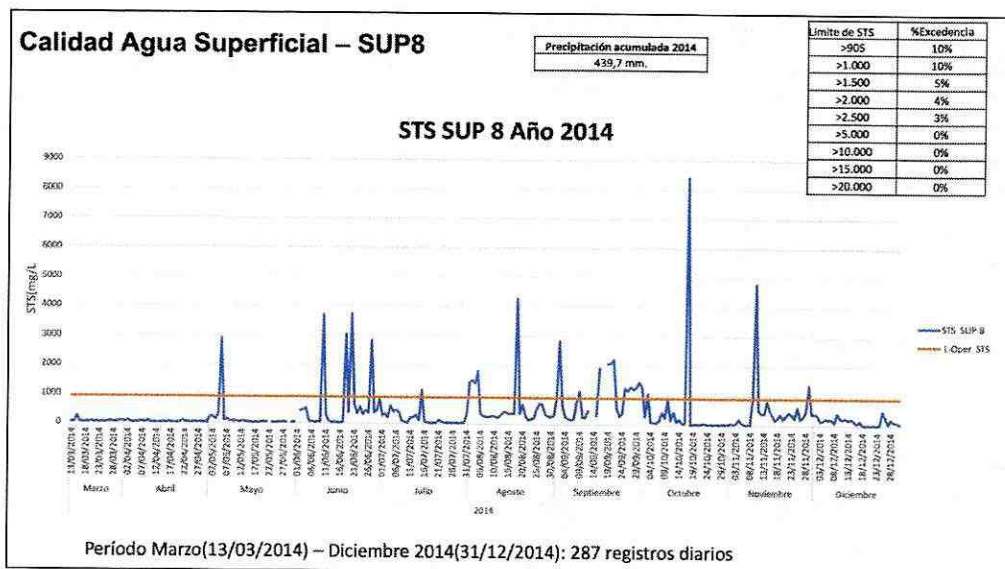


Figura 4–7: Concentración STS (mg/L) en punto SUP-8 durante año 2014. (Fuente: Base de datos Mina Invierno).

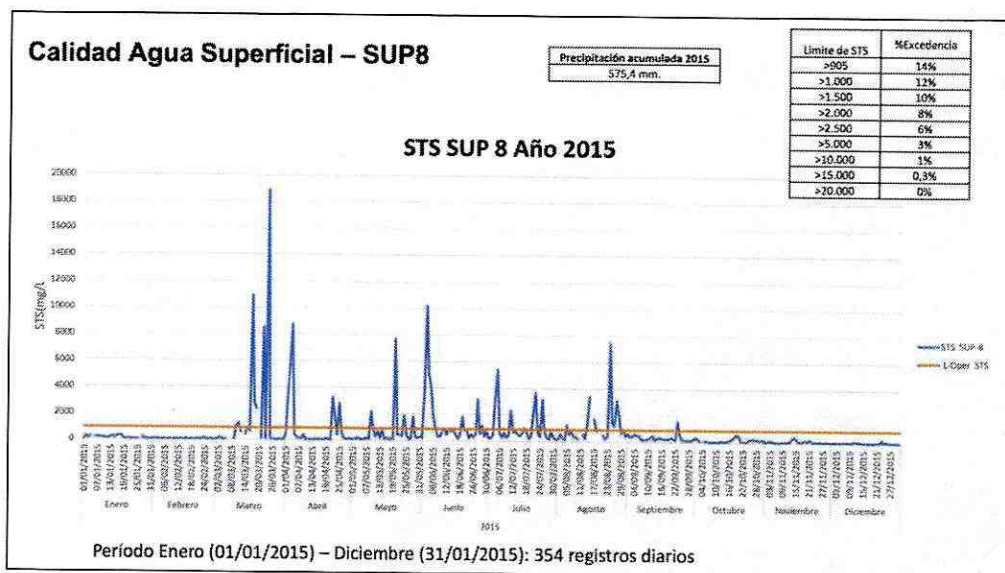


Figura 4–8: Concentración STS (mg/L) en punto SUP-8 durante año 2015. (Fuente: Base de datos Mina Invierno).

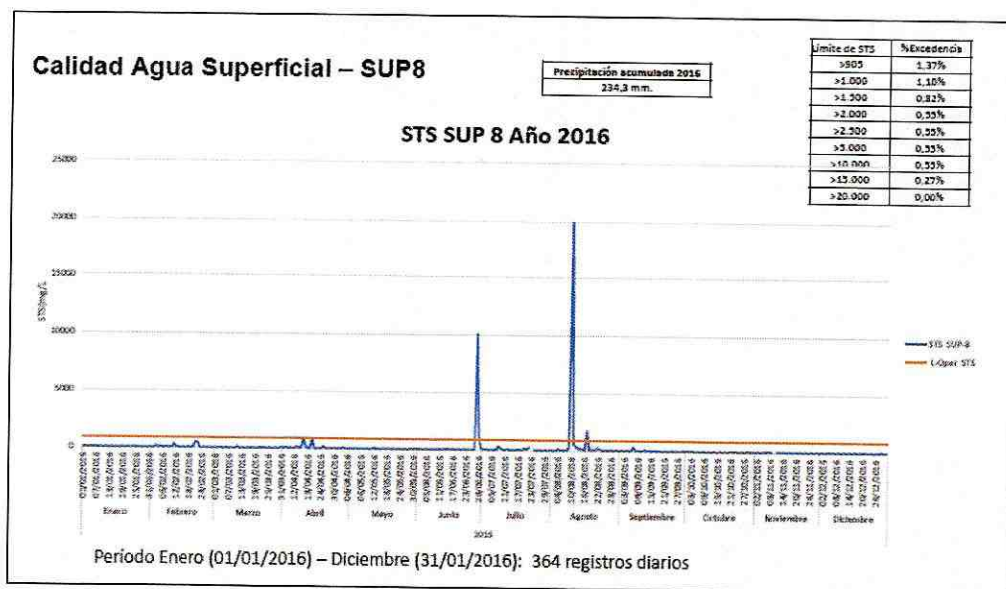


Figura 4–9: Concentración STS (mg/L) en punto SUP-8 durante año 2016. (Fuente: Base de datos Mina Invierno).

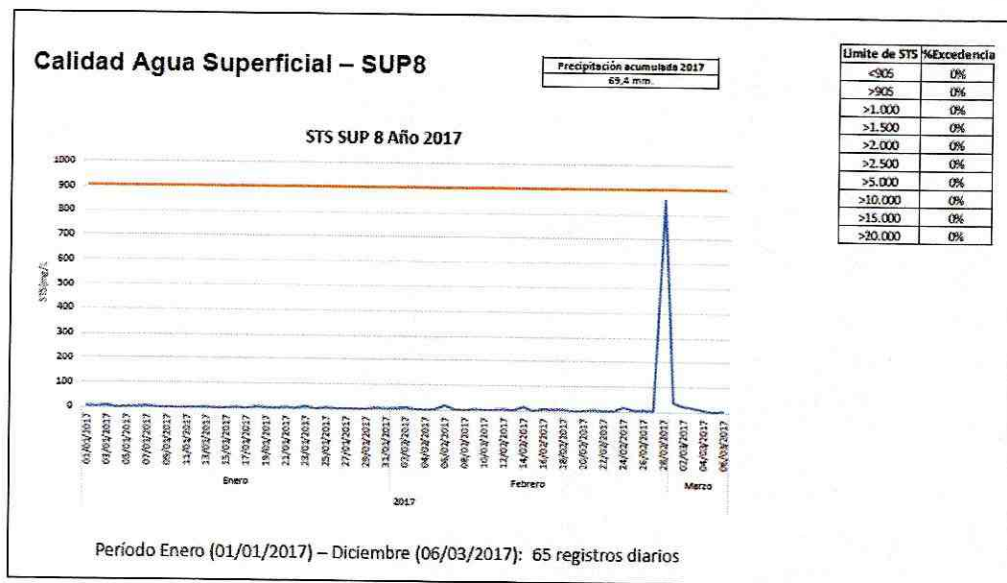


Figura 4–10: Concentración STS (mg/L) en punto SUP-8 durante año 2017. (Fuente: Base de datos Mina Invierno).



#### 4.3.1.2 Manganeseo disuelto

Respecto del manganeseo, durante la elaboración de la línea de base en el EIA, la concentración de este elemento se mantuvo por debajo del límite establecido (0,51 mg/L). Sin embargo, en el punto de muestreo SUP-8 a partir de agosto de 2013, este umbral ha sido superado en el 16,7% de las mediciones, principalmente durante los meses de febrero y marzo (Figura 4.11). De acuerdo a los antecedentes recopilados, el aporte del manganeseo provendría de las aguas subterráneas que se extraen desde los pozos ubicados en la periferia del rajo.

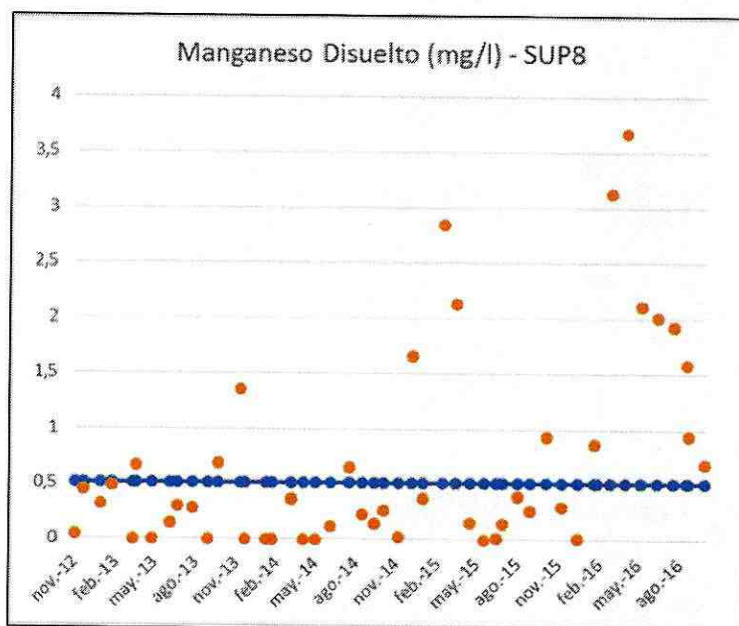
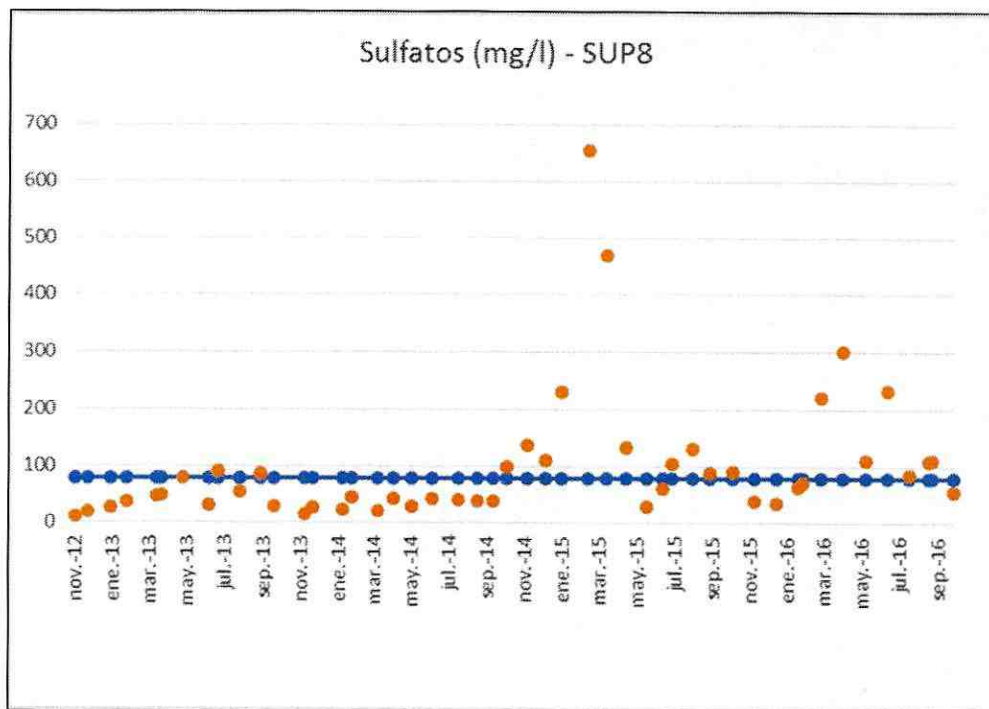


Figura 4-11: Concentraciones históricas de manganeseo disuelto (mg/L) en el punto de control SUP-8. (Fuente: Base de datos Mina Invierno).

#### 4.3.1.3 Sulfatos

Las concentraciones de sulfato registradas en el punto de control SUP-8, han superado el límite máximo establecido por la DGA en 38 % de las mediciones mensuales (78 mg/L). Esta condición ha sido registrada fundamentalmente en los meses de abril a agosto durante los años 2015 y 2016 (Figura 4.12).



**Figura 4-12: Concentración  $\text{SO}_4$  (mg/L) en punto SUP-8 durante año 2016-2017. (Fuente: Base de datos Mina Invierno).**

#### 4.3.1.4 Sólidos disueltos totales y Conductividad eléctrica

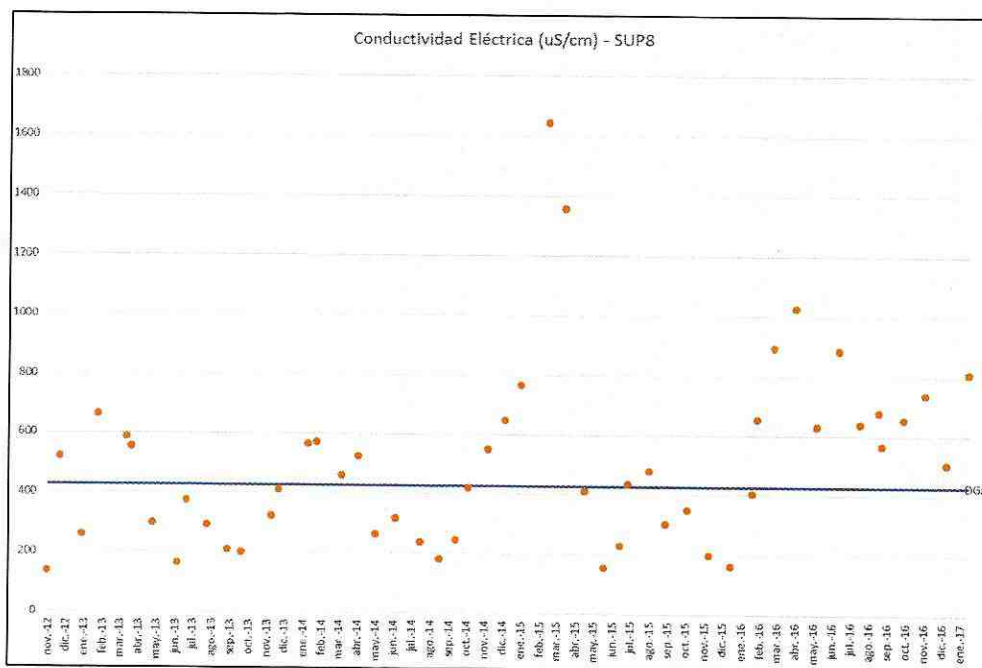
La conductividad eléctrica es una expresión de la cantidad de sales disueltas en el agua (sólidos totales disueltos) y es inversamente proporcional a la resistividad del mismo (Wetzel, 2001). Responde principalmente a la concentración de cationes: Ca, Na, Mg, K y aniones (Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ ). En altas latitudes, como donde se localiza el Chorrillo Invierno 2, los cursos de agua se caracterizan por presentar concentraciones bastante diluidas (bajas conductividades), al comparlas con otras regiones del mundo (Warwick y Laybourn-Parry, 2001). Lo anterior responde a que la baja fuerza iónica (concentración de iones disueltos), está relacionada primariamente por la baja capacidad de meteorización que presentan los ecosistemas, como consecuencia de las bajas temperaturas y la presencia de hielo o permafrost en el suelo, lo cual limita el acceso a suelos minerales. Adicionalmente, en regiones de altas latitudes existe escasa influencia humana que se traduzca en aportes exógenos de sales a los ríos. De este modo, la concentración de sólidos disueltos totales y su expresión como conductividad eléctrica está controlada por la esorrentía y la evaporación, siendo esta última reducida en estas latitudes.

Los sólidos disueltos totales son constituyentes de las aguas naturales que son necesarios para sostener los ensambles de especies acuáticas. Algunos de los iones disueltos soportan directamente organismos, tales como los macrominerales como el

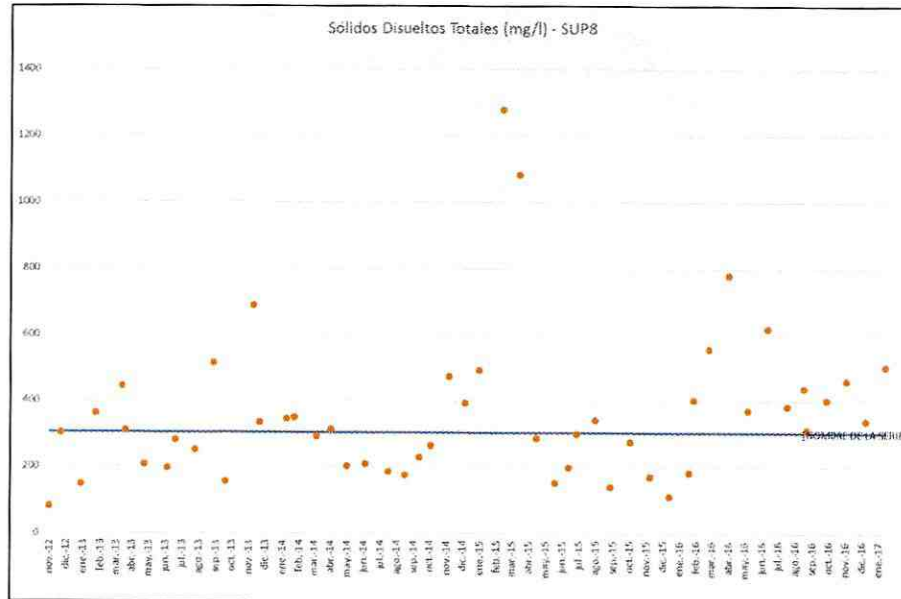


potasio y magnesio; el cloruro es importante en la osmorregulación. Otros iones son importantes en el ambiente externo de los organismos, tales como el ión bicarbonato que provee de tamponamiento, o el calcio y magnesio que mitigan la toxicidad de metales (Armstead et al 2016).

En las Figuras 4-13 y 4-14 se presentan los valores de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos, registrados en diferentes días dentro del mes entre los años 2012-2017. Los datos muestran que, en el periodo previo a la operación de la Mina Invierno, se presenta un patrón donde los valores de conductividad eléctrica son más bajos en periodos de invierno, para aumentar en verano, asociado a la escorrentía. Este patrón se mantiene en forma posterior a la puesta en marcha de la operación de Mina Invierno, sin embargo, se observan excedencias por sobre los valores registrados en la línea de base.



**Figura 4-13: Valores de Conductividad Eléctrica del agua en punto SUP-8 entre años 2011-2017 (Fuente: Información provista por Minera Invierno).**



**Figura 4-14: Valores de Sólidos Disueltos Totales del agua en punto SUP-8 entre años 2011-2017. (Fuente: Información provista por Minera Invierno).**

#### 4.3.2 Análisis de los efectos potenciales

Una vez iniciadas las operaciones las variables antes indicadas, estructuran un patrón de perturbaciones de tipo físico-químico para los ecosistemas acuáticos, las cuales deben ser consideradas con atención, debido a las complejas relaciones in situ entre ese tipo de variables.

Los posibles efectos esperados, están en función de las concentraciones encontradas de estos parámetros y el tiempo de exposición de los organismos a dichas concentraciones. El tiempo de exposición es diferente dependiente del tipo de ecosistema acuático que se trate (ver punto 4.4). Este análisis se puede obtener a partir de un estudio de riesgo ecológico (ERE).

En relación a los sólidos totales suspendidos los efectos sobre los ecosistemas acuáticos están centrados en el sepultamiento de comunidades bentónicas y disminución de la producción primaria acuática por disminución de la transparencia del agua. Proceso que debería concentrarse durante la condición de estiaje (flujo base), ya que durante el periodo de lluvias el aumento del caudal (crecidas), se produce un "autolavado" del curso de agua.

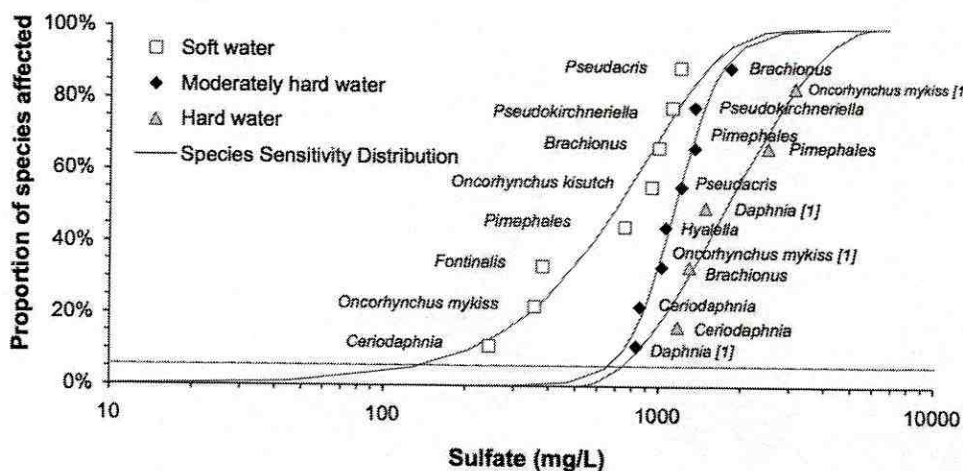
Respecto a las concentraciones encontradas de manganeso disuelto, en la literatura científica no se encontraron evidencias de efectos negativos del manganeso sobre organismos acuáticos, considerando las concentraciones de excedencia registradas en el Chorrillo Invierno 2.

Respecto a los valores de sulfato, se puede indicar que el sulfato es ubicuo en ambientes dulceacuícolas y es una fuente común de azufre para bacterias y plantas. El sulfato se encuentra comúnmente en bajas concentraciones en la mayoría de los



sistemas dulceacuícolas, aunque se pueden encontrar concentraciones altas en minerales o donde existen actividades antrópicas (Davies, 2007). En la literatura científica existen pocos estudios sobre los efectos del sulfato en organismos acuáticos, estos se han focalizado especialmente en tres grupos: algas y plantas acuáticas, invertebrados acuáticos y peces (May & Nordin, 2013). En un específico realizado en el río Feale en Norteamérica, se estableció como umbral de seguridad que el promedio anual sulfato no excediera en el curso de agua valores superiores a 100 mg/L y que concentraciones de 250 mg/L no fueran superadas en promedio durante 4 días (County Kerry, 2005). Los datos obtenidos por Elphick et al, 2011, muestran que la toxicidad del sulfato es dependiente de las concentraciones de otros iones mayores, con una reducción general de la toxicidad asociada con un incremento en la dureza del agua. Así, la dureza sirve de factor modificador de la toxicidad y requiere ser considerado en el establecimiento de lineamientos de calidad de agua para este anión. La guía de British Columbia (2015), sugiere que los valores de sulfato en aguas duras no deben ser superiores a 429 mg/L en promedio de largo plazo. Valor que fue excedido en 2 ocasiones en el Chorrillo Invierno 2, según lo indicado en la Figura 4.12.

Análisis con varios grupos de organismos, entre ellos cladóceros, rotíferos, anfípodos, peces (salmónidos y no salmónidos), anfibios, algas y musgos (Figura 4–15), permitió determinar la curva de respuesta de la proporción de especies que son afectadas por el aumento de la concentración de sulfato con distintos niveles de dureza del agua (Elphick et al, 2011). Es interesante destacar que el aumento de la proporción de especies afectadas sigue una forma sigmoidea, pero en función de concentraciones en escala logarítmica.



**Figura 4–15. Distribución de sensibilidad de especies al sulfato en condiciones de aguas blandas (10-40 mg/L), moderadas (80-100 mg/L) y duras (150-250 mg/L). (Elphick et al, 2011).**

Respecto a las variaciones en los valores de sólidos disueltos totales (STD) y de conductividad eléctrica (CE), determinados en la etapa de operación de Mina Invierno en el punto de muestreo SUP-8, es posible indicar que los niveles de excedencia observados no afectarían significativamente a la biota acuática de los ecosistemas que

se encuentran en el Chorrillo Invierno 2. La conclusión anterior se basa en un estudio realizado con *Ceriodaphnia dubia*, un microscrustáceo característico de cuerpos de agua lenticos, que es utilizado como bioindicador de calidad de agua (Armstead et al 2016). En el estudio se evaluó el efecto crónico de aguas con elevada conductividad específica presentes en esteros de Estados Unidos, enriquecidos con sales disueltas provenientes de minas de carbón, en diferentes aspectos de la historia de vida de *C. dubia*. Los tres puntos finales ("end point") utilizados para evaluar los efectos de la conductividad relacionados con la inhibición de la reproducción (Figura 4-16), sobrevivencia de individuos (Figura 4-17) y producción de neonatos (Figura 4-18), muestran que no hay efectos importantes, incluso a conductividades mayores de 1000 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Es importante señalar que niveles de conductividad en el punto SUP-8 superiores a 1000 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), ocurren solamente en forma ocasional.

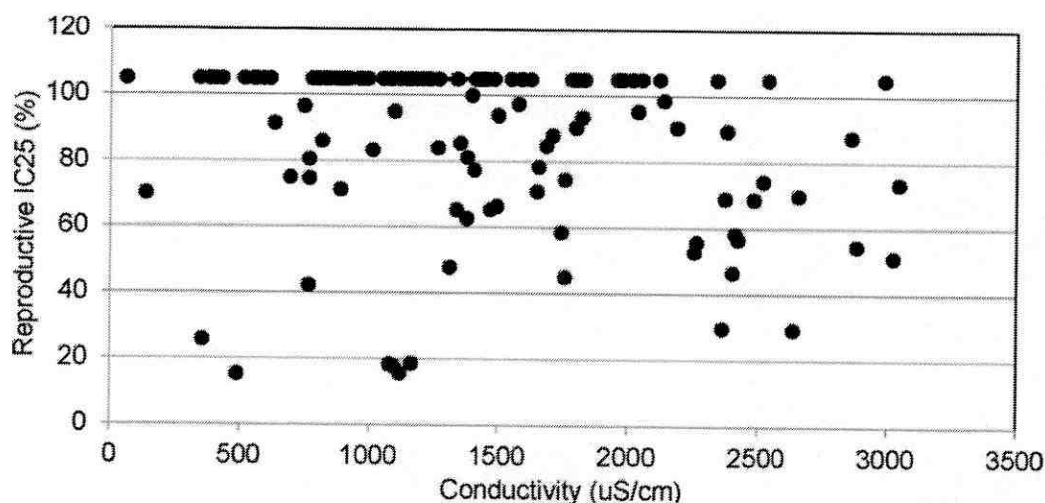


Figura 4-16: Relación entre conductividad e IC25. Punto final reproductivo comparado para diferentes conductividades de muestras en ríos de Norteamérica con drenaje de aguas alcalinas (Armstead et al 2016). IC = concentración de inhibición.



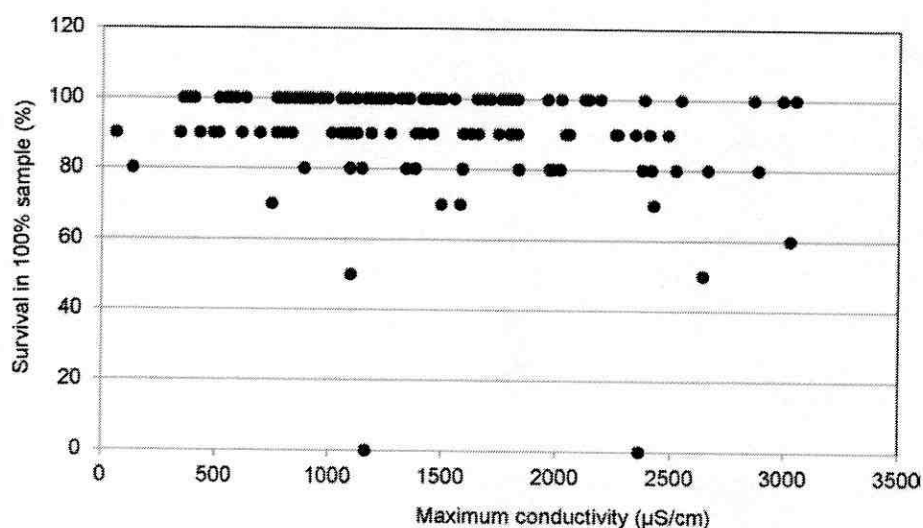


Figura 4–17: Relación entre conductividad y sobrevivencia de individuos, en ríos de Norteamérica con drenaje de aguas alcalinas. (Armstead et al 2016).

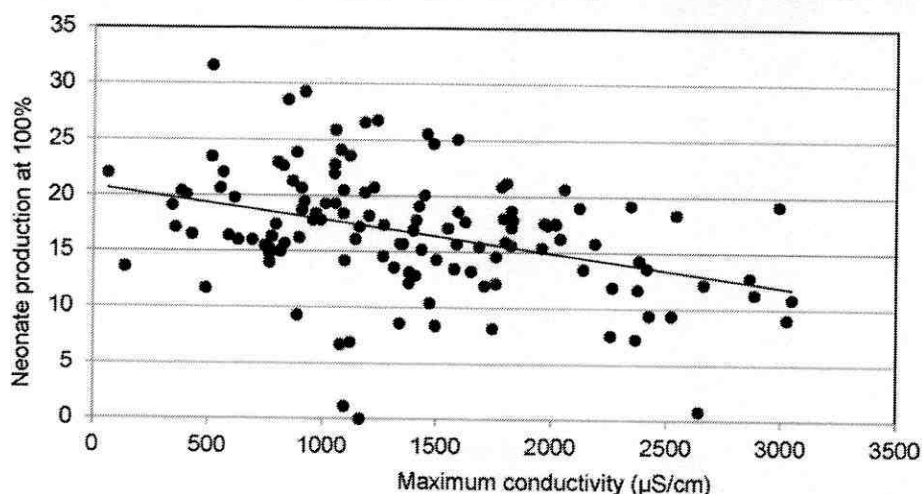


Figura 4–18: Relación entre conductividad y producción de neonatos, en ríos de Norteamérica con drenaje de aguas alcalinas (Armstead et al 2016).

Es importante destacar que los efectos de las variables que registran excedencias, sobre los organismos y ecosistemas acuáticos presentes en el Chorrillo Invierno 2, van a depender de las concentraciones, los tiempos de exposición y la sensibilidad de los receptores. El cruce entre estos aspectos determina la existencia de una probabilidad de riesgo ecológico sobre los ecosistemas acuáticos.

#### 4.4 Análisis espacial de los ecosistemas acuáticos presentes en Chorrillo Invierno 2.

Los distintos tipos de ecosistemas se muestran en Figura 4–19. Dentro de los de tipo dulceacuícolas, en el Chorrillo Invierno 2 y aguas abajo del punto SUP-8 se encuentran **ecosistemas reófilos heterotróficos (ERH)**, que se caracterizan porque la columna de agua se desplaza rápidamente, y la energía y carbono disponibles para

los organismos heterotróficos como los microorganismos y los macroinvertebrados bentónicos proviene de los ecosistemas vecinos y de ahí que se diga que son ecosistemas heterotróficos. Luego se desarrollan **ecosistemas reófilos autotróficos (ERAu)**, con un curso de agua más meándrico, donde la energía y el carbono disponible en el ecosistema provienen de la producción primaria hecha en la columna de agua por parte del fitoplancton y por las macrófitas. Finalmente, entre los ecosistemas de agua dulce se desarrolla **la albufera** que es un ecosistema de tipo léntico, con un brazo hacia el este, paralelo a la línea de costa sin salida directa al mar y otro brazo hacia el oeste, que es más importante y por donde se descarga el agua al mar. Entre los ecosistemas de agua salada, se encuentra el **marino**.

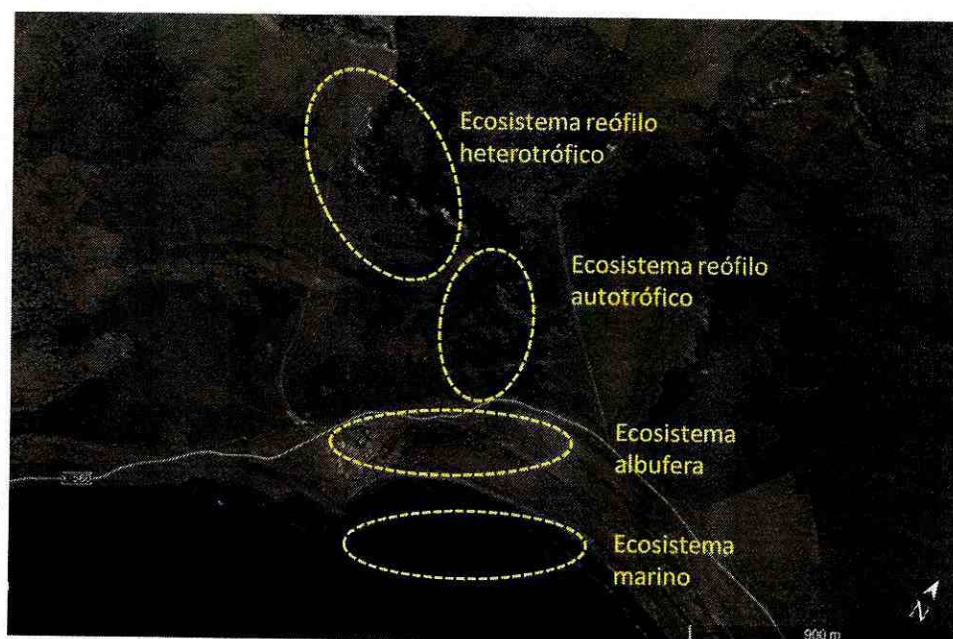


Figura 4–19: Localización de los tipos de ecosistemas en Chorrillo Invierno 2.

#### 4.5 Estado ecológico de los ecosistemas acuáticos presentes en Chorrillo Invierno 2

Para evaluar el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos presentes en el Chorrillo Invierno 2 se midieron los patrones de actividad fotosintética, lo que provee una estimación directa de cantidad de fotosíntesis que puede ocurrir en los ecosistemas en los componentes columna de agua y sedimentos. Se realizaron mediciones in situ de fluorescencia de pigmentos (Figura 4–20), mediante el uso de un espectrofluorómetro Fluoroprobe BBE (<http://www.bbe-moldaenke.de>), que es un equipo que utiliza una serie de LEDs que emiten luz en 6 longitudes de onda seleccionadas (370nm, 470nm, 525nm, 570nm, 590nm y 610nm). Los patrones de respuesta de cada longitud de onda (también conocidos como huella o firma espectral), permite estimar la abundancia total, como también abundancia de distintos grupos taxonómicos de microalgas (clorofíceas, diatomeas y cianobacterias, Figura 4–21).



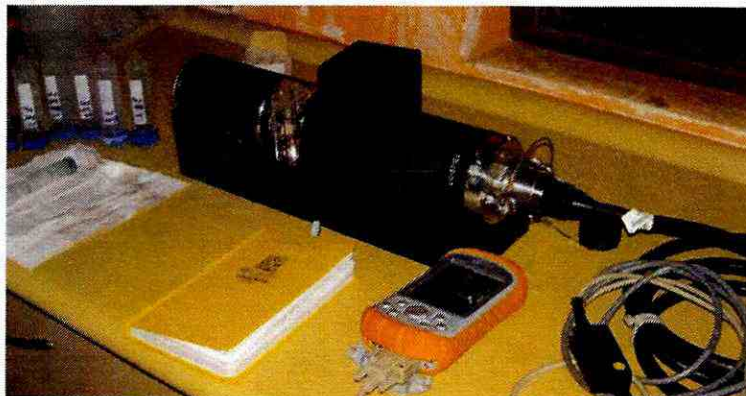


Figura 4-20. Medición de muestras mediante Espectrofluorómetro Fluoroprobe BBE.

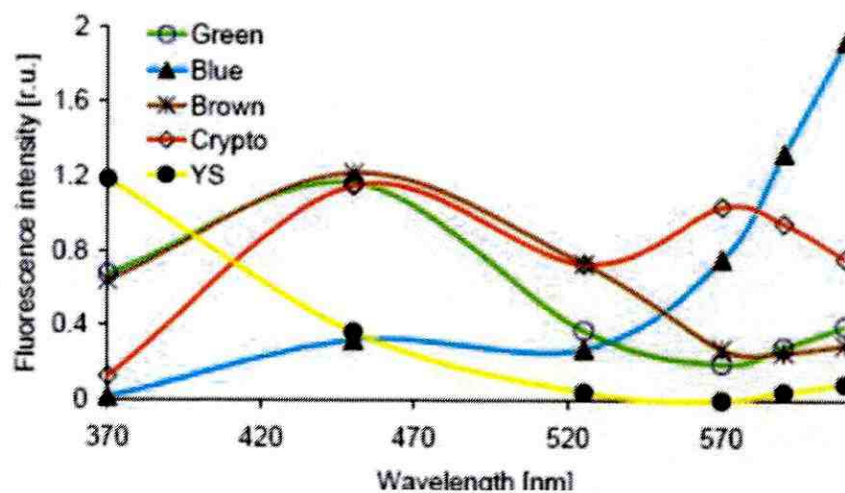


Figura 4-21: Firma espectral de fluorescencia para medir grupos de microalgas.

Las muestras de la columna de agua se tomaron en tubos Falcon de 50ml (Figura 4-22), y al momento de efectuar la medición se trasvasian a la cubeta de vidrio que recibe la serie de luces emitidas por el instrumento, que producen la excitación y posterior respuesta fluorométrica del contenido del agua (ver Anexo 1).



**Figura 4–22: Toma de muestra de sedimentos.**

El análisis se realizó en el mes de marzo de 2017, donde se evaluaron las características de la columna de agua y el sedimento en 32 puntos en el Chorrillo Invierno 2 (Figura 4–23). Los puntos de muestreo se localizaron entre el punto SUP-8 y la albufera adyacente al mar (ver Anexo 2).



**Figura 4–23: Diseño de muestreo en Chorrillo Invierno 2.**

La medición en columna de agua entregó resultados respecto a: 1) Florescencia de clorofila; 2) Grupos funcionales de microalgas estimados mediante fluorescencia de pigmentos; 3) Sustancias amarillas como aproximación de contenido de materia orgánica disuelta. El diseño de muestreo utilizado se indica en la Tabla 4-3.



**Tabla 4-3: Diseño del muestreo para estimar la cantidad de clorofila por fluorescencia como indicador de actividad fotosintética, para tipos de ecosistemas para los componentes columna de agua y sedimento de los ecosistemas de Chorrillo Invierno 2.**

Tipos de Ecosistemas Variables fluorométricas	Ecosistema reófilo heterotrófico (ERH)	Ecosistema reófilo autotrófico (ERAu)	Ecosistema de la Albufera (EA)
Fluorescencia de Clorofila <b>a</b>	001,002,003,004,005, 006,007,008,009,010, 011,012,013,014,015, 016,017,018,019	020,021,022,024,025, 026,027,028,029	028,029,030,031,032
Grupos funcionales de microalgas por pigmentos	001,002,003,004,005, 006,007,008,009,010, 011,012,013,014,015, 016,017,018,019	020,021,022,024,025, 026,027,028,029	028,029,030,031,032
Substancias amarillas	001,002,003,004,005, 006,007,008,009,010, 011,012,013,014,015, 016,017,018,019	020,021,022,024,025, 026,027,028,029	028,029,030,031,032

### Componente Columna de Agua

Los valores relativos de **clorofila a** de los ecosistemas **ERH** y **ERAu** indican valores bajos, esperables en una columna de agua en movimiento. A medida que se avanza aguas abajo, cuando el ecosistema se transforma de heterótrofo a autótrofo (**ERAu**) hay un aumento de la cantidad de clorofila **a** en la columna de agua (Figura 4–24 y Figura 4–25). Los puntos de la albufera indican, como es de esperar un aumento notable en la clorofila **a**, al hacerse más léntico.

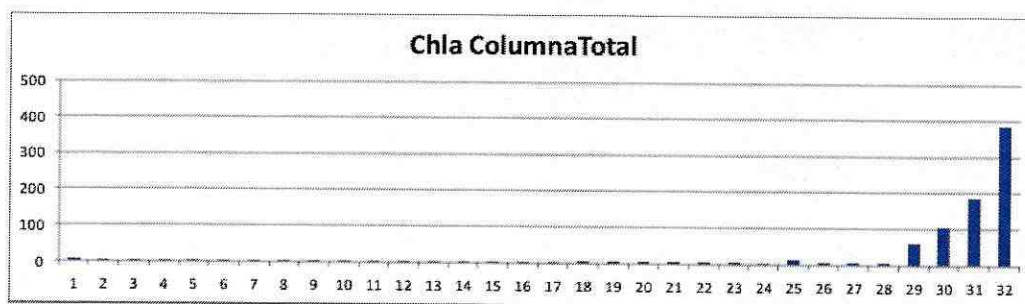


Figura 4-24: Concentración de Clorofila *a* en columna de agua, considerando el total de las estaciones.

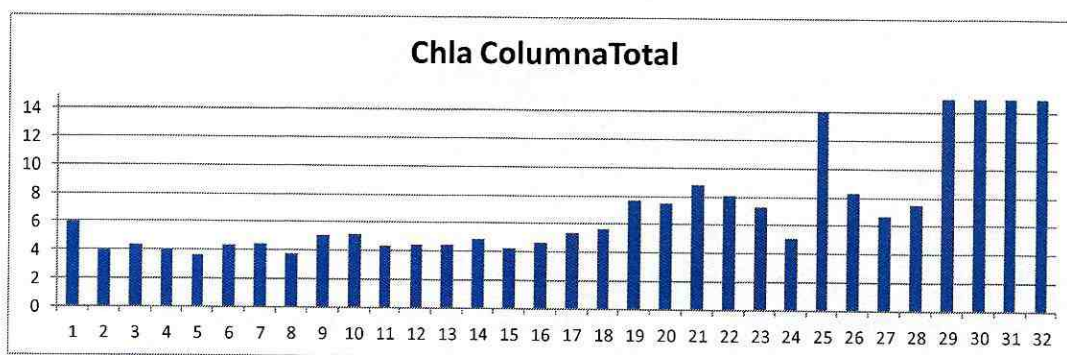


Figura 4-25: Concentración de Clorofila *a* en columna de agua, considerando solamente las estaciones localizadas en el chorrillo (sin considerar estaciones en la albufera).

La identificación de la columna de agua de diatomeas como un grupo funcional, indica el desarrollo de un sistema de mayor autotrofia, tal como se indicó en los tipos de ecosistemas y corresponde al ecosistema **ERAu** (Figura 4-26).

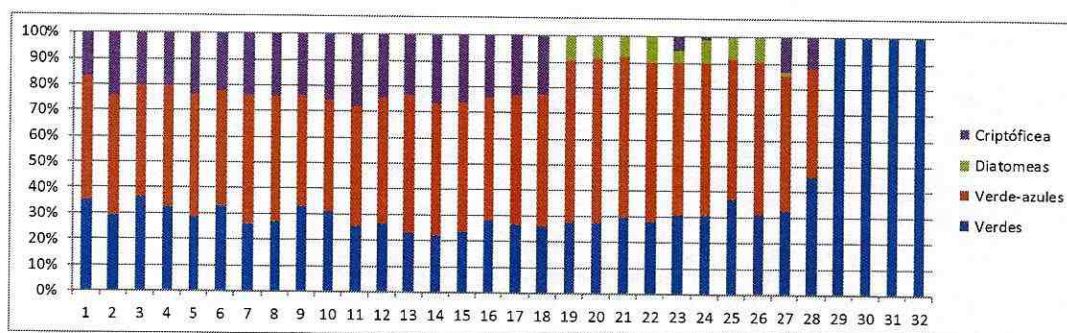
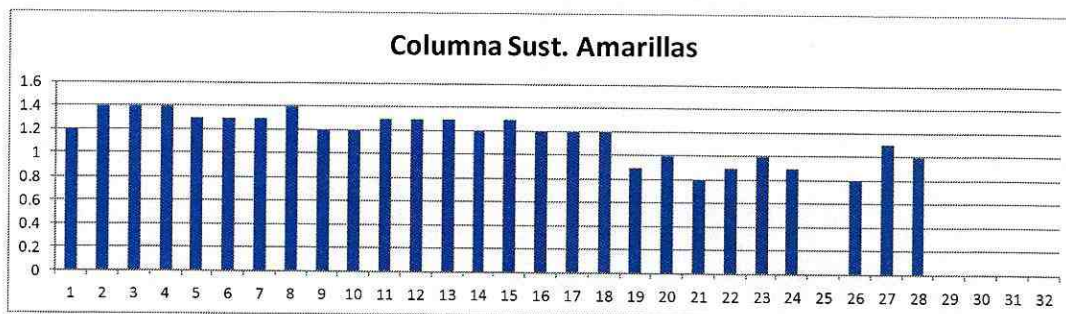


Figura 4-26: Distribución de grupos funcionales de microalgas en columna de agua.



Los ácidos húmicos se encuentran en la columna de agua de una manera continua en los ERH y ERAu (Figura 4–27), en concentraciones relativas bastante similares, pero tienden a ser degradados o enmascarados en ecosistema de la Albufera. La presencia de ácidos húmicos en los ecosistemas acuáticos, da cuenta de los aportes que provienen de la degradación de materia orgánica que ingresa desde la cuenca de avenamiento, en la forma de material alóctono, desde el bosque en galería y plantas perennes herbáceas. La presencia de ácidos húmicos es importante, porque es una fuente de materia orgánica alóctona (energía) que entra en forma disuelta a la columna de agua, disponible para los microorganismos descomponedores. Estos resultados muestran el acoplamiento que existe entre el ecosistema terrestre y el acuático, siendo también un indicador de salud de los ecosistemas.



**Figura 4–27: Distribución de sustancias amarillas en columna de agua (ácidos húmicos).**

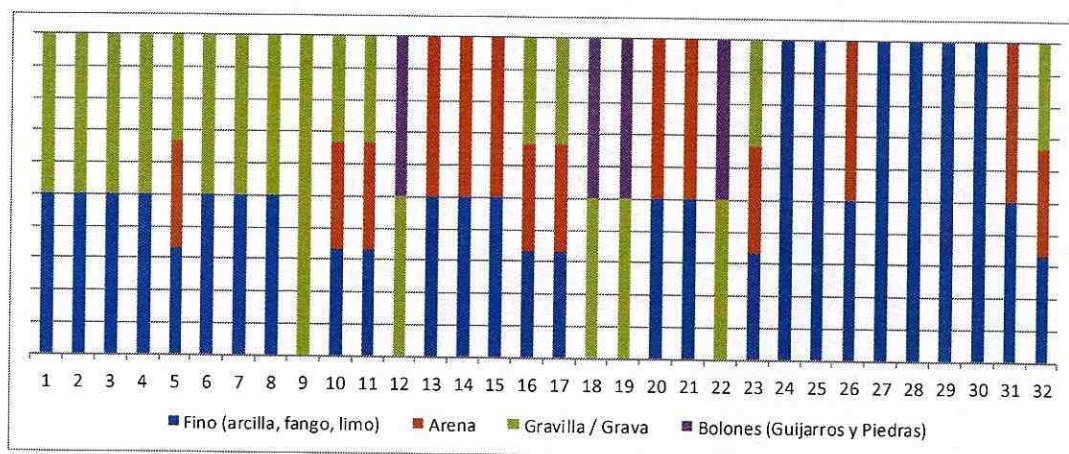
### Componente Sedimento

Las mediciones de clorofila *a* en sedimentos se realizaron en muestras extraídas del fondo del curso de agua (5ml), las cuales fueron disueltas en 40ml de agua, homogeneizadas y decantadas por aproximadamente 8 horas. La medición se realizó en el agua sobrenadante, la que entregó resultados respecto a:

- 1) Florescencia de clorofila;
- 2) Grupos de microalgas determinado mediante fluorescencia de pigmentos;
- 3) Sustancias amarillas como aproximación de contenido de materia orgánica disuelta.

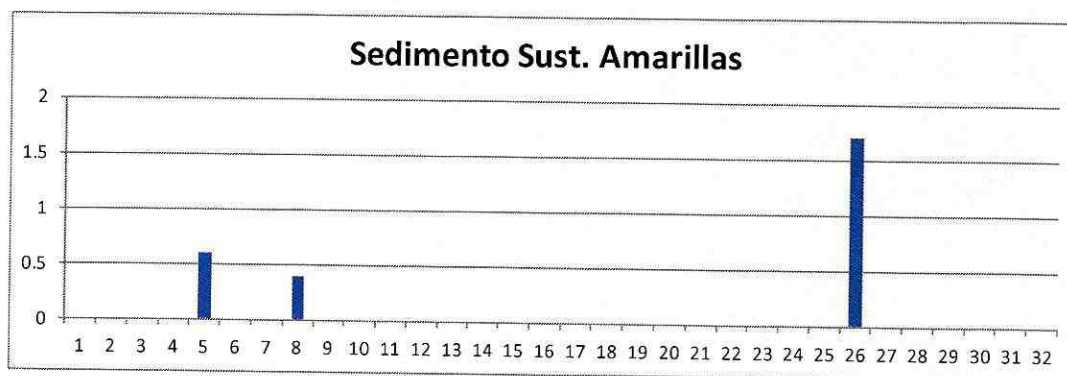
Adicionalmente, se analizó la presencia de diversos tipos de sustratos.

La distribución granulométrica de los sedimentos muestra que, a lo largo del curso de agua, existen diferentes tipos de sustratos desde materiales finos hasta bolones, condición que debería ser considerada explicar la variabilidad en la riqueza de organismos en los ecosistemas acuáticos (Figura 4–28).



**Figura 4-28: Distribución granulométrica de los sedimentos a lo largo del Chorrillo Invierno 2 (valores relativos %).**

Los ácidos húmicos en el agua intersticial de los sedimentos, muestran una presencia escasa y heterogénea en el espacio, solamente se detectan en algunos puntos a lo largo del curso de agua (Figura 4-29).



**Figura 4-29: Distribución de sustancia amarilla en los sedimentos (ácidos húmicos).**

Los niveles de clorofila *a* en los sedimentos en el lecho del Chorrillo Invierno 2, como es de esperar, son mayores a los observados en la columna de agua en movimiento (Figura 4-30 y Figura 4-31). Lo anterior como resultado de la presencia de una comunidad epipélica de microalgas, características de este tipo de cursos de agua.



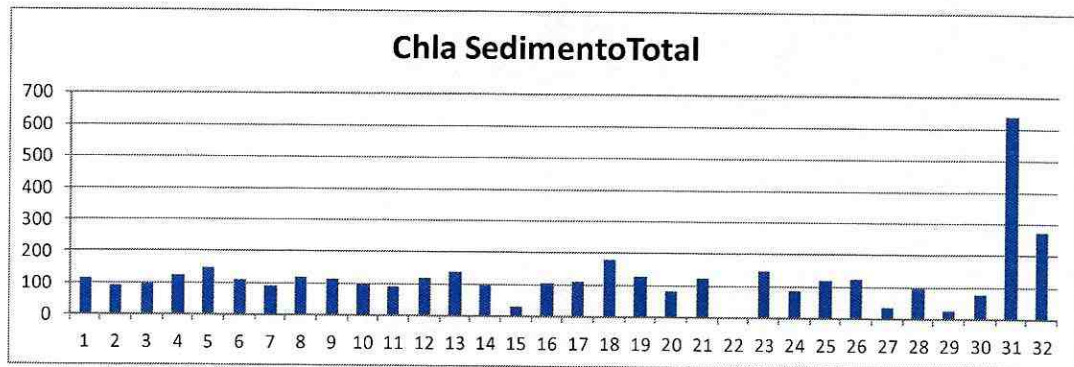


Figura 4-30: Distribución de Clorofila a en el sedimento (perifiton), considerando el total de las estaciones de muestreo.

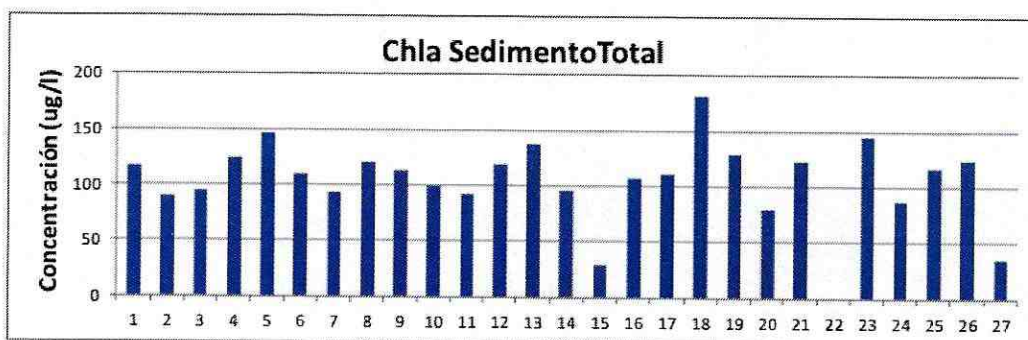


Figura 4-31: Distribución de Clorofila a en el sedimento (perifiton), considerando solamente las estaciones de muestreo localizadas en el Chorrillo Invierno 2 (sin considerar estaciones de la albufera).

Desde el punto de los grupos funcionales de microalgas, en los sedimentos, las criptófitas se hacen menos importantes en relación a los otros grupos de algas, aumentando la importancia relativa de las diatomeas, verdes-azuladas y verdes (Figura 4-32).

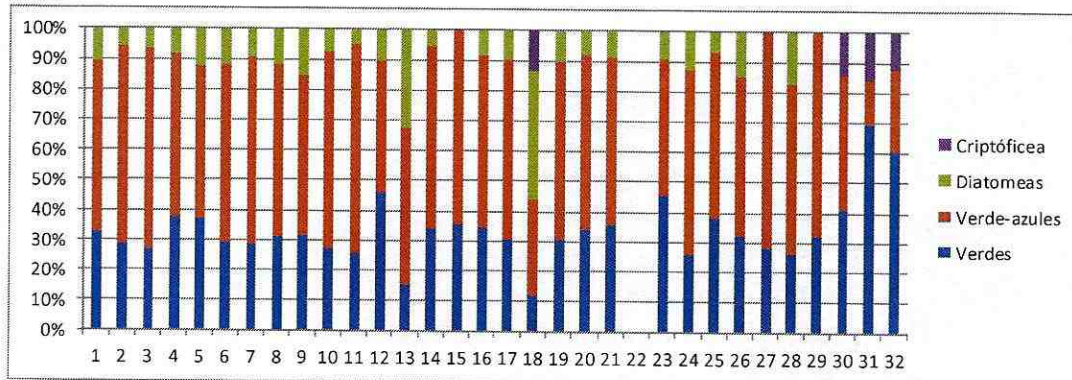


Figura 4-32: Distribución de grupos funcionales de microalgas en los sedimentos (perifiton).

El análisis de procesos ecosistémicos, cómo son las mediciones de producción de Clorofila *a* en los diferentes ecosistemas acuáticos presentes en el Chorrillo Invierno 2, corresponden a variables de estado que dan cuenta de la salud de los ecosistemas (Estado Ecológico). Los resultados obtenidos en el desarrollo de este estudio de variables de estado, permitieron establecer lo siguiente: i) se encontraron diferentes ecosistemas acuáticos, los cuales se encontraban activos en toda su extensión, durante el periodo de medición (estíaje); ii) se determinó actividad fotosintética en la columna de agua y sedimentos, siendo esta última el componente dominante en cuanto a la magnitud de la producción; iii) se determinó la existencia de grupos funcionales que utilizan materia orgánica disuelta proveniente de los ecosistemas terrestres (ácidos húmicos), poniendo en evidencia el acoplamiento funcional entre ambos tipos de ecosistemas; y iv) los ecosistemas acuáticos presentes en el Chorrillo Invierno 2, presentaron un estado ecológico acorde al régimen de perturbaciones naturales y de origen antrópico observado en el área de estudio.

## 5 Conclusiones

A continuación, se señalan las principales conclusiones obtenidas en este Informe Experto, respecto de la evaluación del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos presentes en el Chorrillo Invierno 2:

- 1) El Chorrillo Invierno 2 presenta diversos tipos de ecosistemas acuáticos: i) lótico heterotrófico (tramo superior del Chorrillo Invierno 2, dentro de zona boscosa); ii) lótico autotrófico (tramo medio del Chorrillo Invierno 2, fuera de la zona boscosa); y iii) léntico estuarino (albufera).
- 2) Cada uno de los ecosistemas acuáticos encontrados presentan características estructurales y funcionales particulares, las cuales determinan respuestas distintas a perturbaciones de origen natural y antrópico. Dichos ecosistemas acuáticos, dado el tiempo de exposición y los niveles encontrados, deberían presentar riesgo ecológico bajo. Sin embargo, la albufera requiere un análisis particular durante periodos en la cual la barra de arena aísla hidráulicamente este ecosistema del mar.
- 3) Al analizar aspectos abióticos de los ecosistemas lóticos (ej. morfología, hidráulica, hidrodinámica), se observa que cada uno de ellos presenta una elevada heterogeneidad espacial, con presencia de rápidos, pozas y zonas meandrosas, las cuales permiten una respuesta resiliente diferencial a las perturbaciones.
- 4) El curso de agua que alimenta el Chorrillo Invierno 2, ha registrado modificaciones en la calidad físico-química del agua respecto de aquellos registrados durante la línea base del EIA. Dichas modificaciones corresponden principalmente a aumento en la concentración de manganeso, sulfato, sólidos totales suspendidos, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica. A partir de los resultados aportados por Mina Invierno se pudo observar que, desde el mes de septiembre de 2016, los valores de SST se han mantenido dentro de los umbrales definidos en la Resolución de Calificación Ambiental.
- 5) Estudios científicos internacionales no evidencian efectos negativos de excedencia de manganeso sobre organismos acuáticos a los niveles registrados en el Chorrillo Invierno 2. Para el sulfato existen antecedentes científicos que plantean que niveles superiores a 500 mg/L en aguas duras podrían generar efectos negativos sobre organismos acuáticos. En relación a los sólidos totales suspendidos los efectos sobre





los ecosistemas acuáticos están centrados en el sepultamiento de comunidades bentónicas y disminución de la producción primaria acuática por disminución de la transparencia del agua. Este proceso es controlado por el lavado hidráulico que realizan las crecidas anualmente. En relación a las variables sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica, los valores de excedencia tampoco suponen riesgos a la biota acuática presente, ni crónica ni aguda, según datos y publicaciones internacionales.

6) En términos generales, es posible esperar una probabilidad de riesgo ecológico baja, considerando los niveles de excedencia de algunas variables químicas registradas en el Chorrillo Invierno 2 y asociado esto también a los bajos tiempos de exposición.

7) Los resultados obtenidos en el programa de monitoreo que realiza Minera Invierno en el Chorrillo Invierno 2, en función a las directrices establecidas en la RCA, han permitido identificar cambios en la composición y abundancia en las comunidades de microalgas e invertebrados bentónicos. Estos cambios han sido registrados en las 2 estaciones de monitoreo localizadas en el Chorrillo Invierno 2, en ecosistemas acuáticos diferentes según los antecedentes entregados en este Informe Experto. Lo anterior plantea la necesidad de identificar el origen de los cambios, a la luz de las propiedades estructurales y funcionales de cada ecosistema acuático.

8) El análisis de los ecosistemas acuáticos realizado durante el desarrollo de este Informe Experto, arrojó como principales resultados que: i) los 3 ecosistemas acuáticos presentes en el Chorrillo Invierno 2 se encontraban activos; ii) los diferentes ecosistemas acuáticos mantienen un metabolismo ecosistémico acorde con las características naturales de los ecosistemas acuáticos, especialmente las relacionadas con la producción primaria; ii) Los 3 ecosistemas acuáticos presentan una elevada heterogeneidad espacial, es esperable también que presenten importantes cambios temporales en su estructura y funcionamiento relacionados al régimen de caudal.

9) En términos del estado ecológico, es posible señalar que los ecosistemas acuáticos presentes en el Chorrillo Invierno 2, mantienen actualmente características comparables con ecosistemas naturales con patrones de perturbación natural, siendo necesario evaluar de manera representativa y científicamente validada, qué componentes y procesos de los ecosistemas podrían haber sido afectados por las excedencias en la calidad físico-química y su potencial capacidad de recuperación, si ese fuese el caso.

10) Teniendo en consideración la heterogeneidad y variabilidad natural de los ecosistemas acuáticos identificados en Chorrillo Invierno 2, para establecer efectos relevantes de las excedencias de SST, manganeso, sulfato, SDT y Conductividad Eléctrica sobre los organismos acuáticos, es necesario evaluar de manera integrada las concentraciones máximas de estos parámetros, tiempos de exposición y la sensibilidad de los organismos. Sin embargo, a partir de los resultados obtenidos en este Informe de Experto, podemos indicar que la probabilidad el riesgo ecológico es baja y se concentra en periodos de bajo caudal (estiaje).

## 6 Recomendaciones

1) Implementar medidas para disminuir la perturbación físico-química originada por las operaciones mineras, sean de ingeniería o ingeniería ecológica.



- 2) Introducir mejoras en el plan de seguimiento ambiental, en relación a las estaciones de monitoreo, las variables a medir, y en especial a la frecuencia de las observaciones.
- 3) Realizar una evaluación de riesgo ecológico en el Chorrillo Invierno 2, en relación a las excedencias de STS, manganeso, sulfato, STD y CE.

## **7 Referencias**

- Allan JD. 1995. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Dordrecht, Neth.: Kluwer. 388 pp.
- Armstead MY, Bitzer-Creathers L, Wilson M 2016. The Effects of Elevated Specific Conductivity on the Chronic Toxicity of Mining Influenced Streams Using *Ceriodaphnia dubia*. PLoS ONE 11(11): e0165683. doi:10.1371/journal.pone.0165683.
- Contreras M. 1998. Flujo de carbono en el ecosistema de río Clarillo: autotrofia v/s heterotrofia. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias con mención en Biología. Universidad de Chile. 130 pp.
- Corenblit D, E Tabacchi, J Steiger, AM Gurnell. 2007. Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches. *Earth-Science Reviews* 84, 56–86. <http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.en.18.010173.001151>
- County Kerry. 2005. Assessment of the Impact of Increased Effluent Sulphate Concentrations from Kerry Ingredients on the River Feale. Listowel. EPA Export 25-07-2013.
- Cummins, K. W. 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review in Entomology*, 18, 183-206. Disponible en:
- Dirección General de Aguas. DGA. 2009. Determinación de caudales ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa y en estado de conservación. Informe técnico N° 187. Ministerio de Obras Públicas. 160 pp.
- Elphick JR., G. Gilron and H. Bailey. 2011. An aquatic toxicological evaluation of sulfate: The case for considering hardness as a modifying factor in setting water quality guidelines. *Environmental Toxicology and Chemistry* 30(1): 247-53.
- Hynes HBN. 1970. The Ecology of Running Waters. Liverpool University Press, England. p. 555.
- M&W Ambientales 2016. Proyecto Mina Invierno. Análisis estadístico de datos de calidad de agua de chorrillos periodo 2011-2016.
- May C & R Nordin, 2013. Ministry of Environment, Province of British Columbia. Ambient Water Quality Guidelines for Sulphate, Technical Appendix Update 2013.
- Odum, EP. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science*, 164, 262-270.
- Petts GE & C Amoros. 1996. Fluvial Hydrosystems, Chapman & Hall, 322 pp.





- 
- Pickett, STA, J Kolasa, JJ. Armesto & SL Collins. 1989. The ecological concept of disturbance and its expression at various Hierarchical levels. *Oikos*, 54: 129-136.
- Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E., Stromberg, J.C., 1997. The natural flow regime. *Bioscience* 47, 769–784.
- Vannote RL, Minshall W G, Cummins KW , Sedell JR, Cushing CE. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37:130-37. Disponible en: <http://www.stroudcenter.com/about/pdfs/Vannote1980-CJFAS-RiverContinuumConcept-R0715.pdf>.
- Van Der Welle Mew, AJP Smolders, HJM Op Den Camp, JGM Roelofs & LPM Lamers. 2007. Biogeochemical interactions between iron and sulphate in freshwater wetlands and their implications for interspecific competition between aquatic macrophytes. *Freshw. Biol.* 52, 434–447
- Warwick F. Vincent & Johanna Laybourn-Parry. 2001. Polar Lakes and Rivers - Limnology of Arctic and Antarctic Aquatic Ecosystems. *Antarctic Science*, 21 (doi:10.1017/S0954102009001862)
- Welcomme R. 1992. Pesca fluvial. Documento técnico de pesca FAO N°: 262. 330 pp.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems*. San Diego: Academic Press.



## **ANEXO 1**

### **Tabla de Datos**



TABLA DE DATOS

Columna de agua										Sedimentos					Coordenadas (WGS84 Huso 19F)					Observaciones				
N° muestra	Columna Transmisión	Chla total	Verdes	Verdes azules	Diatom. azules	Criptófitos	Columna Sust. Amarillo	Chla Sedim. Transmisión	Verdes Sedim. Total	Verdes Sedim. azules	Diatom. azules	Criptófitos	Sedim. Sust. Amarillo	Fino (arena, limo, fango)	Gravilla (Grava, Piedra)	Sedimentos (Gullari, asy)	UTM Este	UTM Norte	Latitud S	Longitud W	Altitud GPS Navegado	Altitud Google Earth	Obs	
1	65	6	2.1	2.9	0	1	1.2	2.1	116.1	37.8	65.7	12.6	0	0	1	1	1	323795	4138455	-52.87471	-71.61826	57.3	70	
2	63	4	1.2	1.9	0	1	1.4	6.1	89.1	25.2	57.6	5.4	0	0	1	1	1	323840	4138439	-52.87487	-71.61761	61.3	72	
3	63	4.4	1.6	1.9	0	0.9	1.4	0.7	94.5	25.2	63	6.3	0	0	1	1	1	323879	4138351	-52.87567	-71.61708	58.2	69	
4	82	4.1	1.3	1.9	0	0.8	1.4	1.7	124.2	46.8	67.5	10.8	0	0	1	1	1	323909	4138295	-52.87619	-71.61666	56.7	67	
5	75.7	3.7	1.1	1.8	0	0.9	1.3	1.9	146.7	53.1	71.1	18	0	0.6	1	1	1	323903	4138247	-52.87662	-71.61678	57.9	66	
6	59.9	4.4	1.5	2	0	1	1.3	1.2	109.8	33.3	66.6	13.5	0	0	1	1	1	323930	4138195	-52.87709	-71.61664	62.8	64	
7	58.9	4.5	1.1	2.1	0	1	1.3	3.8	92.7	27	58.5	9	0	0	1	1	1	323988	4138128	-52.87768	-71.61692	53.3	65	
8	63.5	3.8	1	1.8	0	0.9	1.4	2.5	120.6	36.9	67.5	14.4	0	0.4	1	1	1	323955	4138083	-52.87811	-71.6161	51.2	63	
9	78	5.1	1.7	2.2	0	1.2	1.2	6.2	113.4	35.1	58.5	17.1	0	0	1	1	1	323963	4137990	-52.87894	-71.61602	48.2	62	muestra sedim se raspa
10	55.8	5.2	1.6	2.2	0	1.3	1.2	0.6	99.9	27	64.8	7.2	0	0	1	1	1	323980	4137945	-52.87935	-71.6158	50	60	Se observa película de aceite o grasa en agua.
11	60.5	4.4	1.1	2	0	1.2	1.3	0.7	91.8	23.4	63.9	4.5	0	0	1	1	1	324058	4137937	-52.87945	-71.61464	46	59	
12	58.8	4.5	1.2	2.2	0	1.1	1.3	20.4	118.8	54.9	52.2	12.6	0	0	1	1	1	324133	4137942	-52.87943	-71.61353	42.1	58	muestra sedim se raspa
13	58	4.5	1.1	2.5	0	1.1	1.3	1.3	137.7	20.7	70.2	44.1	0	0	1	1	1	324194	4137981	-52.8791	-71.6126	37.2	54	
14	55.5	4.9	1.1	2.5	0	1.3	1.2	0.2	95.4	32.4	56.7	5.4	0	0	1	1	1	324316	4137952	-52.8794	-71.6108	39	52	
15	60.4	4.3	1	2.1	0	1.1	1.3	0	28.8	9.9	18	0	0	0	1	1	1	324496	4137989	-52.87913	-71.60812	32	45	
16	75	4.7	1.3	2.2	0	1.1	1.2	0.2	107.1	36.9	60.3	9	0	0	1	1	1	324594	4137966	-52.87912	-71.60963	31.4	48	
17	53.2	5.4	1.4	2.6	0	1.2	1.2	1.1	110.7	34.2	65.7	10.8	0	0	1	1	1	324656	4137961	-52.87913	-71.60812	32	45	
18	49.5	5.7	1.5	2.9	0	1.3	1.2	12.7	180.9	21.6	57.6	75.6	24.3	0	0	1	1	324725	4137982	-52.87926	-71.60472	34.7	37	muestra sedim se raspa
19	29.5	7.7	2.1	4.8	0.7	0	0.9	3.8	129.6	38.7	73.8	13.5	0	0	1	1	1	324750	4137839	-52.88056	-71.60428	41.5	30	muestra sedim se raspa
20	40	7.5	2	4.6	0.6	0	1	4.8	80.1	26.1	44.1	6.3	0	0	1	1	1	324760	4137792	-52.88121	-71.60195	6.7	30	
21	25.7	8.8	2.6	5.4	0.7	0	0.8	3.4	122.4	43.2	67.5	10.8	0	0	1	1	1	324900	4137650	-52.8823	-71.6023	-4.6	26	
22	35	8.1	2.3	5	0.8	0	0.9	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	324933	4137499	-52.88367	-71.60189	15.5	19	gravas y bolones limpios, sin muestra sedim
23	43	7.3	2.2	4.3	0.3	0.4	1	0.6	145.8	65.7	64.8	13.5	0	0	1	1	1	324960	4137374	-52.8848	-71.60155	2.7	11	
24	29	5.1	2.5	4.9	0.7	0.1	0.9	1.6	87.3	21.6	51.3	10.8	0	0	1	1	1	324939	4137289	-52.88556	-71.60191	0.6	8	sedim con restos de materia vegetal
25	7.3	14.1	5.2	7.7	1.2	0	0	1.4	117	45	64.8	8.1	0	0	1	1	1	324826	4137245	-52.88592	-71.60361	0	8	sedim con restos de materia vegetal
26	29.1	8.3	2.6	5	0.8	0	0.8	3.5	124.2	38.7	63	18	0	1.7	1	1	1	324750	4137184	-52.88644	-71.60478	-1.5	9	sedim con restos de materia vegetal
27	40	6.7	2.2	3.5	0.1	0.9	1.1	0.07	35.1	9.9	25.2	0	0	0	1	1	1	324735	4137084	-52.88733	-71.60506	-1.8	7	sedim con restos de materia vegetal
28	53.6	7.5	3.5	3.2	0	0.9	1	0.2	97.2	26.1	55.8	17.1	0	0	1	1	1	324753	4137027	-52.88785	-71.60481	-2.1	5	sedim con restos de materia vegetal
29	51.8	62.3	63	0	0	0.2	0	0	24.3	8.1	17.1	0	0	0	1	1	1	324832	4137064	-52.88754	-71.60363	-1.5	3	sedim con restos de materia vegetal
30	46.6	104	104	0	0	0	0	0	74.7	30.6	33.3	0	10.8	0	1	1	1	324926	4137104	-52.88721	-71.60221	-4.3	5	sedim con restos de materia vegetal
31	58.3	187	187	0	0	0	0	0	639	448.2	95.4	0	103.5	0	1	1	1	325047	4137129	-52.88703	-71.6004	-2.1	3	sedim con restos de materia vegetal
32	45.7	386	386	0	0	0	0	0	275.4	172.8	77.4	0	35.1	0	1	1	1	325153	4137148	-52.88689	-71.59881	-2.1	3	



## **ANEXO 2**

### **FOTOGRAFÍAS DE PUNTOS DE MUESTREO**





Punto 1



Punto 2



Punto 3



Punto 4



Punto 5



Punto 6





Punto 7



Punto 8



Punto 9



Punto 10



Punto 11

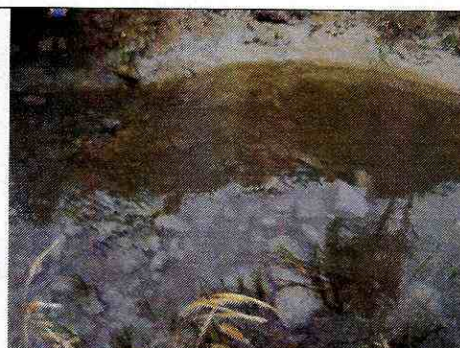


Punto 12





Punto 13



Punto 14



Punto 15



Punto 16



Punto 17



Punto 18





Punto 19



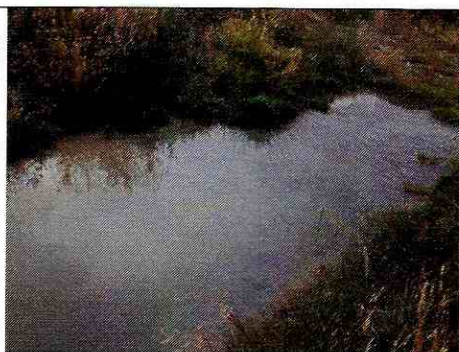
Punto 20



Punto 21



Punto 22



Punto 23

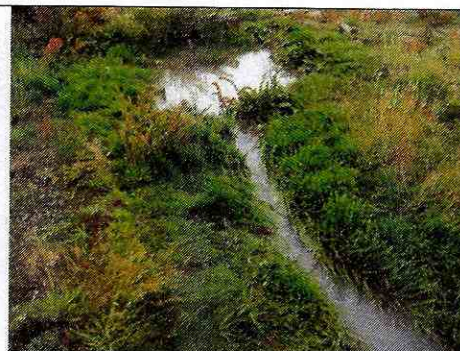


Punto 24





Punto 25



Punto 26



Punto 27



Punto 28



Punto 29



Punto 30



Punto 31



Punto 32





## **ANEXO 10**

Mejoramiento del monitoreo de variables  
limnológicas en el cauce del  
Chorillo Invierno 2

**PROYECTO MINA INVIERNO**

**Punta Arenas, 19 de Mayo de 2017**

## **ANEXO**

### **MEJORAMIENTO DEL MONITOREO DE VARIABLES LIMNOLÓGICAS EN EL CAUCE DE CHORILLO INVIERNO 2, COMPROMETIDO EN EL CONSIDERANDO 8.16 DEL LA RCA N° 25/2011.**

#### **1 INTRODUCCIÓN**

La propuesta de mejoramiento del programa de monitoreo de variables limnológicas ha sido realizada a solicitud de Mina Invierno S.A, para lo cual se tuvieron en consideración los siguientes antecedentes: i) RCA N° 25/2011; ii) Observaciones realizadas por SMA al PdC (5 abril 2017, Res. Ex. N°8/Rol D-0502016); y iii) Informe Experto, "Evaluación estado ecológico del Chorillo Invierno 2, Isla Riesco, Región de Magallanes y Antártica Chilena, elaborado por el Centro de Ecología Aplicada.

#### **2 OBJETIVO**

Realizar una propuesta de mejoramiento del programa de monitoreo de variables limnológicas establecido en la RCA N° 25/2011; en virtud a las observaciones realizadas por SMA al PdC (5 abril 2017, respecto de las acciones N° 21).

#### **3 ENFOQUE**

La propuesta de mejoramiento del programa de monitoreo se basa en una aproximación ecosistémica, de tipo proceso-funcional, que se caracteriza por resaltar procesos ecosistémicos.

#### **4 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO**

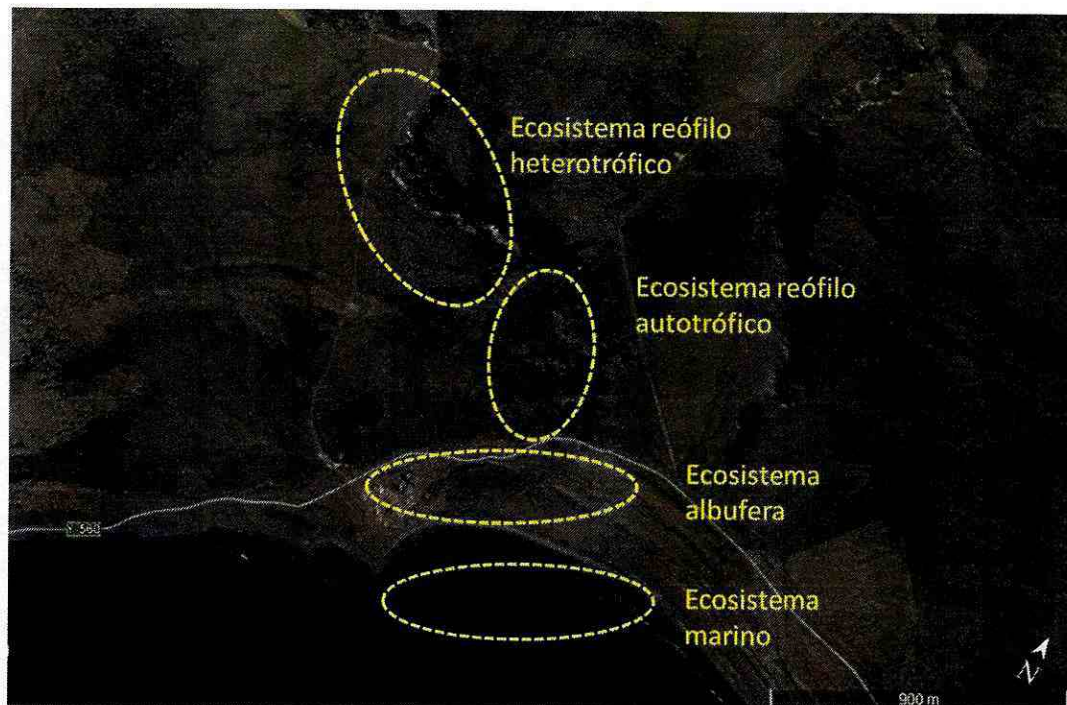
A continuación se describen los principales aspectos considerados en la propuesta de mejoramiento del monitoreo de variables limnológicas:

##### **4.1 Ecosistemas acuáticos presentes en Chorillo Invierno 2.**

Dentro de los ecosistemas de tipo dulceacuícolas, en el Chorillo Invierno 2 y aguas abajo del punto SUP-8 se encuentran ecosistemas reófilos heterotróficos (ERH), que se caracterizan porque la columna de agua se desplaza rápidamente, la energía y carbono disponibles para los organismos heterotróficos como los microorganismos y los macroinvertebrados bentónicos proviene de los ecosistemas terrestres vecinos y de ahí que se diga que son ecosistemas



heterotróficos. Luego se desarrollan ecosistemas reófilos autotróficos (ERAu), con un curso de agua más meándrico, donde la energía y el carbono disponible en el ecosistema provienen de la producción primaria hecha en la columna de agua por parte del fitoplancton y por las macrófitas. Finalmente, entre los ecosistemas de agua dulce se desarrolla la albufera que es un ecosistema de tipo léntico, con un brazo hacia el este, paralelo a la línea de costa sin salida directa al mar y otro brazo hacia el oeste, que es más importante y por donde se descarga el agua al mar.



**Figura 4.1.** Tipos de ecosistemas acuáticos dulceacuícolas presentes en el Chorillo Invierno 2.

## 4.2 Variables a medir

Las variables consideradas en el plan de monitoreo de variables limnológicas, corresponden a las propuestas originalmente en la RCA N° 25/2011 y se incorporan adicionales, en función de los resultados obtenidos en el Informe Experto, "Evaluación estado ecológico del Chorillo Invierno 2, Isla Riesco, Región de Magallanes y Antártica Chilena, elaborado por el Centro de Ecología Aplicada (Ver Tabla 4.1)

Tabla 4.1 Variables a medir en el plan de monitoreo de variables limnológicas en Chorillo Invierno 2

REQUERIMIENTO	COMPONENTE	VARIABLE	PARAMETRO
RCA N° 25/2011	Agua	Calidad de los hábitats	Altura de escurrimiento y caudal.
		Calidad del agua	pH, conductividad eléctrica, temperatura y en complemento los Parámetros de calidad de agua incluidos en la NCh 1.333, Of.78 que determinan aptitud para el desarrollo de vida acuática (Oxígeno disuelto, Turbidez, Sólidos sedimentables, Alcalinidad total, Colorantes artificiales, Sólidos Flotantes visibles y espumas no naturales y Petróleo o cualquier tipo de Hidrocarburos).
	Biota acuática	Diversidad y composición	Fitobentos: Abundancia Total, Riqueza y Diversidad de Simpson.  Fitoplancton: Abundancia Total, Riqueza y Diversidad de Simpson.  Zoobentos/macrozoobentos: Abundancia Total, Riqueza y Diversidad de Simpson. Zooplancton: Abundancia Total, Riqueza y Diversidad de Simpson.



				Macrófitas: Cobertura total.  Fauna íctica: Abundancia Total, presencia ausencia.
Mejoramiento del monitoreo de variables limnológicas	Sedimento	Calidad de sedimento	Granulometría  Nitrógeno total, Fósforo total, Materia orgánica	
	Agua	Calidad de los hábitats	Velocidad de escurrimiento	Nitrógeno orgánico total, nitrato, nitrito, amonio, fósforo total, ortofosfato*, sodio*, potasio*, calcio*, magnesio*, carbonato*, bicarbonato*, cloruro*, sulfato*, manganeso*, sílice*, sólidos totales suspendidos, sólidos disueltos totales.
		Calidad del agua		
	Biota acuática	Abundancia	Clorofila a en fitoplancton y perifiton	

(\*) fracción disuelta

### 4.3 Frecuencia de muestreo

Se propone frecuencia estacional para el monitoreo de variables limnológicas en el Chorillo Invierno 2, para poder representar los periodos de transición entre aguas bajas (estiaje) y aguas altas (crecidas), en función de la hidrología del Chorillo Invierno 2 en la estación SUP-8 (Figura 4.2).

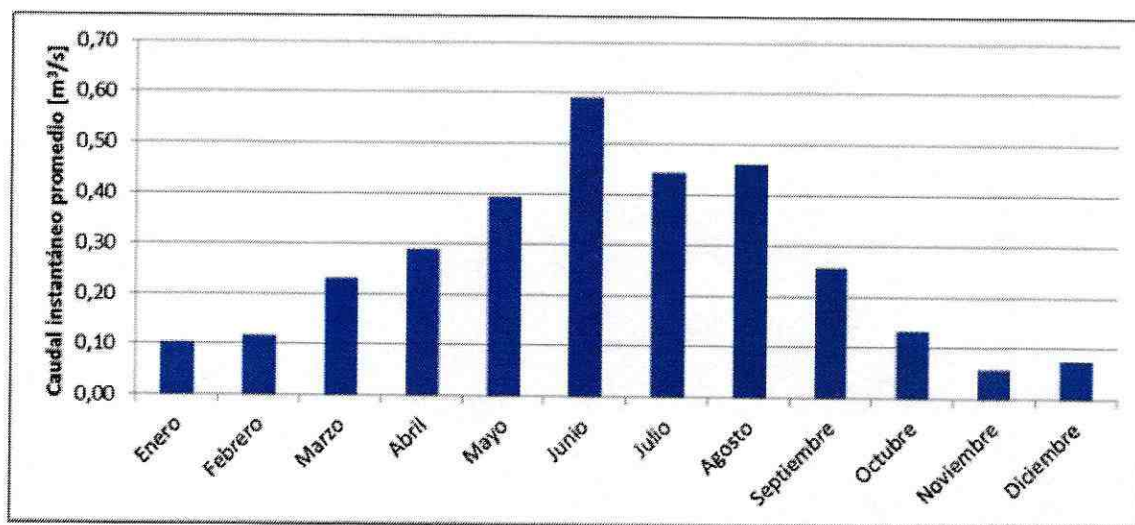


Figura 4.2. Caudal instantáneo promedio en SUP-8 por mes.

### 4.4 Ubicación estaciones de muestreo

Las estaciones de monitoreo corresponden a las propuestas originalmente en la RCA N° 25/2011 y se incorporan adicionales, en función de los resultados obtenidos en el Informe Experto, "Evaluación estado ecológico del Chorillo Invierno 2, Isla Riesco, Región de Magallanes y Antártica Chilena, elaborado por el Centro de Ecología Aplicada (Tabla 4.2), para describir adecuadamente los diferentes tipos de ecosistemas acuáticos presentes en el Chorillo Invierno 2.



**Tabla 4.2. Ubicación de las estaciones de monitoreo de variables limnológicas en el Chorillo Invierno 2 (Datum WGS 84, Huso 19).**

Tipo Ecosistema	Estación	Ubicación geográfica		Referencia
		Este	Norte	
Reófilo heterotrófico	CH-12a	323.930	4.138.195	Mejoramiento monitoreo variables limnológicas
	CH-12	324.044	4.137.948	RCA N° 25/2011
Reófilo autotrófico	CH-13a	324.750	4.137.184	Mejoramiento monitoreo variables limnológicas
	CH-13	325.003	4.137.442	RCA N° 25/2011
Léntico (albufera)	CH-14	324.753	4.137.027	Mejoramiento monitoreo variables limnológicas
	CH-15	325.047	4.137.129	Mejoramiento monitoreo variables limnológicas

## **ANEXO 12**

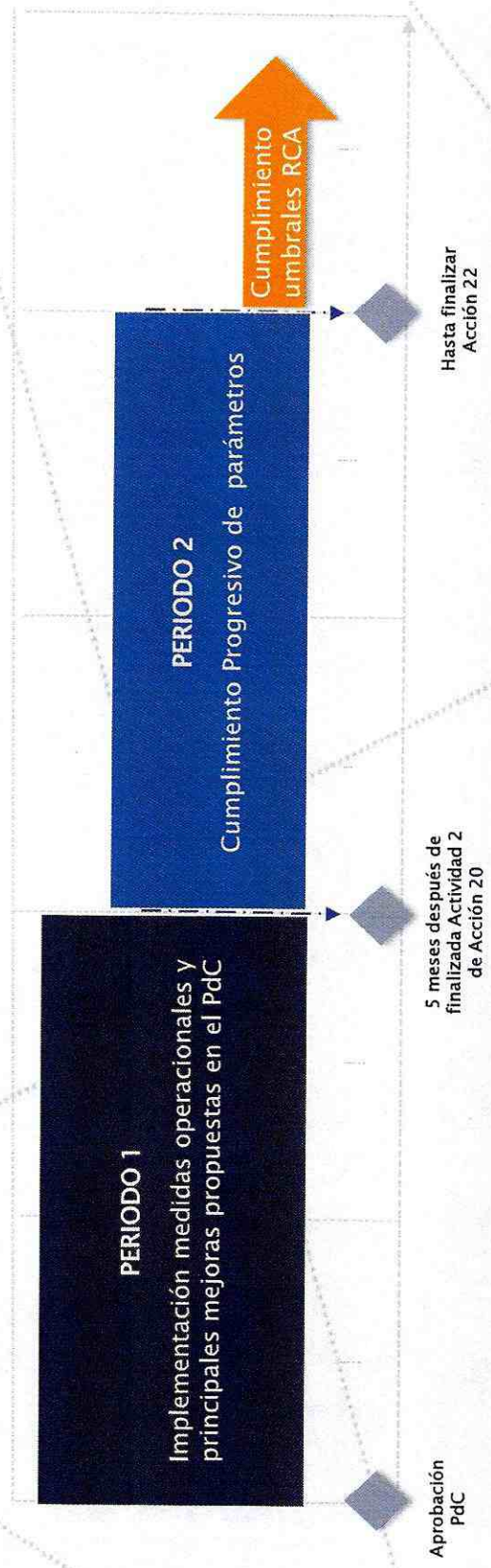
Cumplimiento progresivo de valores  
umbrales en el punto SUP-8, respecto a  
parámetros de control a excepción de SST

**PROYECTO MINA INVIERNO**

**Punta Arenas, 19 de Mayo de 2017**



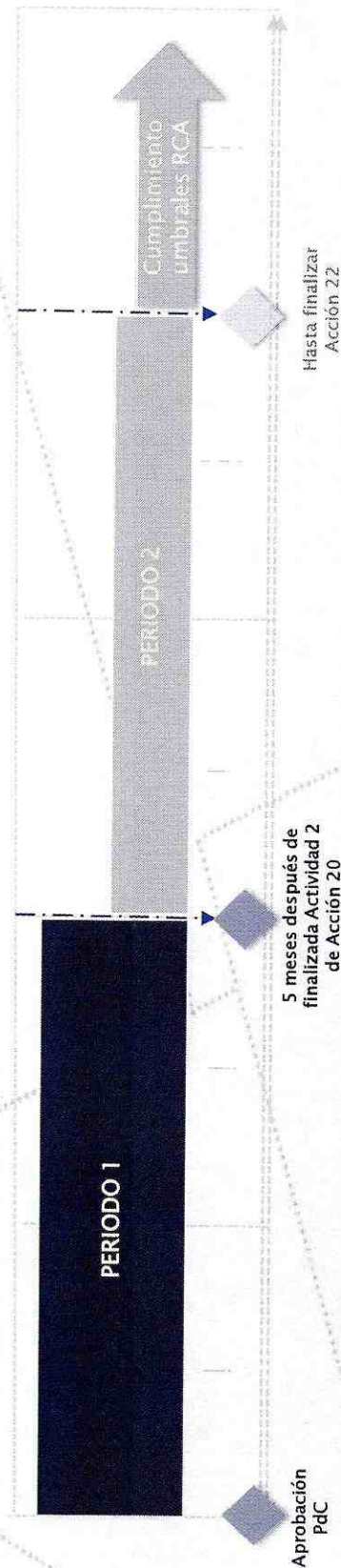
# Cumplimiento progresivo parámetros químicos SUP-8



PERIODOS	
Período 1	Desde la notificación que aprueba el PdC y hasta 5 meses luego de concluída la Actividad 2 de la Acción 20.
Período 2	Desde el mes siguiente al término del Período 1 y hasta completar la Acción 22



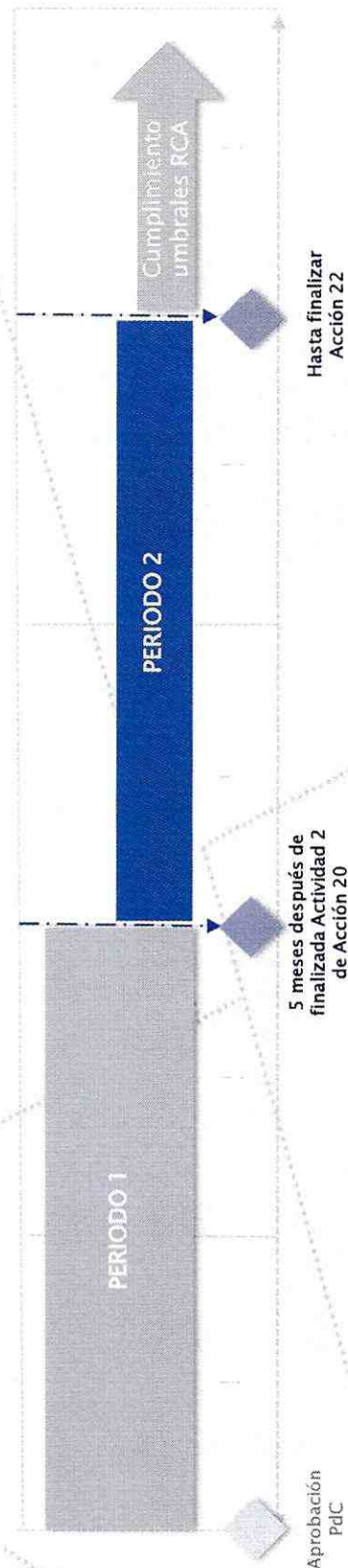
## Período 1: Implementación medidas operacionales y principales mejoras propuestas



PERIODO 1	
<b>Acciones</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecimiento de la revegetación de canales y otras áreas (Acción 17 y 18)</li> <li>• Activación medidas operacionales (Acción 19 y 20)</li> </ul> <p>Esto permitirá que en la fases siguientes del programa se avance progresivamente hacia el cumplimiento de los umbrales de calidad que se establezcan en la RCA (acción 22).</p> <p>En consecuencia, durante este primer período no se espera un cambio de tendencia respecto de las excedencias asociadas a parámetros químicos, por cuanto las medidas estarán en proceso de ejecución o puesta en marcha.</p>	<b>Plazos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acción 17: 6 meses</li> <li>• Acción 18: 12 meses</li> <li>• Acción 19: 1 meses</li> <li>• Actividad 2 de la Acción 20: 7 meses</li> </ul>



## Período 2: Cumplimiento progresivo de parámetros



PERIODO 2			
Parámetros	Unidad	Valor Umbral	Número Excedencias Anuales
SO <sub>4</sub>	mg/l	78	6
Mn Disuelto	mg/l	0.51	6
Fe Disuelto	mg/l	1.83	1
Al Disuelto	mg/l	1.53	1
CE	us/cm	429	10
SDT	mg/l	303	10

Cabe señalar que para el análisis de las excedencias se tendrá en cuenta los resultados en los puntos de medición adicional definidos en el Anexo 11 del PdC (Puntos: CD2-4, CD2-3 y CC-4) toda vez que permitirán estimar la posible influencia de causas naturales en las excedencias.