

# **SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE PROYECTO CASERONES**

## **PLAN DE MONITOREO ROBUSTO DEL RECURSO HÍDRICO CALIDAD**

**ABRIL 2015**

## RESUMEN EJECUTIVO

El Plan de Monitoreo Robusto del Proyecto Caserones, en lo relacionado con la Calidad, consiste en un seguimiento de la calidad fisicoquímica y bacteriológica de las aguas en el entorno a las operaciones del proyecto que permite establecer de manera temprana cualquier cambio en su composición y materializar de manera efectiva medidas de control y mitigación que correspondan.

El seguimiento se basa en monitoreo de la calidad química de aguas superficiales y subterráneas, organizados por áreas asociadas a las instalaciones del proyecto para generar un registro continuo en el tiempo con la información recogida.

Esta información se utilizará para activar un Plan de Alerta Temprana (PAT) en caso de que se adviertan variaciones significativas en la composición de las aguas. Este Plan de Alerta Temprana contempla acciones de monitoreo adicional e investigación del origen del evento. Si las desviaciones alcanzan umbrales predeterminados denominados Umbrales de Referencia Máxima (URM) se gatillan medidas de remediación para el control y remediación de una eventual la contaminación.

El monitoreo incluye las áreas donde se encuentran las siguientes operaciones: el depósito de lixiviación y el depósito de arenas (ambos en la Quebrada Caserones), el depósito de lastre y el depósito de lamas (ambos en la Quebrada La Brea) y el sector del relleno sanitario.

Para el caso del agua subterránea, se contempla 28 pozos de monitoreo, de los cuales 10 son de remediación y además se consideran 6 pozos monitoreo y muestreo multinivel. También se considera monitoreo de parámetros en línea y muestreos de para análisis físico químicos de muestras en laboratorios certificados.

## ÍNDICE GENERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>ANTECEDENTES DEL PROYECTO .....</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGÍA, PLANES ALERTA TEMPRANA Y REMEDIACION EN LAS QUEBRADAS CASERONES Y LA BREA .....</b>	<b>6</b>
4.1	Umbral de Cumplimiento .....	6
4.2	Infraestructura del PMR CALIDAD .....	7
4.3	Metodología del PMR.....	8
4.3.1	Metodología PMR sectores Depósitos de Lamas y Arenas .....	9
4.3.2	Metodología PMR sector Depósito de Lixiviación.....	12
4.3.3	Metodología PMR sector Depósito de Lastre .....	12
4.3.4	Metodología PMR sector Relleno Sanitario .....	12
<b>5</b>	<b>PMR CALIDAD PARA QUEBRADA CASERONES.....</b>	<b>14</b>
5.1	Monitoreo del Depósito de Lixiviación .....	14
5.2	Monitoreo Depósito de Arenas .....	16
<b>6</b>	<b>PMR CALIDAD PARA QUEBRADA LA BREA .....</b>	<b>22</b>
6.1	Monitoreo Depósito de Lastre .....	22
6.2	Monitoreo Depósito de Lamas.....	24
<b>7</b>	<b>PMR CALIDAD PARA RELLENO SANITARIO .....</b>	<b>29</b>
<b>8</b>	<b>METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANALISIS.....</b>	<b>33</b>
8.1	Muestreo .....	33
8.2	Mediciones Directas en Terreno.....	34
8.3	Análisis Fisicoquímicos de Laboratorio .....	34
8.4	Análisis Bacteriológicos.....	35
8.5	Caracterización de Relaves .....	35
<b>9</b>	<b>REPORTABILIDAD .....</b>	<b>35</b>
<b>1.</b>	<b>Introducción y Objetivo.....</b>	<b>39</b>
1.1	Introducción .....	39
1.2	Objetivo.....	39
<b>2</b>	<b>Ubicación Puntos de Monitoreo .....</b>	<b>39</b>

<b>3</b>	<b>Incorporación de Datos de Calidad de Aguas a la Base de Datos de Línea de Base de Calidad de Aguas Subterráneas.....</b>	<b>40</b>
3.1	Detección de Omisión en Valores Umbrales del PMR.....	40
3.2	Revisión Valores Umbrales del PMR – Detección de Inconsistencia.....	40
<b>4</b>	<b>Corrección de Valores Umbrales del PMR.....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>45</b>

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Vista General Instalaciones Proyecto Caserones. ....	4
Figura 2: Puntos de Monitoreo Depósito de Lixiviación. ....	15
Figura 3: Ubicación Puntos de Monitoreo del Depósito de Arenas. ....	21
Figura 4: Ubicación Puntos de Control Aguas abajo del Depósito de Lastre. ....	23
Figura 5: Ubicación Puntos de Control Depósito de Lamas en Quebrada La Brea. ....	26
Figura 6: Puntos de Monitoreo de Agua Subterránea Relleno Sanitario. ....	30

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Frecuencias de Medición Puntos de Monitoreo. ....	8
Tabla 2: Monitoreo Depósito de Lixiviación. ....	14
Tabla 3: Pozos Sector Depósito de Arenas. ....	16
Tabla 4: Umbrales de Alerta Temprana en Quebrada Caserones. ....	17
Tabla 5: Umbrales de Referencia Máxima en Quebrada Caserones. ....	19
Tabla 6: Derechos de Aprovechamiento de Aguas para Pozos de Remediación en Quebrada Caserones. ....	20
Tabla 7: Puntos de Monitoreo de Agua Superficial Sector Caserones. ....	20
Tabla 8: Monitoreo Depósito de Lastre. ....	22
Tabla 9: Monitoreo Depósito de Lamas. ....	24
Tabla 10: Umbrales de Alerta Temprana en Quebrada La Brea. ....	25
Tabla 11: Umbrales de Referencia Máxima en Quebrada La Brea. ....	27
Tabla 12: Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Pozos de Remediación en Quebrada La Brea. ....	28
Tabla 13: Puntos de Monitoreo de Agua Superficial Sector La Brea. ....	28
Tabla 14: Puntos de Monitoreo de Agua Subterránea Relleno Sanitario. ....	31
Tabla 15: UAT y URM sector Relleno Sanitario. ....	32
Tabla 16: Puntos de Monitoreo de Agua Superficial Sector Relleno Sanitario. ....	33
Tabla 17: Parámetros Analizados. ....	35
Tabla 18: Reportabilidad Plan de Monitoreo Calidad. ....	36

## 1 INTRODUCCIÓN

SCM Minera Lumina Copper Chile (MLCC) se encuentra operando el Proyecto Caserones, el cual se ubica en la Comuna de Tierra Amarilla, Provincia de Copiapó, Región de Atacama. El yacimiento minero se encuentra ubicado aproximadamente a 160 km al sureste de la Ciudad de Copiapó, a una altura media de 4.300 m.s.n.m.

El Proyecto consiste en la producción y venta de concentrado de cobre, cátodos de cobre y concentrado de molibdeno. El mineral sulfurado extraído del rajo abierto Caserones es sometido a una etapa de chancado primario, para posteriormente ser procesado en una Planta Concentradora, en la que se realizan las operaciones de molienda y flotación.

Los minerales oxidados, mixtos y sulfuros de baja ley, son transportados hasta un depósito de lixiviación donde el mineral es lixiviado con una solución ácida que genera una solución que contiene cobre disuelto, el que se recupera en una Planta de Extracción por Solventes y Electro-obtención (Planta SX-EW), cuyo producto son cátodos de cobre que son transportados hasta su punto de embarque y/o comercialización.

La vida útil del Proyecto Caserones es de 28 años, finalizando la etapa de lixiviación en el año 2035. Por otra parte, la Planta Concentradora comenzó a operar en junio de 2014, continuando con su operación hasta el año 2040.

El proyecto Caserones se encuentra aprobado ambientalmente mediante RCA N°13/10 de la COREMA Región de Atacama.

Durante el proceso de evaluación ambiental MLCC comprometió medidas voluntarias relacionadas con la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Copiapó y a la sustentabilidad del aprovechamiento del recurso en el largo plazo.

La Autoridad Ambiental solicitó a través de la RCA, que se desarrolle un Plan de Seguimiento ambiental para este recurso. Esta exigencia se expresa en el numeral N° 9 del considerando 12 “Condiciones o Exigencias Específicas de la RCA” como se muestra a continuación:

“En relación al monitoreo de todas las variables ambientales referidas a los recursos hídricos asociadas al proyecto, tanto en lo que se refiere al abastecimiento de agua desde las fuentes subterráneas ubicadas en la zona alta de la cuenca del río Copiapó como a las obras y acciones susceptibles de generar algún grado de alteración en la calidad de las aguas existentes en la zona de emplazamiento del proyecto, el titular deberá presentar para su validación a la Dirección Regional de la DGA para su posterior validación por parte de la Autoridad Ambiental, un sistema de monitoreo robusto que contenga todos los antecedentes necesarios para efectos de llevar a cabo un adecuado Plan de Seguimiento”

Debido a lo anterior se ha desarrollado un Plan de Monitoreo Robusto (PMR) que permite monitorear tanto el comportamiento del acuífero, asociado a la zona alta de la cuenca del río Copiapó, como la calidad de las aguas superficiales y subterráneas asociadas al proyecto.

Tal como se estipuló en el considerando mencionado, se presentó a la Dirección General de Aguas (DGA) Región de Atacama, a través de Carta MLCC 132/2012 de fecha 30 de noviembre 2012, una nueva versión del Plan de Monitoreo. Posteriormente la DGA hizo llegar sus respectivas observaciones sobre el “Plan” al Servicio de Evaluación Ambiental, Región de Atacama según Ord. N° 470 de fecha 11 de julio de 2013. Estas observaciones se dividen en aquellas “Sobre calidad de recursos hídricos” y “Sobre cantidad de recursos hídricos”.

Las respuestas de MLCC a las observaciones sobre Calidad del Recurso Hídrico se presentaron el 25 de octubre de 2013 mediante carta MLCC 135/2013.

La DGA emitió sus observaciones al informe de respuestas de Calidad a través de DGA Atacama Ord. N°909/2013 de fecha 27 de diciembre 2013.

La Comisión de Evaluación del Región de Atacama valida el Plan de Monitoreo Robusto de Recursos Hídricos mediante la Resolución Exenta N°064 del 07 de marzo de 2014, pero indicando que en el Plan de Monitoreo Robusto de la variable calidad se deben incorporar algunos considerandos expuestos por la Dirección General de Aguas de Atacama en el Ordinario N°181 de fecha 28 de febrero de 2014.

Adicionalmente, conforme a lo dispuesto en la letra ii) del Resuelvo Segundo de la Resolución Exenta N° 198 de 18 de marzo de 2015, que puso término al procedimiento sancionatorio instruido por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) en contra de MLCC, se ordenó presentar un cronograma -con expresión de metas, plazos y medios de verificación-, para el cumplimiento de todas las condiciones exigidas por las Autoridades en la Resolución Exenta N° 64/2014, de la Comisión de Evaluación de la Región de Atacama.

En cumplimiento de lo anterior, el presente informe consolida las principales características del Plan de Monitoreo Robusto en el ámbito de la Calidad e integra las condiciones y exigencias que la DGA solicita que se incorporen en el “Plan”, en cuanto a las mediciones y acciones que se requieren para su ejecución.

## **2 OBJETIVO**

El objetivo del Plan de Monitoreo Robusto (PMR) en lo relacionado con la Calidad es establecer un plan de seguimiento de la calidad química de las aguas en el entorno del Proyecto Caserones para establecer de manera temprana cualquier cambio en su composición y materializar de manera efectiva las medidas de seguimiento y control que correspondan.

El seguimiento se basa en muestreos de la calidad química de aguas superficiales y subterráneas, organizados por áreas asociadas a las instalaciones del proyecto para generar un registro con la información recogida.

Esta información se utilizará para activar las medidas asociadas al PMR en caso de que se adviertan variaciones significativas en la composición de las aguas. El PMR contempla acciones de monitoreo adicional, investigación del origen del evento y remediación para el control de la contaminación.

## **3 ANTECEDENTES DEL PROYECTO**

El proyecto Caserones se ubica aproximadamente a unos 160 km al sureste de Copiapó en la comuna de Tierra Amarilla, Región de Atacama. Sus instalaciones se localizan principalmente en la cuenca del río Ramadillas, incluyendo las quebradas de Caserones y La Brea.

El proyecto considera la explotación del yacimiento de cobre homónimo, propiedad de MLCC, el cual tiene como principal objetivo la producción y venta de concentrado de cobre, cátodos de cobre y concentrado de molibdeno como resultado de la explotación a rajo abierto del yacimiento ubicado en el entorno del Cerro Caserones. Las reservas de este yacimiento alcanzan aproximadamente las 1.350 millones de toneladas, lo que al ritmo de explotación proyectado implica una vida útil estimada de 28 años.

El mineral sulfurado extraído de la mina es sometido a una etapa de chancado primario, que se ubica al sur del yacimiento para posteriormente, ser transportado mediante correas hasta una planta concentradora, en la que se realizan las operaciones de molienda y flotación. Los productos de este proceso, concentrado de cobre y concentrado de molibdeno, son filtrados y enviados por camiones hasta su punto de embarque y/o comercialización.

Los relaves del proceso son separados mediante hidrociclones en la fracción gruesa (arenas) y fina (lamas). Las arenas son depositadas en el sector bajo de la Quebrada Caserones donde drenan y el agua recuperada es reciclada a la concentradora. Las lamas son espesadas y transportadas gravitacionalmente por una cañería (lamaducto) hasta la Quebrada La Brea donde se depositan en un embalse que cuenta con un muro de enrocado impermeabilizado con una membrana en su cara interior.

De este modo, el proyecto Caserones cuenta con un depósito de lamas en Quebrada La Brea y un depósito de arenas en Quebrada Caserones.

Los minerales oxidados, mixtos y sulfuros de baja ley, son transportados en camiones mineros a un depósito de lixiviación. En este depósito, el mineral es lixiviado con una solución ácida que genera una solución que contiene cobre disuelto, el que se recupera en una Planta SX-EW. El producto de esta planta son cátodos de cobre que son transportados por camiones hasta su punto de embarque y/o comercialización.

La descripción del entorno se puede consultar en el capítulo de Línea de Base del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Caserones, ya que no ha variado significativamente desde su presentación. La Figura 2 presenta la vista general del proyecto.



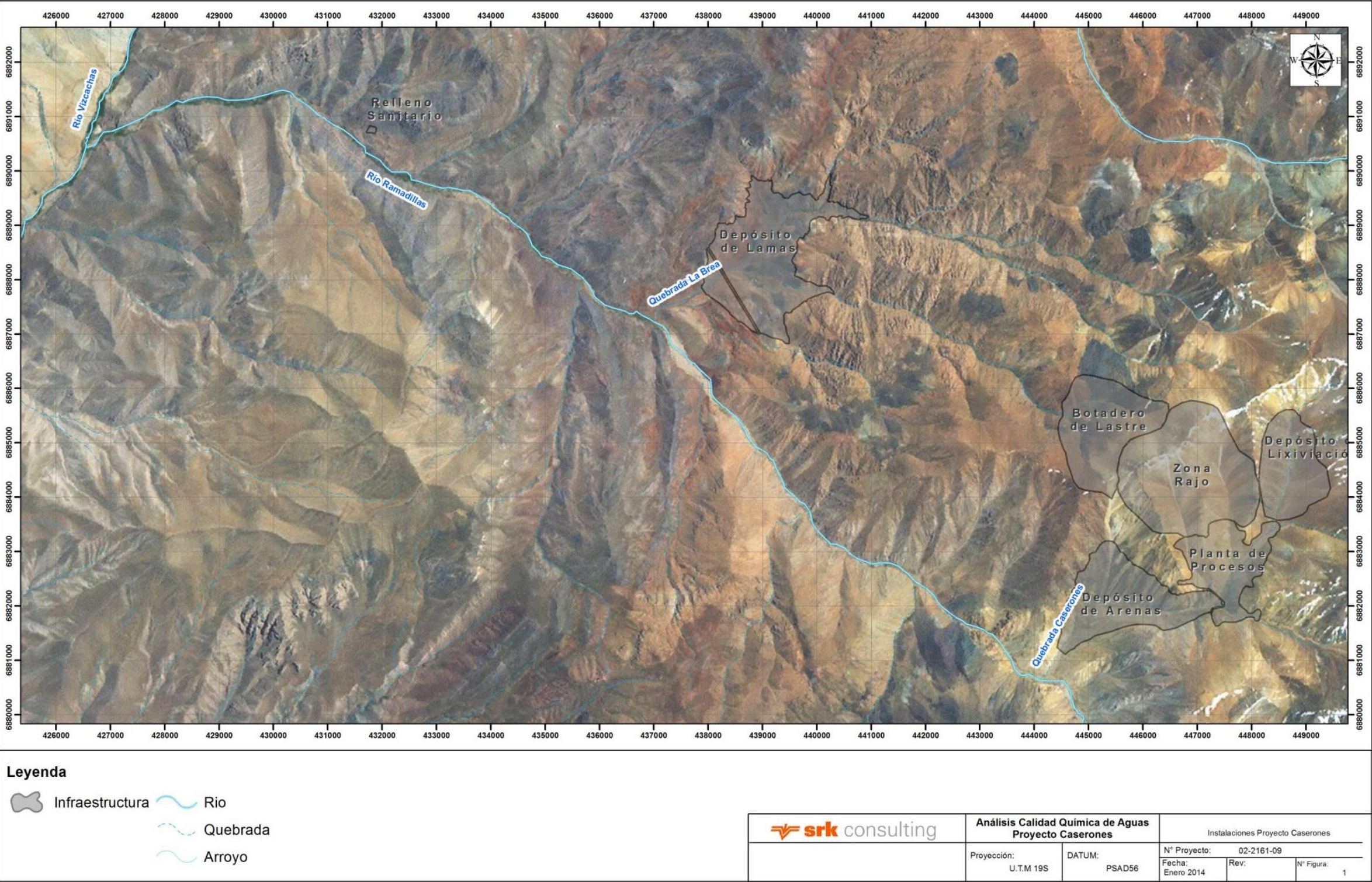


Figura 1: Vista General Instalaciones Proyecto Caserones.



Los depósitos de relaves cierran las subcuencas de las quebradas Caserones (arenas) y La Brea (lamas) que es donde se emplazan las obras del sector industrial compuesto por la mina, el depósito de lixiviación, la planta SX-EW, la Concentradora y los mencionados depósitos de relaves.

Por lo tanto, el monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas se centra en estos sectores y en el acuífero inmediatamente inferior, de manera de asegurar que los niveles de calidad se mantengan sin afectación fuera del área industrial de Caserones.

El diseño de estas obras contempla una serie de medidas para el manejo de las potenciales infiltraciones que pudiesen percolar hacia el sistema acuífero infrayacente. Algunas de estas medidas son:

- Sistemas de separación de relaves finos y gruesos y sistemas de espesamiento que permiten recuperar el máximo de agua en el sector de la Planta de Proceso y a la vez evacuar y depositar los relaves finos y gruesos con la cantidad de agua mínima para su transporte.
- Un sistema de desvío de agua con captaciones en las quebradas correspondientes orientadas a captar aguas superficiales y sub superficiales, de manera de desviar las aguas y así evitar el contacto de aguas naturales con los depósitos de relaves.
- Un sistema de drenes con factores de seguridad entre 5 y 10 en el muro del embalse de lamas y un sistema similar en el depósito de arenas que permiten coleccionar aguas hacia un sistema de sentinas que recirculará el agua captada a los procesos.
- Carpeta impermeable en la cara aguas arriba del muro en el depósito de lamas.
- Zanjas cortafugas excavadas en todo el material no consolidado (aluvios) y que atraviesan las secciones de las quebradas, para interceptar flujos que pase los sistemas anteriores y por lo tanto impida que estos puedan migrar fuera de las zonas de control del proyecto.
- Sistemas de impulsión con equipos stand by, que permiten recircular a procesos todas las aguas de contacto captadas y entregar al lecho natural las aguas no contactadas (principalmente aguas de precipitaciones).

Además de todas las medidas de control mencionadas, se contempla la construcción de pozos de monitoreo para controlar la calidad de las aguas que puedan escurrir subterráneamente en dirección aguas abajo de cada depósito y una barrera hidráulica conformada por una batería de pozos de remediación. Esto permite la captura de las aguas que pudieran causar alteración en términos de la calidad de las aguas subterráneas aguas abajo del proyecto.

Respecto a la operación del Relleno Sanitario existe un riesgo menor de contaminación (se controlará de forma separada, ver Capítulo 7) y en el área de campamento una muy baja probabilidad de contaminación de aguas, por eventuales derrames desde la Planta de Tratamiento de aguas servidas del Campamento.

La operación normal del proyecto no considera descargas de efluentes a cuerpos de aguas superficiales, por lo que no se espera generar ningún impacto sobre ellas. Por lo tanto, si se llega a afectar la calidad de agua superficial, esto será a causa de un imprevisto de fuerza mayor o algún incidente particular, lo que será tratado de acuerdo los Planes de Contingencia que el proyecto Caserones cuenta para estos efectos.

#### **4 METODOLOGÍA, PLANES ALERTA TEMPRANA Y REMEDIACION EN LAS QUEBRADAS CASERONES Y LA BREA**

El Plan de Monitoreo Robusto (PMR) CALIDAD, consiste en un plan de seguimiento de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en el entorno del proyecto Caserones.

El PMR Calidad contempla el análisis de los parámetros fisicoquímicos de las aguas en torno al proyecto para detectar y determinar si se encuentran alterados. La definición de alteración de las aguas tiene relación con la definición de umbrales de cumplimiento de calidad química que gatillan los planes de Alerta Temprana y los planes de Remediación que se detallan más adelante.

##### **4.1 Umbrales de Cumplimiento**

Con el objetivo de definir los umbrales de cumplimiento para la calidad de las aguas, se ha realizado un análisis de los datos de calidad de las aguas subterráneas colectados desde mayo de 2010 a octubre de 2013, en todos los puntos donde MLCC cuenta con información, de modo de evaluar la evolución de la concentración de los parámetros químicos y fisicoquímicos. Se ha realizado un análisis estadístico de esta base de datos de modo de definir los Umbrales de Referencia Máximos (URM) y Umbrales de Alerta Temprana (UAT) para cada uno de los parámetros monitoreados. La superación de estos umbrales implica que MLCC tomará una serie de acciones tendientes a evaluar los posibles cambios en la calidad de las aguas subterráneas generadas por la acción minera en situaciones de contingencia en donde las obras diseñadas para controlar las infiltraciones se vieran sometidas a algún imprevisto que imposibilita su funcionamiento óptimo y eficiente. En el caso de superar el URM, MLCC deberá activar un Plan de Remediación.

En el análisis y caracterización de calidad de las aguas se consideró la información de monitoreo químico de las aguas disponible para la zona, proveniente del plan de monitoreo que ha mantenido MLCC en el tiempo y que cuenta con las medidas in situ realizadas por SITAC y de los análisis de laboratorio realizados en DICTUC.

Se revisaron todos los resultados químicos de las estaciones monitoreadas en el área de estudio, incluyendo cálculos para validar estos resultados. También se analizaron las concentraciones de los elementos mayores, menores y traza y se compararon con la Norma Chilena de Calidad de agua para diferentes usos (NCh. 1.333).

En base a los requerimientos e inquietudes de la autoridad expuestas en el Ordinario DGA Atacama N° 470/13 y 181/14, se definió como zonas críticas donde es necesario contar con una caracterización hidroquímica a los puntos definidos en el PMR. Se analizaron los datos para los

pozos escogidos cuya información en extenso se encuentra en el Anexo 1. Lo primero que se realizó fue validar la confiabilidad de la información que será utilizada. Para esto se realizó un análisis de valores atípicos o “outliers”, destinado a revisar la validez del uso de los parámetros que presentan discrepancias notables respecto de la masa total de datos. Para determinar los valores outliers se utilizó el método del Rango Intercuartil (RIC), que se describe en el informe que se incluye en el Anexo 2.

## 4.2 Infraestructura del PMR CALIDAD

El monitoreo se localiza en las áreas Quebradas Caserones, Quebrada La Brea y Zona Relleno Sanitario, formando un grupo organizado de puntos que cumplen objetivos y funciones que se explican a continuación:

- i) **Pozos de Observación Aguas Arriba de las instalaciones (PoOb):** Estos pozos se ubican aguas arriba de los depósitos de lixiviación, lastre, arenas, lamas y relleno sanitario, como asimismo en la cuenca del río Ramadillas aguas arriba de las quebradas Caserones, La Brea y del relleno sanitario. En estos pozos se medirá de forma continua pH, CE, T° y mensualmente el listado de parámetros de la norma NCh 1333 además de los parámetros in situ y nivel al momento de la toma de muestras.
- ii) **Pozos de Alerta Temprana (PoAT):** Corresponden a pozos ubicados inmediatamente aguas abajo de las instalaciones (depósitos de lixiviación, lastre, arenas, lamas y relleno sanitario) y que son controlados en base a una frecuencia continua en línea para las variables pH, T°, CE y TDS, y monitoreo mensual para el listado de parámetros establecidos en la NCh 1333, además de los parámetros in situ al momento de la toma de muestras. Son puntos indicadores para activar o desactivar los planes de Alerta Temprana y Remediación.
- iii) **Pozos de Remediación (PoRe):** Son 5 pozos en cada quebrada (La Brea y Caserones) que están habilitados para bombear y que serán activados según lo establecido en la Metodología de Cumplimiento asociada con el Plan de Remediación, para extraer las potenciales aguas subterráneas alteradas que no son captadas por cada zanja cortafuga. La frecuencia de medición de parámetros de calidad será quincenal cuando se encuentran activos. Cabe hacer presnete que el bombeo de estos pozos se realizará sólo cuando se haya activado el Plan de Remediación.

La caracterización hidrogeológica de la Quebrada La Brea y Quebrada Caserones se puede apreciar con detalle en los “*Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control Infiltraciones Depósitos de Lamas - Quebrada La Brea*” y “*Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control Infiltraciones Depósitos de Arenas - Quebrada Caserones*”, ambos elaborados por SRK y entregados a la Autoridad Ambiental en enero 2011.

- iv) **Pozos de Medición de la Eficiencia de Remediación (PoEf):** Estos pozos tienen el objetivo de monitorear la calidad y nivel del agua subterránea de las zonas aguas abajo de los Pozos

de Remediación en cada quebrada, de modo de verificar que la condición basal se mantiene aguas abajo de los depósitos de arenas y lamas y en la cuenca del río Ramadillas, aun con el plan de Remediación en funcionamiento. La frecuencia de medición de la calidad de las aguas será mensual para el listado de parámetros de la NCh 1333 en la condición de caso base y en caso de Alerta Temprana o Remediación la frecuencia será quincenal.

- v) **Pozos de Monitoreo Multinivel (PoMN).** Para contar con una mayor capacidad de análisis ante eventuales alteraciones en la química del agua subterránea y en lo referente a las rutas preferenciales del flujo para transporte de contaminantes se contempló la construcción de 6 pozos con monitoreo multinivel en los puntos en que se requiere un análisis más detallado que permita discriminar con mayor detalle el patrón de flujo subterráneo, lo cual permitirá mejorar la evaluación de la eficiencia de remediación. La frecuencia de muestreo en estos pozos será análoga a los PoAT.
- vi) **Muestreo de Aguas Superficiales.** Para complementar el conocimiento del comportamiento químico de las aguas se mantienen los muestreos de aguas superficiales que MLCC ha realizado desde la fase de exploración del proyecto para apoyar el análisis de eventuales eventos de alteraciones de la calidad de las aguas. Para las aguas superficiales se mantiene la frecuencia mensual de monitoreo de calidad.

La Tabla 1 resume las frecuencias de muestreo para cada uno de los tipos de pozo descritos. En Anexo 3 se presenta el detalle de los puntos de monitoreo que contempla el PMR con su frecuencia de monitoreo, localización y el grupo al que pertenecen.

**Tabla 1: Frecuencias de Medición Puntos de Monitoreo.**

Punto	pH / T° / CE / TDS	NCh 1333		Nivel	
		Caso Base	Alerta Temprana / Remediación	Caso Base	Alerta Temprana / Remediación
PoOb	Continuo en línea	Mensual	Quincenal	Mensual	Mensual
PoAT		Mensual	Quincenal	Mensual	Continuo
PoRe		-	Quincenal (en la sentina)	-	Continuo
PoEf		Mensual	Quincenal	Mensual	Continuo
PoMN		Mensual	Quincenal	Mensual	Continuo
Superficial	-	Mensual	Quincenal	-	-

### 4.3 Metodología del PMR

El PMR corresponde a una secuencia de acciones que se toman para controlar una situación anómala y evitar que se produzcan efectos negativos en el acuífero que subyace a las distintas obras del proyecto incluidos en este Plan. En general el PMR está configurado por un conjunto de puntos de control que permiten monitorear cambios y predecir los efectos no deseados en la calidad de las aguas antes de que ellos lleguen a los acuíferos que se quieren proteger. En nuestro caso

los puntos de control están conformados por un conjunto de Pozos de Alerta Temprana.

#### 4.3.1 Metodología PMR sectores Depósitos de Lamas y Arenas

Los criterios de activación para los sectores aguas abajo de los depósitos de lamas (Quebrada La Brea) y arenas (Quebrada Caserones), tanto de la condición de Alerta Temprana como del Plan de Remediación se efectúan considerando el conjunto de pozos, de modo que cualquiera de los Pozos de Alerta Temprana puede gatillar dicha activación. Las condiciones y acciones contempladas se describen a continuación:

- **Etapas CB Caso Base:** Situación en donde la concentración de cada parámetro de la norma NCh 1333 de calidad establecido se mantienen bajo el Umbral de Alerta Temprana (UAT) definido por cada punto de control. Esta situación cambia al Estado de Alerta (para la Quebrada Caserones y La Brea) si se producen las cualquiera de las siguientes situaciones:
- **Etapas AT Estado de Alerta:** Corresponde a la situación en que se produce al menos una de las situaciones siguientes. En este caso se comenzará una investigación para determinar el origen de esta anomalía.
  - pH sobrepasa el UAT
  - SDT sobrepasa el UAT
  - Conductividad eléctrica sobrepasa el UAT
  - Cu sobrepasa el UAT
  - Sulfato sobrepasa el UAT
  - Fe y SDT sobrepasan el UAT
  - 3 elementos de la norma NCh 1333 sobrepasan el UAT en los pozos de alerta temprana de una zona.

Se generará un Informe Extraordinario en un plazo no mayor a 30 días. Este informe contendrá un análisis de la evolución en las concentraciones de los parámetros con anomalías, incluyendo su evolución en otros puntos de interés (pozos aguas arriba y aguas abajo de los PoAT, pozos en Ramadillas, aguas arriba y aguas abajo de la confluencia, aguas superficiales en la confluencia y aguas arriba y abajo en el río Ramadillas), de modo de determinar si la anomalía es puntual o corresponde a un aumento generalizado en la zona, es un evento natural o es generada por la actividad minera. Describirá los trabajos de inspección de obras asociadas con el control de infiltraciones, entregando los detalle y el diagnostico de esta situación. Se incluirán también las medidas inmediatas a tomar por parte de la minera para manejar la contingencia puntual.

Paralelamente, se analizarán los procedimientos en la operación minera, de modo de ver si existe alguna fuente que explique el aumento en las concentraciones. Si se detecta que la

fuerza de origen proviene de la operación minera, se tomarán acciones correctivas/preventivas para reparar esta desviación y/o evitar que vuelva a ocurrir en el futuro. Específicamente se harán inspecciones visuales para ver la existencia de fugas y si existen sospechas se realizarán balances de agua en las distintas áreas del proceso, especialmente en las zonas de acumulación de agua.

- **Etapas REM Activación de Plan de Remediación:** corresponde a una situación en la que, se producen las cualquiera de las siguientes situaciones:
  - pH sobrepasa el URM
  - SDT sobrepasa el URM
  - Conductividad eléctrica sobrepasa el URM
  - Cu sobrepasa el URM
  - Sulfato sobrepasa el URM
  - Fe y SDT sobrepasan el URM
  - 3 elementos de la norma NCh 1333 sobrepasan el URM, en los pozos de alerta temprana de una zona.

El Plan de Remediación se activará poniendo en marcha los pozos de remediación (PoRe) ubicados aguas abajo de la zanja cortafuga asegurando la extracción del caudal pasante del acuífero.

La activación de los pozos de remediación tiene por objetivo extraer el agua subterránea alterada proveniente desde el caudal pasante y del almacenamiento del acuífero en cada quebrada, por lo que la configuración de pozos será la que permita cumplir con este propósito en el corto plazo extrayendo como máximo los caudales otorgados como derechos de aprovechamiento de aguas en cada pozo. Si bien, cada quebrada cuenta con 5 pozos de remediación, el último pozo ubicado más cercano a la confluencia entre las quebradas y el río Ramadillas, actúa sólo como respaldo a la red de remediación, en caso de detectarse que el evento de alteración de calidad del agua persiste en el pozo de Eficiencia de Remediación (PoEf) localizado aguas arriba de éstos. En los pozos de remediación se monitoreará el caudal bombeado y el pH, CE, STD y Temperatura en forma continua.

El agua extraída será impulsada a los puntos de descarga del sistema de drenaje de los depósitos de lamas y arenas, para luego ser transportados por un sistema de tuberías hasta llegar a la piscina de aguas recuperadas en el sector de la Planta de Procesos.

Durante la fase de remediación se contrastarán los resultados de los monitoreos con el modelo hidrogeológico desarrollado para el diseño del conjunto de pozos de remediación. Se contrastarán los valores de contaminantes con los medidos en los Pozos de Eficiencia de remediación (PoEf). Se desarrollará dicho contraste en el momento correspondiente a un evento de infiltración, el cual se realizará contra el punto de cumplimiento definido en el EIA. Para ello, se actualizará el modelo numérico con los datos de concentraciones disponibles en ese momento. Se simularán escenarios

de distribución de la pluma bajo condiciones de remediación, contrastando la distribución de concentraciones modeladas con las obtenidas en los pozos de remediación. La metodología considerará al menos los puntos siguientes:

1. Recalibrar el modelo numérico de flujo, con las condiciones actualizadas del sistema hidrogeológico (niveles de agua, representación de la zanja cortafugas, nuevos pozos, etc.) que permita reproducir los niveles y flujos del momento.
2. Incorporar las concentraciones medidas en los pozos aguas abajo de la zanja cortafugas en los distintos escenarios definidos de concentración unitaria y flujo.
3. Incorporar el bombeo desde los pozos de remediación.
4. Predecir las distribuciones de concentraciones de la pluma para distintos escenarios, en los distintos puntos de control.

Una vez recuperada la condición química basal se da término al Plan de Remediación cambiando a Condición Base.

Mientras permanezca activado el Plan de Remediación, se preparará un informe ejecutivo para remitir a la Autoridad Ambiental, donde se informará sobre el estado de propagación de la pluma contaminante, la eficiencia del Plan y las proyecciones estimadas de continuar con el Plan de Remediación o pasar a la Condición de Alerta o Condición Base.



#### **4.3.2 Metodología PMR sector Depósito de Lixiviación**

Los criterios de activación de la Condición de Alerta Temprana en el pozo LXM-02, para el sector del Depósito de Lixiviación son:

- Aumentos consecutivos de a lo menos 3 meses en un parámetro y que represente un aumento del 30% para dicho periodo.
- Aumento en dos muestras consecutivas en un parámetro y que represente un aumento de a lo menos un 50% en dicho periodo.
- En el caso del pH, se aplica el mismo criterio sobre la variación de su valor en el respectivo periodo.

En el caso de la activación de la etapa de Alerta Temprana se deberá iniciar un proceso de investigación de las posibles causas del aumento de valor en los parámetros medidos y si es que corresponde planear reparaciones de los sistemas para evitar la permanencia de la afectación y volver a la situación original. Esta condición de Alerta obliga a un Informe Extraordinario. En este sector no se contempla Remediación ya que ante una infiltración desde este depósito la remediación se efectúa aguas abajo en el sistema dispuesto para el depósito de arenas.

#### **4.3.3 Metodología PMR sector Depósito de Lastre**

Aguas abajo del Depósito de Lastre se definió un pozo de alerta temprana (PZL-1, ver Figura 5). En este pozo se medirá el pH. Si el pH es menor al mínimo establecido en la NCh 1333 de 5,5 se procederá a activar la Remediación.

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

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

#### **4.3.4 Metodología PMR sector Relleno Sanitario**

Para el Relleno Sanitario, la Alerta Temprana se activará si cualquiera de los siguientes parámetros (especificados en el Artículo 47 del Decreto Supremo 189 del Ministerio de Salud, publicado el 5 de enero de 2008) supera el UAT definidos para el pozo PMRS-02.

- Conductividad eléctrica
- Cloruros
- Turbidez
- Sólidos suspendidos totales
- Fe y SDT
- Mg
- Nitrógeno amoniacal
- Sulfato
- Alcalinidad total
- Sodio

Por otro lado, la Alerta Temprana también se activará si en el pozo PMRS-01 (históricamente seco) se detecta la presencia de agua y su análisis indica que cualquiera de los parámetros (especificados en el Artículo 47 del Decreto Supremo 189 del Ministerio de Salud, publicado el 5 de enero de 2008) supera el UAT definidos para el pozo PMRS-02.

Asimismo, se contempla realizar análisis bacteriológicos a estos puntos de monitoreo, los que también gatillarán planes de remediación se encontrasen desviados con respecto a la norma NCH. 1333 para coliformes fecales.

Si se activa la Condición de Alerta, se deberá investigar la causal de dicha condición e informar en forma mensual, mientras persista dicha condición a la autoridad pertinente sobre los estudios y medidas realizadas, así como de la variación en el tiempo de los parámetros que sobrepasan el UAT. Las mediciones de parámetros in situ será diaria y los análisis de laboratorio serán de frecuencia quincenal o mensual de acuerdo a la velocidad a que se producen los cambios de concentración. La condición de Alerta obliga a la elaboración del Informe Extraordinario.

El Plan de Remediación se activara en el caso que los parámetros indicados superen el URM.

La medida de remediación consiste en realizar una investigación que permita determinar las posibles causas que provocan las alteraciones en la calidad de aguas subterráneas. Cabe hacer presente que los sistemas de captación y manejo de percolados incorporados en el diseño del Relleno Sanitario permiten un adecuado control de las infiltraciones, por lo que las medidas asociadas a un evento de superación de los Umbrales estarán enfocadas fundamentalmente a mejoras operacionales.

El plan de remediación concluirá cuando los parámetros alterados bajen sus concentraciones por debajo de los umbrales máximos.

## 5 PMR CALIDAD PARA QUEBRADA CASERONES

En esta quebrada se encuentra las siguientes instalaciones: Mina (rajo), Planta de Procesos, Depósito de Lixiviación y el Depósito de Arenas.

### 5.1 Monitoreo del Depósito de Lixiviación

El Depósito de Lixiviación cuenta con obras de desvío de aguas diseñado para la Crecida Máxima Probable de Deshielo.

Bajo el Depósito de Lixiviación se ubica un sistema de impermeabilización compuesto de una lámina de LLDPE de 2 mm de espesor y por materiales de transición de manera de protegerla de los materiales presentes en la pila. Bajo esta lámina de impermeabilización se encuentra el sistema de drenaje de aguas naturales (subdrenes) que, por medio de zanjas excavadas en las partes bajas de las quebradas presentes y rellenas con materiales granulares y tuberías de drenaje, se encarga de tomar el agua subsuperficial que circule por el sector.

Este sistema de sub-drenes descarga el agua en el Drop Box 0 donde se monitorea de forma continua el pH del agua proveniente de los subdrenes previo a su envío a la Planta de Proceso. Aguas arriba y aguas abajo del Depósito de Lixiviación existen dos pozos de monitoreo de aguas, el LXM-01 se ubica aguas arriba y a la fecha se encuentra seco, en tanto que el de abajo LXM-02, posee un sistema de monitoreo en línea de pH, CE, TDS y T°.

El resumen de los puntos de monitoreo se presenta en la Tabla 2 y su ubicación se ilustra en la Figura 2.

**Tabla 2: Monitoreo Depósito de Lixiviación.**

Punto Monitoreo		Objetivo de la Medición	Coordenadas UTM (PSAD 56)	
Código Original	Código Actual		Norte	Este
LXM-01 (1)	PoOb LXM-01	Observación Aguas arriba Dep. Lixiviación	6.885.611	448.762
LXM-02 (1)	PoOb LXM-02	Observación Aguas abajo Dep. Lixiviación	6.883.044	447.961
	Drop Box 0	Monitoreo Agua Subdrenes	6.883.317	448.190

(1) EIA Adenda 3 Anexo 28 Plan de Monitoreo Asociado al Recurso Hídrico, Rev 0 Octubre 2009, Figura 2.1: Puntos de monitoreo en Línea.



Figura 2: Puntos de Monitoreo Depósito de Lixiviación.



## 5.2 Monitoreo Depósito de Arenas

En el sector del depósito de arenas se contempla la infraestructura de monitoreo, alerta temprana, y remediación presentada en la Tabla 2:

**Tabla 3: Pozos Sector Depósito de Arenas.**

Punto Monitoreo		Objetivo de la Medición	Coordenadas UTM (PSAD 56)	
Código Original	Código Actual		Norte	Este
DAM-1 (1)	PoOb DAM-1	Observación Aguas arriba Dep. Arenas	6.882.326	447.463
DA-02 (2)	PoOb DA-02	Observación Aguas arriba Qda. Caserones en Cuenca río Ramadillas	6.880.598	444.504
DAM2 (1)	PBC-08 (2)	PoAT PBC-08	6.889.872	444.341
	CRW-01 (4)	PoAT CRW-01	6.880.840	444.290
Multinivel	PoMN A-1	Análisis desviaciones	6.880.849	444.318
CRW-02 (4)	PoRe CRW-02	Remediación	6.880.860	444.330
PBC-02 (2)	PoRe PBC-02	Remediación	6.880.782	444.302
PBC-06 (2)	PoRe PBC-06	Remediación	6.880.734	443.987
PBC-07 (2)	PoEf PBC-07	Eficiencia Remediación	6.880.723	444.279
Multinivel	PoMN A-2	Análisis Eficiencia Remediación	6.880.714	444.237
POC-06B (2)	PoEf PBC-06B	Eficiencia Remediación	6.880.775	443.920
P3-TR (3)	PoEf P3-TR	Análisis Eficiencia Remediación Dep. Arenas en Cuenca río Ramadillas	6.886.638	437.579

(1) EIA Adenda 3 Anexo 28 Plan de Monitoreo Asociado al Recurso Hídrico, Rev 0 Octubre 2009, Figura 2.1: Puntos de monitoreo en Línea.

(2) Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control Infiltraciones Depósitos de Arenas Quebrada Caserones, SRK Enero 2011

(3) Compromisos , Acciones y Aclaraciones Complementarias EIA Proyecto Caserones, Anexo carta MLCC 01/2010 a COREMA III Región

(4) Solicitud Cambio punto de captación desde pozo WE-01 (05/07/2011)

Los pozos definidos como de Alerta Temprana, corresponden al PBC-08 y CRW-01, cuentan con mediciones desde marzo 2011 a mayo 2013 y enero 2012 a mayo 2013, respectivamente.

Los UAT y URM de los pozos asociados a la Quebrada Caserones, se presentan respectivamente en la Tabla 4 y

Tabla 5.

**Tabla 4: Umbrales de Alerta Temprana en Quebrada Caserones.**

Elemento	Unidad	CRW-01	PBC-08
aluminio	mg/l	0,41	3,98
arsénico	mg/l	NA	NA
bario	mg/l	NA	NA
berilio	mg/l	NA	NA
boro	mg/l	NA	NA
cadmio	mg/l	0,0016	NA
cianuro	mg/l	NA	NA
cloruro	mg/l	32,32	10,92
cobalto	mg/l	NA	0,09
cobre	mg/l	0,31	12,19
cromo	mg/l	0,03	0,09
fluoruro	mg/l	0,67	2,82
hierro	mg/l	18,79	59,32
litio	mg/l	NA	0,09
manganeso	mg/l	1,59	3,78
mercurio	mg/l	NA	NA
molibdeno	mg/l	NA	NA
níquel	mg/l	NA	0,11
plata	mg/l	NA	NA
plomo	mg/l	NA	NA
selenio	mg/l	NA	NA
sodio porcentual	%	15,47	15,71
sulfato	mg/l	435,41	895,98
vanadio	mg/l	NA	0,03
zinc	mg/l	0,48	1,97
pH		6.10 - 7.60	6.00 - 7.00
Alcalinidad Total	mg/l	16,66	NA
CE	umho/cm	963	1749
SDT	mg/l	731	1317

*NA: Corresponde al límite de detección por lo tanto aplica directamente la Fase de Remediación*

De acuerdo a lo explicado en la metodología, los Umbrales de Referencia Máximos (URM) calculados para cada uno de los pozos de la zona de la Quebrada Caserones se presentan a continuación.

**Tabla 5: Umbrales de Referencia Máxima en Quebrada Caserones.**

Elemento	Unidad	CRW-01	PBC-08
aluminio	mg/l	0,48	4,3
arsénico	mg/l	0.006*	0,006*
bario	mg/l	0,03	0,01*
berilio	mg/l	0,01*	0,01*
boro	mg/l	0,02	0,02*
cadmio	mg/l	0,002	0,043
cianuro	mg/l	0,05*	0,05*
cloruro	mg/l	35,07	11,98
cobalto	mg/l	0,01*	0,1
cobre	mg/l	0,36	14
cromo	mg/l	0,04	0,1
fluoruro	mg/l	0,75	3,19
hierro	mg/l	20,55	61,8
litio	mg/l	0,02	0,1
manganeso	mg/l	1,78	3,88
mercurio	mg/l	0,001*	0,001*
molibdeno	mg/l	0,01*	0,01*
níquel	mg/l	0,01*	0,12
plata	mg/l	0,01*	0,01*
plomo	mg/l	0,003*	0,003*
selenio	mg/l	0,004*	0,004*
sodio porcentual	%	16,16	16,36
sulfato	mg/l	449,38	938,83
vanadio	mg/l	0,02	0,04
zinc	mg/l	0,58	2,16
pH		5,60 - 8,01	5,70 - 7,30
Alcalinidad Total	mg/l	18,96	0,02*
CE	umho/cm	993	1806
SDT	mg/l	757	1355

*\*Corresponde al límite de detección*

La activación de la Remediación se manifiesta con la extracción de las aguas subterráneas desde los pozos de alerta temprana PBC-08, CRW-01 PBC-02; CRW-02 y PBC-06 de acuerdo a lo indicado en la anterior.

Para poder bombear los pozos de remediación se cuenta con los Derechos de Aprovechamiento de Agua de acuerdo a lo indicado en la Tabla 4 a continuación.



**Tabla 6: Derechos de Aprovechamiento de Aguas para Pozos de Remediación en Quebrada Caserones.**

Pozo	Caudal (l/s)
CRW-1	0,3
CRW-2	0,5
PBC-6	3,5
PBC-8	0,7
PBC-2	1,0

En la Figura 2 se observa la localización de los pozos considerados en la Quebrada Caserones.

En el sector de confluencia de la Quebrada Caserones con el Río Ramadillas, la calidad del agua superficial será controlada en la Quebrada Caserones y en el Río Ramadillas. Los puntos de control de agua superficial que son valores de referencia para el análisis de la posible afectación de la calidad química del agua en el Sector Caserones son: LM-21, LM-23, y LM-25. Sus ubicaciones se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 7: Puntos de Monitoreo de Agua Superficial Sector Caserones.**

Punto de Monitoreo	Representatividad	Coordenadas UTM		Inicio de Monitoreo
		Norte	Este	
LM-21	Quebrada Caserones antes confluencia río Ramadillas	6.880.665	444.189	feb-09
LM-23	Río Ramadillas, antes confluencia Quebrada Caserones	6.880.585	444.421	feb-09
LM-25	Río Ramadillas, después confluencia Quebrada Caserones	6.880.240	443.877	sep-10

NOTA: Coordenadas referidas a Datum PSAD-56.

El punto de monitoreo LM-23 (monitoreado desde noviembre de 2009) está localizado en el río Ramadillas, aguas arriba de la confluencia con la Quebrada Caserones. En este sentido, sería representativo de la calidad de las aguas del río no afectada por las contribuciones de las aguas de la quebrada, por lo que puede ser utilizado como punto de referencia, o línea de base, de la calidad química de las aguas del río Ramadillas. El punto de monitoreo LM-25 (monitoreado desde septiembre de 2010) está también localizado en el río Ramadillas, aguas abajo de la confluencia con la Quebrada Caserones. En este sentido, su registro químico sería representativo de la mezcla entre aguas del Río Ramadillas y el aporte de la Quebrada Caserones.





Figura 3: Ubicación Puntos de Monitoreo del Depósito de Arenas.



## 6 PMR CALIDAD PARA QUEBRADA LA BREA

La Quebrada La Brea es afluente al Río Ramadillas y se localiza aguas abajo de la confluencia de la Quebrada Caserones con el Río Ramadillas. En esta quebrada se encuentran el Depósito de Lastre y el Depósito de Lamas.

### 6.1 Monitoreo Depósito de Lastre

El Depósito de Lastre se ubica al pie de la mina en la zona alta de la Quebrada La Brea.

Aguas abajo del Depósito de Lastre se definió un pozo de alerta temprana (PZL-1). En este pozo se medirá el pH.

La Tabla 8 presenta los objetivos de los puntos de monitoreo y la Figura 2 su ubicación.

**Tabla 8: Monitoreo Depósito de Lastre.**

Punto Monitoreo		Objetivo de la Medición	Coordenadas UTM (PSAD 56)	
Código Original	Código Actual		Norte	Este
PZL-1	PoAT PZL-1	Alerta Temprana Drenaje Acido Depósito de Lastre	6.886.130	443.758
Multinivel	Po MNL-3	Análisis desviaciones Aguas abajo Sistema Tratamiento Pasivo (cercano a IP-A1)	6.887.534	440.654





Figura 4: Ubicación Puntos de Control Aguas abajo del Depósito de Lastre.



## 6.2 Monitoreo Depósito de Lamas

En el sector del Depósito de Lamas se contempla la infraestructura de monitoreo, Alerta Temprana, y Remediación que se presenta en la Tabla 8:

**Tabla 9: Monitoreo Depósito de Lamas.**

Punto Monitoreo			Objetivo de la Medición	Coordenadas UTM (PSAD 56)	
Código Original		Código Actual		Norte	Este
WE-RM-3 (3)	WE-01 (6)	PoOb WE-01	Observación Aguas arriba Qda. La Brea en Cuenca río Ramadillas	6.887.032	437.238
TRM-1 (1)	PMB-1	PoMN B-4	Observación línea base Multinivel	6.888.973	441.713
TRM-2 (1)	BRW-01 (4)	PoAT BRW-01	Alerta Temprana y Remediación	6.887.580	437.070
	BRW-02 (4)	PoAT BRW-02	Alerta Temprana y Remediación	6.887.550	437.110
Multinivel		PoMN B-5	Análisis desviaciones	6.887.556	437.120
PBB-01 (5)		PoRe PBB-01	Remediación	6.887.579	437.021
POB-08B (5)		PoRe POB-08B	Remediación	6.887.522	437.035
POB-07A (5)		PoRe POB-07A	Remediación	6.887.419	436.967
PBB-07 (5)		PoEf PBB-07	Eficiencia Remediación	6.887.451	436.938
POB-06B (5)		PoEf POB-06B	Eficiencia Remediación	6.887.479	436.550
Multinivel		PoMN B-6	Análisis Eficiencia Remediación	6.887.419	436.918
WE-RM-2 (3)	WE-02 (6)	PoEf WE-02	Análisis Eficiencia Remediación Dep. Lamas en Cuenca río Ramadillas aguas abajo Qda. La Brea y aguas arriba Relleno Sanitario	6.889.545	433.216

(1) EIA Adenda 3 Anexo 28 Plan de Monitoreo Asociado al Recurso Hídrico, Rev 0 Octubre 2009, Figura 2.1: Puntos de monitoreo en Línea.

(2) Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control Infiltraciones Depósitos de Arenas Quebrada Caserones, SRK Enero 2011

(3) Compromisos, Acciones y Aclaraciones Complementarias EIA Proyecto Caserones, Anexo carta MLCC 01/2010 a COREMA III Región

(4) Solicitud Cambio punto de captación desde pozo WE-01 (05/07/2011)

(5) Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control Infiltraciones Depósitos de Lamas Quebrada La Brea, SRK Enero 2011

(6) ANEXO VI-4 EIA MODELO HIDROGEOLOGICO, SITAC Octubre 2008

Los pozos BRW-01, BRW-02, PBB-01, POB-08B Y POB-07A corresponden a los pozos acondicionados para bombeo de remediación y los pozos PBB-07, POB-06B Y WE-01, están diseñados para verificar la efectividad de las medidas de remediación. De estos pozos, los que cuentan con información de calidad son BRW-01, BRW-02, POB-06B y WE-01, entre los cuales BRW-01 y BRW-02 además cuentan con aportes de información de mediciones desde enero 2012 a mayo 2013.

En la Figura 2 se observa la localización del conjunto de pozos asociados a la Quebrada La Brea.

Los UAT y URM de los pozos asociados a la Quebrada La Brea, se presentan en la Tabla 8 y Tabla 8.

**Tabla 10: Umbrales de Alerta Temprana en Quebrada La Brea.**

Elemento	Unidad	BRW-01	BRW-02
aluminio	mg/l	0,17	0,43
arsénico	mg/l	NA	NA
bario	mg/l	0,04	0,04
berilio	mg/l	NA	NA
boro	mg/l	0,11	0,08
cadmio	mg/l	0,0016	0,0016
cianuro	mg/l	NA	NA
cloruro	mg/l	35,67	31,42
cobalto	mg/l	NA	NA
cobre	mg/l	0,05	0,032
cromo	mg/l	0,03	0,04
fluoruro	mg/l	0,73	0,89
hierro	mg/l	17,03	30,95
litio	mg/l	0,06	NA
manganeso	mg/l	0,73	0,37
mercurio	mg/l	NA	NA
molibdeno	mg/l	NA	NA
níquel	mg/l	NA	NA
plata	mg/l	NA	NA
plomo	mg/l	NA	NA
selenio	mg/l	NA	NA
sodio porcentual	%	28,90	22,81
sulfato	mg/l	396,86	432,78
vanadio	mg/l	NA	NA
zinc	mg/l	0,24	2,96
pH		7.40 - 8.01	7.30 - 7.82
alcalinidad total	mg/l	145,83	174,46
CE	umho/cm	919	943
SDT	mg/l	806	818

*NA: Corresponde al límite de detección por lo tanto aplica directamente la Fase de Remediación*





Figura 5: Ubicación Puntos de Control Depósito de Lamas en Quebrada La Brea.

**Tabla 11: Umbrales de Referencia Máxima en Quebrada La Brea.**

Elemento	Unidad	BRW-01	BRW-02
aluminio	mg/l	0,20	0,49
arsénico	mg/l	0,006*	0,01
bario	mg/l	0,05	0,05
berilio	mg/l	0,01*	0,01*
boro	mg/l	0,12	0,10
cadmio	mg/l	0,002	0,002
cianuro	mg/l	0,05*	0,05*
cloruro	mg/l	38,74	33,93
cobalto	mg/l	0,01*	0,01*
cobre	mg/l	0,06	0,03
cromo	mg/l	0,04	0,05
fluoruro	mg/l	0,81	0,98
hierro	mg/l	18,97	34,58
litio	mg/l	0,07	0,04
manganeso	mg/l	0,82	0,40
mercurio	mg/l	0,001*	0,001*
molibdeno	mg/l	0,01*	0,01*
níquel	mg/l	0,01*	0,01*
plata	mg/l	0,01*	0,01*
plomo	mg/l	0,003*	0,003*
selenio	mg/l	0,004*	0,004*
sodio porcentual	%	30,15	23,88
sulfato	mg/l	412,21	450,11
vanadio	mg/l	0,04	0,04
zinc	mg/l	0,28	3,42
pH		7,20 - 8,21	7,20 - 8,00
alcalinidad total	mg/l	162,78	179,68
CE	umho/cm	948	952
SDT	mg/l	850	838

*\*Corresponde al límite de detección*

La activación del Plan de Remediación se lleva a cabo con el bombeo de las aguas subterráneas desde los pozos BRW-01, BRW-02, PBB-01, POB-08B y POB-07A en los que se cuenta con los Derechos de Aprovechamiento de Aguas de acuerdo a la Tabla 8.



**Tabla 12: Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Pozos de Remediación en Quebrada La Brea.**

Pozo	Caudal (l/s)
BRW-1	6
BRW-2	1
PBB-1	6
POB-08 B	2
POB-07 A	13

En este sector se contempla el muestreo de aguas superficiales en los interceptores (6) ubicados en las quebradas afluentes al depósito de lamas y en las descargas del sistema de desvío de aguas (2). Asimismo, en el río Ramadillas, en los puntos aguas arriba y aguas abajo de la confluencia con la Quebrada La Brea, LM-10 y LM-27 (ver Figura 5). Sus ubicaciones se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 13: Puntos de Monitoreo de Agua Superficial Sector La Brea.**

Punto de Monitoreo	Representatividad	Coordenadas UTM (*)	
		Norte	Este
IP-B	Quebrada B	6.890.553	440.119
IP-D1	Quebrada D1	6.889.813	439.485
IP-D2	Quebrada D2	6.890.069	438.412
Descarga Norte	Descarga desde quebradas B, D1 y D2	6.889.224	437.836
IP-C	Quebrada C	6.888.646	441.382
IP-A1	Quebrada A1	6.887.175	440.443
IP-A2	Quebrada A2	6.886.339	439.545
Descarga Sur	Descarga desde quebradas C, A1 y A2	6.885.849	438.828
LM-10	Río Ramadillas, antes confluencia Quebrada La Brea	6.886.630**	437.059**
LM-27	Río Ramadillas, después confluencia Quebrada La Brea	6.887.160**	435.876**

NOTA: (\*) Coordenadas referidas al Datum WGS84; (\*\*) Coordenadas referidas a Datum PSAD-56.

El punto LM-27 (monitoreado desde mayo de 2010) está ubicado en el valle del río Ramadillas, aguas abajo de la zona de la confluencia con la Quebrada La Brea. El punto LM-10 (monitoreado desde octubre de 2004) se encuentra aguas arriba de la confluencia del valle del río Ramadillas con la Quebrada La Brea y, por tanto, no estaría influenciado por la operación del depósito de lastre ni por la red de drenaje de la quebrada.

## **7 PMR CALIDAD PARA RELLENO SANITARIO**

Respecto al Relleno Sanitario, éste se ubica fuera del cauce del río Ramadillas, sobre depósitos asociados a un antiguo fenómeno de remoción en masa que debido a sus características litológicas no se considera de riesgo para la contaminación de las aguas subterráneas locales, ya que se ubica en una zona de material impermeable de al menos 50 metros por sobre el nivel del acuífero del sector. Las características de estos depósitos, con una matriz arcillosa muy desarrollados, hacen de ellos una unidad prácticamente impermeable.

Para controlar posibles infiltraciones desde el relleno sanitario existe una membrana de HDPE en la base del mismo la que cuenta con un sistema de drenes que permite la evacuación de las aguas percoladas, hacia un estanque desde donde se retiran periódicamente para llevarlos a la empresa sanitaria regional.

Los puntos de agua subterránea que se han seleccionado para monitorear la posible afectación de la calidad química del agua en el sector del relleno sanitario son: WE-02, PMRS-1, WE-09, PMRS-2 y WE-03.

El punto WE-02 (monitoreado desde julio 2009) está ubicado en el valle del río Ramadillas, aguas abajo del Sector La Brea, y aguas arriba de la ubicación del relleno sanitario. Este pozo es representativo de la calidad de las aguas subterráneas no afectadas por las actividades del depósito del relleno sanitario. En el sector del depósito del relleno sanitario se encuentran el pozo PMRS-1 (aguas arriba del relleno sanitario que se encuentra seco) y PMRS-2 (monitoreado desde mayo de 2010). En el aluvial del río Ramadillas se encuentra el pozo WE-09 (monitoreado desde mayo de 2010). Estos dos últimos representarían la influencia directa de las posibles infiltraciones en la zona del depósito del relleno sanitario.

El punto WE-03 (monitoreado desde mayo de 2007) se encuentra en las proximidades de la salida hidrológica del acuífero del río Ramadillas, y su confluencia con el río Vizcachas, por lo que se considera representativo de las afectaciones de la operación global de las operaciones de MLCC sobre las aguas subterráneas.

La ubicación de estos pozos se ilustra en la Figura 2 y los objetivos y de cada uno se listan en la Tabla 8.





Figura 6: Puntos de Monitoreo de Agua Subterránea Relleno Sanitario.

**Tabla 14: Puntos de Monitoreo de Agua Subterránea Relleno Sanitario.**

Punto Monitoreo			Objetivo de la Medición	Coordenadas UTM (PSAD 56)	
Código Original		Código Actual		Norte	Este
WE-RM-2 (3)	WE-02 (6)	PoOb WE-02	Observación Aguas arriba Relleno Sanitario en Cuenca río Ramadillas	6.889.545	433.216
PMRS-1 (3)		PoAT PMRS-1	Alerta Temprana Relleno Sanitario	6.890.685	431.608
PMRS-2 (3)		PoAT PMRS-2	Alerta Temprana Relleno Sanitario	6.890.542	431.762
WE-09 (3)		PoEf WE-09	Eficiencia Remediación Relleno Sanitario en Cuenca río Ramadillas	6.890.592	431.446
WE-RM-1 (3)	WE-03 (6)	PoEf WE-03	Análisis Eficiencia Remediación Global en Cuenca río Ramadillas antes de confluencia con Río Vizcachas	6.890.768	427.430

(1) EIA Adenda 3 Anexo 28 Plan de Monitoreo Asociado al Recurso Hídrico, Rev 0 Octubre 2009, Figura 2.1: Puntos de monitoreo en Línea.

(2) Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control Infiltraciones Depósitos de Arenas Quebrada Caserones, SRK Enero 2011

(3) Compromisos, Acciones y Aclaraciones Complementarias EIA Proyecto Caserones, Anexo carta MLCC 01/2010 a COREMA III Región

(4) Solicitud Cambio punto de captación desde pozo WE-01 (05/07/2011)

(5) Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control Infiltraciones Depósitos de Lamas Quebrada La Brea, SRK Enero 2011

(6) ANEXO VI-4 EIA MODELO HIDROGEOLOGICO, SITAC Octubre 2008

El valor de los umbrales se presenta en la Tabla 8 a continuación.



**Tabla 15: UAT y URM sector Relleno Sanitario.**

Elemento	Unidad	UAT	URM
aluminio	mg/l	3,20	3,60
arsénico	mg/l	NA	0,006*
bario	mg/l	NA	0,01*
berilio	mg/l	NA	0,01*
boro	mg/l	0,14	0,16
cadmio	mg/l	0,0016	0,002
cianuro	mg/l	NA	0,05*
cloruro	mg/l	33,28	36,08
cobalto	mg/l	NA	0,01*
cobre	mg/l	0,03	0,04
cromo	mg/l	NA	0,01*
fluoruro	mg/l	0,86	0,94
hierro	mg/l	9,33	10,52
litio	mg/l	NA	0,03
manganeso	mg/l	0,24	0,27
mercurio	mg/l	NA	0,001*
molibdeno	mg/l	NA	0,01*
níquel	mg/l	NA	0,01*
plata	mg/l	NA	0,01*
plomo	mg/l	NA	0,003*
selenio	mg/l	NA	0,004*
sodio porcentual	%	38,40	39,71
sulfato	mg/l	228,26	242,08
vanadio	mg/l	0,04	0,05
zinc	mg/l	0,18	0,21
pH		7.70 - 8.20	7.60 - 8.33
alcalinidad total	mg/l	137,26	142,02
CE	umho/cm	651	681
SDT	mg/l	529	552

NA: Corresponde al límite de detección por lo tanto aplica directamente la Fase de Remediación

\*Corresponde al límite de detección

Los puntos de agua superficial que permiten detectar la posible afectación de la calidad química del agua en el sector del relleno sanitario son: LM-27, LM-28, y LM-05. Sus ubicaciones se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 16: Puntos de Monitoreo de Agua Superficial Sector Relleno Sanitario.**

Punto de Monitoreo	Representatividad	Coordenadas UTM		Inicio de Monitoreo
		Norte	Este	
LM-27	Río Ramadillas, aguas abajo de la confluencia con Qda. La Brea, aguas arriba del R. Sanitario	6.887.160	435.876	may-10
LM-28	Río Ramadillas, aguas abajo del Relleno Sanitario	6.890.760	430.553	sep-10
LM-05	Río Ramadillas aguas arriba de la confluencia con Río Vizcachas, aguas abajo de las operaciones	6.890.270	426.644	oct-04

*NOTA: Coordenadas referidas a Datum PSAD-56.*

El punto LM-27 (monitoreado desde abril de 2010) está ubicado en el valle del río Ramadillas, aguas arriba de la ubicación del relleno sanitario. El punto LM-28 (monitoreado desde octubre de 2010), se encuentra en las proximidades de la salida hidrológica de la sub-cuenca donde se encuentra localizado el relleno sanitario. El punto LM-05 (monitoreado desde octubre de 2004), se encuentra también en el río Ramadillas, aguas abajo de la zona del relleno sanitario, y en las proximidades de la confluencia entre el Ramadillas y el río Vizcachas. En este sentido, la química en el punto LM-27 representa el estado previo a la posible afectación por efluentes derivados del relleno sanitario, mientras que la calidad en el punto LM-05 reflejaría el resultado del impacto que las operaciones mineras de MLCC ejercerían sobre el río Ramadillas.

## 8 METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANALISIS

### 8.1 Muestreo

El muestreo se realizará durante las 2 primeras semanas de cada mes.

La toma de muestra la realiza un Técnico de terreno, procedimiento en el cual utiliza recipientes de capacidad adecuada, según los requerimientos del laboratorio, de PVC, no tóxicos, de boca ancha, con tapa protectora y cierre hermético para evitar derrames durante su traslado.

Con el objeto de prevenir las alteraciones que pudieran tener las muestras durante el tiempo de transporte hasta el laboratorio, éstas son filtradas y preservadas, en el mismo momento de tomar la muestra. La preservación se hace con Hidróxido de Sodio (NaOH), Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>) y Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), según sea los tipos de elementos o parámetros a medir. También se toma una muestra en su estado natural (sin filtrar ni preservar) para los análisis que requieran de esta condición.

Los procedimientos utilizados para la extracción, identificación y transporte de las muestras, son los definidos en la norma N.Ch 411/6. Of. 98, “Calidad del Agua - Muestreo – Parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua”.

## **8.2 Mediciones Directas en Terreno**

Para una adecuada evaluación de los resultados de los análisis de calidad de las aguas, este programa considera una serie de mediciones de caracterización físicas del agua, realizadas directamente en terreno al momento de tomar las muestras de aguas.

Los parámetros medidos en terreno son los siguientes:

- pH
- Temperatura
- Conductividad
- SDT
- Apariencia o Aspecto

## **8.3 Análisis Fisicoquímicos de Laboratorio**

Para la realización de los análisis se utilizará un laboratorio certificado, actualmente corresponde al DICTUC, con reconocida capacidad técnica, protocolos de análisis y buenos niveles de detección.

El laboratorio DICTUC se encuentra certificado por NCh-ISO 17025 para el análisis físico-químico y microbiológico de aguas según convenio INN-SISS.

El programa de entrega se coordina con el laboratorio con el fin de optimizar los tiempos, desde la recolección de las muestras hasta su llegada a las instalaciones del Laboratorio.

Finalmente, es necesario mencionar que los análisis que se realizan en base a la NCh 1.333/78 “Requisitos para Calidad del Agua para Diferentes Usos”, para los parámetros de la Tabla 8.

**Tabla 17: Parámetros Analizados.**

Parámetros Terreno	Químicos		
Temperatura	Aluminio	Conductividad Específica (CE)	pH Laboratorio
pH	Arsénico	Cromo Total	Plata
Conductividad	Bario	Flúor	Plomo
Apariencia	Berilio	Hierro total	Selenio
Temperatura	Boro	Litio	Sólidos Disueltos Totales (TDS)
	Cadmio	Litio (Cítricos)	Sulfatos
	Cianuro	Manganeso	Vanadio
	Cloruros	Mercurio	Zinc
	Cobalto	Molibdeno	Plomo
	Cobre	Níquel	Selenio

#### 8.4 Análisis Bacteriológicos

La toma de muestra se hace con un frasco de vidrio esterilizado, proporcionado por el laboratorio acreditado. El traslado de esta muestra se hace en medio refrigerado y la entrega al Laboratorio se realiza en un tiempo inferior a las 20 horas siguientes desde el momento de la toma. Se medirán coliformes fecales.

#### 8.5 Caracterización de Relaves

En forma paralela a los monitoreos de aguas, también se realizará bimestralmente un muestreo y análisis de sólidos y aguas de lamas y arenas durante la vida útil del proyecto, para contar con la caracterización química de los relaves y disponer de antecedentes empíricos suficientes para correlacionar eventuales fuentes de perturbación con los registros de los pozos asociados a éstos depósitos.

### 9 REPORTABILIDAD

La información será reportada con la siguiente frecuencia a la Superintendencia de Medio Ambiente, de acuerdo a la frecuencia presentada en la Tabla 8:



**Tabla 18: Reportabilidad Plan de Monitoreo Calidad.**

Estado	Parámetro	Frecuencia
Caso Base	Nivel	Semestral
	pH / T° / CE / TDS	En línea
	Listado de parámetros NCh 1.333 y caracterización bacteriológica	Semestral
	Caracterización de Relaves	Semestral
Alerta Temprana	Nivel	Mensual
	pH / T° / CE / TDS	En línea
	Listado de parámetros NCh 1.333 y caracterización bacteriológica	Mensual
	Caracterización de Relaves	bimestral
	Informe asociado a las investigaciones para determinar el origen de la anomalía	30 días después de detectada
Remediación	Nivel y volumen Remediación	Mensual
	pH / T° / CE / TDS / Caudal Remediación	En línea
	Listado de parámetros NCh 1.333	Mensual
	Caracterización de Relaves	bimestral

Durante la fase de operación, los informes de muestreo, despacho a laboratorio y resultados de análisis, así como el monitoreo en línea de pH, temperatura, conductividad y sólidos disueltos, serán incorporadas a una página web.

La autoridad tendrá acceso vía web a toda esta información y cuando el sistema se encuentre operativo se hará llegar a la autoridad un manual de uso del sistema de modo que pueda acceder a la información levantada referente a la calidad y nivel en los puntos monitoreados.

## Anexos

# Anexo 1

## Análisis de Datos para la Determinación de Umbrales

## **1. Introducción y Objetivo**

### **1.1 Introducción**

Minera Lumina Copper Chile (MLCC) ha solicitado a SRK Consulting (Chile) S.A. la actualización de la Línea de Base de calidad de aguas en lo que respecta a la base de datos de los pozos de Alerta Temprana y Remediación pertenecientes al PMR del proyecto Caserones.

Cabe hacer presente que, con fecha 07 de marzo de 2014 la Comisión de Evaluación de la Región de Atacama aprobó mediante Resolución Exenta N°064 el Plan de Monitoreo Robusto de Recursos Hídricos propuesto por MLCC para el proyecto Caserones. Este Plan de Monitoreo se estructura sobre un esquema de dos componentes: Cantidad del Recurso Hídrico y Calidad del Recursos Hídricos.

En lo que respecta a la variable Calidad del Recurso Hídrico, se tiene que el Plan de Monitoreo Robusto (PMR) establece un seguimiento de la calidad físico-química de las aguas en el entorno del proyecto Caserones para determinar de manera temprana cualquier cambio en su composición y así, materializar las medidas de control y mitigación que correspondan.

El PMR de Calidad del Recurso Hídrico se basa en muestreos de calidad de aguas subterráneas y superficiales, para generar un registro con la información recopilada, para activar un Plan de Alerta Temprana (PAT), en caso de advertir variaciones significativas en la composición de las aguas, contempla acciones de monitoreo adicionales, investigación del origen del evento y remediación para el control de la contaminación.

### **1.2 Objetivo**

El objetivo de este documento, a solicitud de la autoridad ambiental, es incorporar la mayor cantidad de datos de registros históricos de calidad de aguas y en virtud de esa información, analizar los valores de los Umbrales determinados para las aguas subterráneas en el Plan de Monitoreo Robusto. Junto con ello se realizará una revisión de la metodología de identificación de valores outliers o atípicos utilizada. La fuente de información para esta caracterización, corresponde a datos colectados en terreno y presentados con anterioridad en el Plan de Monitoreo Robusto y que nuevamente se adjuntan en el Anexo A.

## **2 Ubicación Puntos de Monitoreo**

Con el fin de caracterizar las aguas naturales subterráneas de los diferentes pozos de monitoreo definidos aguas abajo de los depósitos de Arena y de Lamas, ubicados en las quebradas Caserones y La Brea respectivamente, durante el desarrollo del Proyecto Caserones, es que se ha muestreado la calidad de las aguas en diferentes pozos efectuándose para ello la caracterización de la calidad de dichas aguas, mediante análisis in-situ y de laboratorio.

Los pozos con línea base definidos en el PMR como pozos de Alerta Temprana corresponden a 5, dos de ellos en la quebrada Caserones, otros dos en la quebrada La Brea y uno en el sector del Relleno Sanitario. La **Tabla 2-1** detalla la ubicación en coordenadas UTM.

**Tabla 2-1: Coordenadas Pozos de Alerta Temprana**

Pozo	Quebrada	Coordenada UTM (PSAD 56)	
		Este (m)	Norte (m)
CRW-01	Caserones	444.304	6.880.795
PBC-08	Caserones	444.341	6.880.871
BRW-01	La Brea	437.082	6.887.538
BRW-02	La Brea	437.132	6.887.503
PMRS-2	Relleno Sanitario	431.762	6.890.542

### 3 Incorporación de Datos de Calidad de Aguas a la Base de Datos de Línea de Base de Calidad de Aguas Subterráneas

La revisión exhaustiva de las bases de datos permitió determinar que para algunos pozos, existían datos de calidad de agua desde fechas anteriores con las cuales se había trabajado preliminarmente. En este sentido, fue posible ampliar las bases de datos de los pozos PBC-08 y PMRS-2, incorporándose información del año 2011 y 2010 respectivamente. La **Tabla 3-1** presenta los periodos de data utilizada finalmente.

**Tabla 3-1: Coordenadas Pozos de Alerta Temprana**

Pozo	Quebrada	Data
CRW-01	Caserones	01/2012 - 10/2013
PBC-08	Caserones	03/2011 - 10/2013
BRW-01	La Brea	01/2012 - 09/2013
BRW-02	La Brea	01/2012 - 10/2013
PMRS-2	Relleno Sanitario	05/2010 - 10/2013

#### 3.1 Detección de Omisión en Valores Umbrales del PMR

La metodología descrita en el capítulo 3.1 corresponde a la metodología presentada en el Plan de Monitoreo Robusto y aprobada por la autoridad, con la cual se debían calcular los valores de los Umbrales Máximos de Cumplimiento y Umbrales de Alerta Temprana de Calidad del Agua, sin embargo en una revisión de los valores presentados como umbrales, en particular para el parámetro pH, se detectó que en las tablas solo se presentó valores umbrales para el límite superior y no se indicó ningún valor para el valor límite inferior de este parámetro.

#### 3.2 Revisión Valores Umbrales del PMR – Detección de Inconsistencia

La detección observada en el parámetro pH, comentada en el acápite anterior, llevó a la revisión completa de la metodología, encontrándose que, además, existe una inconsistencia

en la determinación de valores outliers o atípicos. En efecto, de acuerdo a la metodología planteada para la detección de valores atípicos, se considera un valor outliers a todos los datos fuera del rango  $[Q_1 - 1,5 \cdot RIC; Q_3 + 1,5 \cdot RIC]$ , sin embargo al chequear las fórmulas en las planillas de cálculo, se detectó que se eliminaron todos los valores fuera del rango  $[Q_1 - RIC; Q_3 + RIC]$ , es decir, se omitió por error el factor (1,5) que establece en definitiva al rango válido de valores e identifica outliers suaves.

En consecuencia, las tablas de umbrales presentadas en el PMR tienen valores determinados mediante una metodología errónea, la cual no sigue lo propuesto a la autoridad y por lo tanto, tampoco se ciñe a lo aprobado por la autoridad.

#### **4 Corrección de Valores Umbrales del PMR**

A continuación se presenta la comparación de valores umbrales, tanto de Referencia Máxima como de Alerta Temprana, de forma tal que permita visualizar las variaciones entre los valores presentados y los valores corregidos y que finalmente se ajustan a la metodología propuesta y aprobada por la autoridad (DGA). La Tabla 5-1 presenta los valores de Referencia Máxima, en tanto que la Tabla 5-2 presenta los valores de Alerta Temprana, para los pozos de los sectores caserones y La Brea.

Del análisis de las tablas comparativas se tiene en general las siguientes observaciones:

- El parámetro pH ahora presenta límite inferior y por tanto un rango
- De los 29 parámetros, 10 de ellos no varía los valores umbrales
- 19 de los 29 parámetros muestran variación

**Tabla 4-1: Comparación de Valores de Referencia Máxima**



UMBRALES DE REFERENCIA MÁXIMA										
Elemento	Unidad	Límite Máximo Norma 1333	SECTOR							
			CASERONES				LA BREA			
			CRW-01		PBC-08		BRW-01		BRW-02	
			Anterior	Actualizado	Anterior	Actualizado	Anterior	Actualizado	Anterior	Actualizado
aluminio	mg/l	5	0.36	<b>0.5</b>	3.4	<b>4.3</b>	0.27	<b>0.2</b>	0.43	<b>0.5</b>
arsénico	mg/l	0.1	0.003	<b>0.006*</b>	0.003	<b>0.006*</b>	0.003	<b>0.006*</b>	0.01	<b>0.01</b>
bario	mg/l	4	0.03	<b>0.03</b>	0.01	<b>0.01*</b>	0.05	<b>0.05</b>	0.05	<b>0.05</b>
berilio	mg/l	0.01	0.01*	<b>0.01*</b>	0.01*	<b>0.01*</b>	0.01*	<b>0.01*</b>	0.01*	<b>0.01*</b>
boro	mg/l	0.75	0.01	<b>0.02*</b>	0.01	<b>0.02*</b>	0.06	<b>0.122</b>	0.1	<b>0.1</b>
cadmio	mg/l	0.01	0.002*	<b>0.002</b>	0.002*	<b>0.043</b>	0.002*	<b>0.002</b>	0.002*	<b>0.002</b>
cianuro	mg/l	0.2	0.05*	<b>0.05</b>	0.05*	<b>0.05</b>	0.05*	<b>0.05</b>	0.05*	<b>0.05</b>
cloruro	mg/l	200	26	<b>35.1</b>	13	<b>12</b>	27.33	<b>38.7</b>	22.85	<b>33.9</b>
cobalto	mg/l	0.05	0.01*	<b>0.01*</b>	0.09	<b>0.1</b>	0.01*	<b>0.01*</b>	0.01*	<b>0.01*</b>
cobre	mg/l	0.2	0.38	<b>0.4</b>	8.23	<b>14</b>	0.04	<b>0.06</b>	0.03	<b>0.03</b>
cromo	mg/l	0.1	0.03	<b>0.04</b>	0.09	<b>0.1</b>	0.02	<b>0.04</b>	0.05	<b>0.05</b>
fluoruro	mg/l	1	0.8	<b>0.8</b>	2.5	<b>3.2</b>	0.7	<b>0.8</b>	1.01	<b>1</b>
hierro	mg/l	5	20	<b>20.6</b>	62	<b>61.8</b>	15.14	<b>19</b>	35.3	<b>34.6</b>
litio	mg/l	2.5	0.02	<b>0.02</b>	0.09	<b>0.1</b>	0.06	<b>0.07</b>	0.04	<b>0.04</b>
manganeso	mg/l	0.2	1.55	<b>1.8</b>	3.77	<b>3.9</b>	0.72	<b>0.8</b>	0.42	<b>0.4</b>
mercurio	mg/l	0.001	0.001*	<b>0.001*</b>	0.001*	<b>0.001*</b>	0.001*	<b>0.001*</b>	0.001*	<b>0.001*</b>
molibdeno	mg/l	0.01	0.01*	<b>0.01*</b>	0.01*	<b>0.01*</b>	0.01*	<b>0.01*</b>	0.01*	<b>0.01*</b>
níquel	mg/l	0.2	0.01	<b>0.01*</b>	0.1	<b>0.12</b>	0.01	<b>0.01*</b>	0.01	<b>0.01*</b>
plata	mg/l	0.2	0.01*	<b>0.01*</b>	0.02	<b>0.01*</b>	0.01*	<b>0.01*</b>	0.01*	<b>0.01*</b>
plomo	mg/l	5	0.05	<b>0.01*</b>	0.024	<b>0.03</b>	0.004	<b>0.01*</b>	0.002	<b>0.01*</b>
selenio	mg/l	0.02	0.004*	<b>0.004*</b>	0.004*	<b>0.004*</b>	0.004*	<b>0.004*</b>	0.004*	<b>0.004*</b>
sodio porcentual	%	35	16	<b>16.2</b>	15	<b>16.4</b>	29.49	<b>30.2</b>	21.53	<b>23.9</b>
sulfato	mg/l	250	453	<b>449</b>	906	<b>939</b>	355.04	<b>412</b>	436.41	<b>450</b>
vanadio	mg/l	0.1	0.01	<b>0.02</b>	0.03	<b>0.04</b>	0.02	<b>0.04</b>	0.04	<b>0.04</b>
zinc	mg/l	2	0.4	<b>0.6</b>	1.7	<b>2.2</b>	0.11	<b>0.3</b>	3.77	<b>3.4</b>
pH		5,5-9,0	7.34	<b>5.60 - 8.01</b>	6.86	<b>5.70 - 7.30</b>	8.23	<b>7.20 - 8.21</b>	7.77	<b>7.20 - 8.00</b>
alcalinidad total	mg/l	20	20	<b>19</b>	1	<b>0.01</b>	107.71	<b>163.0</b>	182.12	<b>180.0</b>
CE	umho/cm	750	939	<b>993</b>	1570	<b>1806</b>	847.73	<b>948</b>	944.9	<b>952</b>
SDT	mg/l	500	735	<b>757</b>	1257	<b>1355</b>	693.96	<b>850</b>	789.93	<b>838</b>

En columna de color rojo los valores planteados anteriormente, en columna verde los nuevos valores.

\*: Límite de detección.

**Tabla 4-2: Comparación de Valores de Alerta Temprana**

UMBRALES DE ALERTA TEMPRANA										
Elemento	Unidad	Límite Máximo Norma 1333	SECTOR CASERONES				SECTOR LA BREA			
			CRW-01		PBC-08		BRW-01		BRW-02	
			Anterior	Actualizado	Anterior	Actualizado	Anterior	Actualizado	Anterior	Actualizado
aluminio	mg/l	5	0.29	<b>0.41</b>	2.72	<b>4.0</b>	0.22	<b>0.2</b>	0.34	<b>0.43</b>
arsénico	mg/l	0.1	0.003	<b>NA</b>	0.003	<b>NA</b>	0.003	<b>NA</b>	0.01	<b>0.007</b>
bario	mg/l	4	0.02	<b>0.03</b>	0.01	<b>NA</b>	0.04	<b>0.04</b>	0.04	<b>0.04</b>
berilio	mg/l	0,010*	0.01*	<b>NA</b>	0.01*	<b>NA</b>	0.01*	<b>NA</b>	0.01*	<b>NA</b>
boro	mg/l	0.75	0.004	<b>NA</b>	0.01	<b>NA</b>	0.05	<b>0.11</b>	0.08	<b>0.084</b>
cadmio	mg/l	0.01	0.002*	<b>0.0016</b>	0.002*	<b>0.04</b>	0.002*	<b>0.0016</b>	0.002*	<b>0.0016</b>
cianuro	mg/l	0.2	0.05*	<b>0.04</b>	0.05*	<b>0.04</b>	0.05*	<b>0.04</b>	0.05*	<b>0.04</b>
cloruro	mg/l	200	20.62	<b>32.3</b>	10.62	<b>10.9</b>	21.86	<b>36.0</b>	18.28	<b>31.4</b>
cobalto	mg/l	0.05	0.01*	<b>NA</b>	0.07	<b>0.1</b>	0.01*	<b>NA</b>	0.01*	<b>NA</b>
cobre	mg/l	0.2	0.31	<b>0.3</b>	6.59	<b>12.2</b>	0.04	<b>0.05</b>	0.02	<b>0.03</b>
cromo	mg/l	0.1	0.02	<b>0.03</b>	0.07	<b>0.1</b>	0.02	<b>0.03</b>	0.04	<b>0.04</b>
fluoruro	mg/l	1	0.62	<b>0.7</b>	2	<b>3.0</b>	0.56	<b>0.7</b>	0.81	<b>0.9</b>
hierro	mg/l	5	16.14	<b>19.0</b>	49.28	<b>59.3</b>	12.11	<b>17.0</b>	28.24	<b>31.0</b>
litio	mg/l	2.5	0.02	<b>0.02</b>	0.07	<b>0.1</b>	0.05	<b>0.06</b>	0.03	<b>0.04</b>
manganeso	mg/l	0.2	1.24	<b>1.6</b>	3.02	<b>4.0</b>	0.58	<b>0.7</b>	0.34	<b>0.4</b>
mercurio	mg/l	0.001	0.001*	<b>NA</b>	0.001*	<b>NA</b>	0.001*	<b>NA</b>	0.001*	<b>NA</b>
molibdeno	mg/l	0.01	0.01*	<b>NA</b>	0.01*	<b>NA</b>	0.01*	<b>NA</b>	0.01*	<b>NA</b>
níquel	mg/l	0.2	0.01	<b>NA</b>	0.08	<b>0.11</b>	0.004	<b>NA</b>	0.005	<b>NA</b>
plata	mg/l	0.2	0.01*	<b>NA</b>	0.01	<b>NA</b>	0.01*	<b>NA</b>	0.01*	<b>NA</b>
plomo	mg/l	5	0.004	<b>NA</b>	0.02	<b>0.03</b>	0.003	<b>NA</b>	0.001	<b>NA</b>
selenio	mg/l	0.02	0.004*	<b>NA</b>	0.004*	<b>NA</b>	0.004*	<b>NA</b>	0.004*	<b>NA</b>
sodio porcentual	%	35	12.61	<b>16.0</b>	11.64	<b>15.7</b>	23.59	<b>28.9</b>	17.22	<b>23.0</b>
sulfato	mg/l	250	362.29	<b>435</b>	725.1	<b>896</b>	284.03	<b>397</b>	349.13	<b>433</b>
vanadio	mg/l	0.1	0.01	<b>0.016</b>	0.03	<b>0.03</b>	0.02	<b>0.04</b>	0.03	<b>0.04</b>
zinc	mg/l	2	0.34	<b>0.5</b>	1.38	<b>2.0</b>	0.09	<b>0.24</b>	3.02	<b>3.0</b>
pH		5,5-9,0	5.87	<b>6.10 - 7.60</b>	5.49	<b>6.00 - 7.00</b>	6.59	<b>7.40 - 8.01</b>	6.21	<b>7.30 - 7.82</b>
Alcalinidad Total	mg/l	20	16.28	<b>16.7</b>	0.6	<b>0.01</b>	86.17	<b>146.0</b>	145.7	<b>174.0</b>
CE	umho/cm	750	751.43	<b>963</b>	1255.76	<b>1749</b>	678.19	<b>919</b>	755.9	<b>943</b>
SDT	mg/l	500	587.62	<b>731</b>	1005.44	<b>1317</b>	555.17	<b>806</b>	631.94	<b>818</b>

En columna de color rojo los valores planteados anteriormente, en columna verde los nuevos valores.

NA: No aplica. Debido a que el umbral de referencia máxima queda definido por el límite de detección, se activa inmediatamente la remediación.

Respecto al sector del Relleno Sanitario, la Tabla 4-3 presenta tanto los valores de Referencia Máxima como los valores de Alerta Temprana.

**Tabla 4-3: Valores de Referencia Máxima y Alerta Temprana en Relleno Sanitario**

UMBRALES				
Elemento	Unidad	Límite Máximo Norma 1333	REFERENCIA MÁXIMA	ALERTA TEMPRANA
			PMRS-2	PMRS-2
			Actualizado	Actualizado
aluminio	mg/l	5	4	3.2
arsénico	mg/l	0.1	0.006*	NA
bario	mg/l	4	0.01*	NA
berilio	mg/l	0,010	0.01*	NA
boro	mg/l	0.75	0.20	0.14
cadmio	mg/l	0.01	0.002	0.0016
cianuro	mg/l	0.2	0.05	0.04
cloruro	mg/l	200	36.1	33.3
cobalto	mg/l	0.05	0.01*	NA
cobre	mg/l	0.2	0.04	0.03
cromo	mg/l	0.1	0.01*	NA
fluoruro	mg/l	1	1.00	0.90
hierro	mg/l	5	11.0	9.3
litio	mg/l	2.5	0.034	0.031
manganeso	mg/l	0.2	0.30	0.24
mercurio	mg/l	0.001	0.001*	NA
molibdeno	mg/l	0.01	0.01*	NA
níquel	mg/l	0.2	0.01*	NA
plata	mg/l	0.2	0.01*	NA
plomo	mg/l	5	0.02	0.016
selenio	mg/l	0.02	0.004	0.004
sodio porcentual	%	35	40.0	38.4
sulfato	mg/l	250	242.1	228.3
vanadio	mg/l	0.1	0.050	0.043
zinc	mg/l	2	0.21	0.18
pH		5,5-9,0	7.60 - 8.33	7.70 - 8.20
alcalinidad total	mg/l	20	142	137.3
CE	umho/cm	750	681	651
SDT	mg/l	500	552	529
Otros Adicionales				
Turbiedad	UNT	-	354	326
SST	mg/l	-	733	647.4
Magnesio	mg/l	-	23.2	22.2
Sodio	mg/l	35	52.1	49.1

\*: Límite de detección.

NA: No aplica. Debido a que el umbral de referencia máxima queda definido por el límite de detección, se activa inmediatamente la remediación.

## **5 Conclusiones**

Respecto del análisis estadístico de datos de calidad de aguas con la data actualizada, se puede concluir que tanto el pozo PBC-08 como el pozo PMRS-2 ahora cuentan con una base de datos mayor, lo cual se traduce en una mejor definición de indicadores de posición y tendencia, por lo cual los umbrales quedan mejor definidos.

La revisión de los valores y de la metodología utilizada y aprobada para la detección de valores outliers en el Plan de Monitoreo Robusto detectó dos inconsistencias, la primera relacionada con la ausencia de valores umbrales inferiores para el parámetro pH y la segunda relacionada con la omisión del factor que determina un outliers suave en las planillas de cálculo.

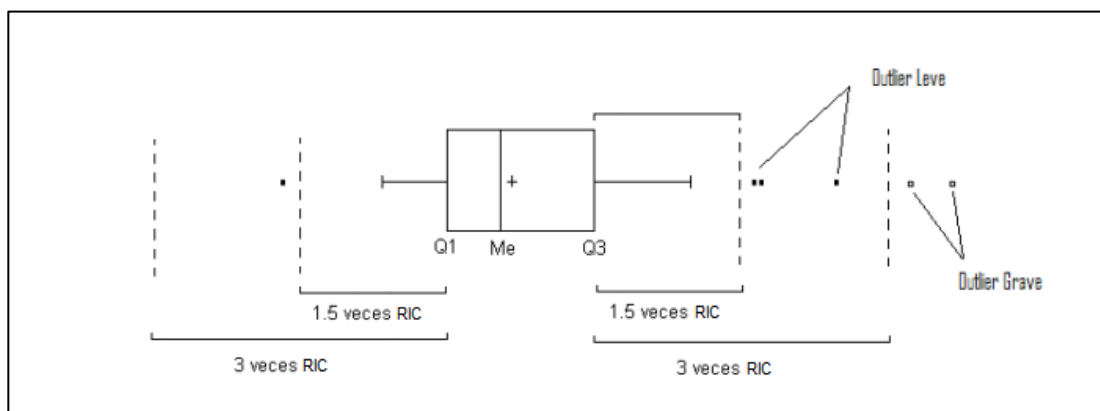
En forma posterior se procedió a subsanar ambas inconsistencias y presentar los valores que en definitiva se ciñen a la metodología aprobada por la autoridad ambiental, en particular la Dirección General de Aguas de Atacama. Los valores de Umbrales revisados y que en definitiva se proponen, son los que se presentan a continuación en las Tablas 6-1 y 6-2 para los Valores de Referencia Máxima y Valores de Alerta Temprana respectivamente.

## Anexo 2

# Metodología Determinación Umbrales de Referencia Máxima y Umbrales de Alerta Temprana



Este método incluye el cálculo del primer (Q1) y del tercer cuartil (Q3), y de la mediana (Q2). Se calcula diferencia entre  $Q3 - Q1$ , lo que es conocido como el RIC. Aquellos valores que se encuentran bajo  $Q1 - 1,5 \times RIC$  o sobre  $Q3 + 1,5 \times RIC$  pueden ser considerados como outliers suaves, en tanto aquellos valores bajo  $Q1 - 3,0 \times RIC$  o sobre  $Q3 + 1,5 \times RIC$  pueden ser considerados como outliers extremos. En este memo se usó un criterio conservador, es decir se consideraron aquellos outliers que cumplieran con el primer supuesto. La Figura A1 muestra el box-plot, el cual ilustra gráficamente los outliers por el método descrito.



**Figura A1: Box-Plot con valores outliers leves y extremos.**

Una vez eliminados los outliers de las muestras se analizaron las tendencias de cada uno de los parámetros, y se calcularon valores estadísticos típicos para representar el comportamiento de los parámetros de interés.

Para obtener los umbrales de referencia máximos URM se normalizaron los datos medidos, y se obtuvieron el promedio y la desviación típica de la distribución normal creada. El umbral máximo se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Umbral Máximo} = \text{Promedio} + 3 \times \text{Desviación Típica}$$

Se escogió esta fórmula porque, en una distribución normal, el intervalo comprendido por el valor de la media más/menos dos veces la desviación típica incluye aproximadamente el 99% de los valores. Este umbral máximo corresponde al de la distribución normal creada a partir de los datos. Para obtener el valor del umbral máximo de la distribución real obtenida en las mediciones en terreno se utilizó la misma fórmula usada para normalizar:

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\sigma}$$

Donde Z corresponde a la variable aleatoria normal, X es el valor real medido,  $\bar{X}$  al promedio y  $\sigma$  a la desviación estándar de los datos reales.

Este procedimiento se realizó para cada uno de los puntos seleccionados.

Los Umbrales de Alerta Temprana (UAT) se definieron tomando en consideración lo estipulado en la Ley 19.300 de Bases del Medio Ambiente, modificada a través de la Ley 20.417. En su Título I Disposiciones Generales, artículo 2, se indica "t) Zona Latente: aquella en que la medición de la concentración de contaminante en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la respectiva norma de calidad ambiental".

Dado que el objetivo es identificar en forma preventiva una potencial anomalía química en el agua antes de alcanzar el umbral máximo de referencia (URM), se considera que el umbral de alerta para cada parámetro corresponderá a un límite igual al 80% de la diferencia entre el Umbral de Referencia Máxima (URM) y el promedio ( $\bar{X}$ ) más el valor promedio establecido para cada elemento analizado a la fecha. Así, el umbral de alerta a proponer será menor a la concentración de Zona de Latencia.

$$UAT = \bar{X} + (URM - \bar{X}) * 0,8$$

Con estos criterios se ha definido un Umbral de Referencia Máximo (URM) y Umbral de Alerta Temprana (UAT) para cada uno de los parámetros establecidos en la norma NCh 1333 para la Quebrada Caserones, la Quebrada La Brea, y la zona del Relleno Sanitario en forma independiente.

## Anexo 3 Puntos de monitoreo en Plan de Monitoreo de Recurso Hídrico Calidad

Área	Punto Monitoreo	Objetivo	Ubicación	Parámetros	Frecuencia	
					Normal	Alerta/ Remediación
Área Quebrada Caserones	PBC-08	Alerta Temprana /Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	pH/T°/CE/TDS	En Línea	En Línea
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	CRW-01	Alerta Temprana /Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	pH/T°/CE/TDS	En Línea	En Línea
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	PBC-06B	Eficiencia Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	Nivel	Mensual	Semanal
				pH/T°/CE/TDS	Mensual	15 días
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	PBC-07	Eficiencia Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	Nivel	Mensual	Semanal
				pH/T°/CE/TDS	Mensual	15 días
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	CRW-02	Alerta Temprana /Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	pH/T°/CE/TDS	Mensual	Continuo
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	PBC-02	Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	NCh 1.333/Nivel	Mensual	15 días
	PBC-06	Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	NCh 1.333/Nivel	Mensual	15 días
	DA-02	Observación	Quebrada Ramadillas (aguas arriba de la Quebrada Caserones)	Nivel	Mensual	15 días
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	LM-23	Monitoreo	Superficial. Aguas arriba Caserones	NCh 1333	Mensual	15 días
				NCh 1333	Mensual	15 días
	LM-25	Monitoreo	Superficial. Aguas abajo Caserones	NCh 1333	Mensual	15 días
Área Quebrada La Brea	BRW-01	Alerta Temprana /Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	pH/T°/CE/TDS	En Línea	En Línea
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	BRW-02	Alerta Temprana /Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	pH/T°/CE/TDS	En Línea	En Línea
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	PZL-1	Alerta Temprana	Quebrada La Brea (aguas arriba Deposito Lamas)	Nivel	Mensual	Mensual
				pH/T°/CE/TDS/	Mensual	Mensual
				NCh 1.333	Mensual	Mensual
	POB-06B	Eficiencia Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	Nivel	Mensual	Semanal
				pH/T°/CE/TDS/	Mensual	15 días
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	PBB-07	Eficiencia Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	Nivel	Mensual	Semanal
				pH/T°/CE/TDS	Mensual	15 días
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	PBB-01	Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	pH/T°/CE/TDS	Mensual	Continuo
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	POB-08B	Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	pH/T°/CE/TDS	Mensual	Continuo
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	POB-07A	Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	NCh 1.333/Nivel	Mensual	15 días
	WE-01	Observación	Quebrada Ramadillas (aguas arriba de la Quebrada La Brea)	Nivel	Mensual	15 días
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	LM-10	Monitoreo	Superficial. Aguas arriba La Brea	NCh 1333	Mensual	15 días
	LM-27	Monitoreo	Superficial. Aguas abajo La Brea	NCh 1333	Mensual	15 días

Área	Punto Monitoreo	Objetivo	Ubicación	Parámetros	Frecuencia	
					Normal	Alerta/ Remediación
Área Relleno Sanitario	WE-02	Observación	Quebrada Ramadillas (aguas abajo de Quebrada La Brea y aguas arriba del Relleno Sanitario)	Nivel	Mensual	Mensual
				NCh 1.333	Mensual	Mensual
	PMRS-1	Alerta Temprana /Remediación	Quebrada Ramadillas (entorno a Relleno Sanitario)	Nivel	Mensual	15 días
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	PMRS-2	Alerta Temprana /Remediación	Quebrada Ramadillas (entorno a Relleno Sanitario)	Nivel	Mensual	15 días
				NCh 1.333	Mensual	15 días
	WE-09	Eficiencia Remediación	Aguas abajo Relleno Sanitario	Nivel	Mensual	15 días
				NCh 1333	Mensual	15 días
	WE-03	Análisis Eficiencia Remediación	Quebrada Ramadillas (antes de confluencia con Río Vizcachas)	Nivel	Mensual	Mensual
				NCh 1.333	Mensual	Mensual
	LM-28	Superficial	Superficial. Aguas abajo Relleno Sanitario	NCh 1333	Mensual	15 días