



337

ANT.: ORD. U.I.P.S. N° 870 de fecha 05 de noviembre de 2013.

MAT.: Envía lo solicitado.

COPIAPO, 14 NOV. 2013

**A: SRA. PAMELA TORRES BUSTAMANTE  
FISCAL INSTRUCTORA DE LA UNIDAD DE INSTRUCCIÓN DE PROCEDIMIENTOS  
SANCIONATORIOS.  
SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE**

**DE: DIRECTORA REGIONAL SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL,  
REGIÓN DE ATACAMA**

Junto con saludarle cordialmente, y en relación al inicio de la instrucción del procedimiento administrativo asociado al "Proyecto Caserones", calificado ambientalmente favorable por la Res. Ex. N° 13, de fecha 13 de enero de 2010, me permito hacer llegar a Ud. copia de los siguientes antecedentes:

- Carta MLCC 025/2011 de fecha 24 de enero de 2011, recepcionada con fecha 04 de febrero de 2011 a través de la cual el titular hace llegar los informes: "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones- Depósito de Lamas Quebrada La Brea" y "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones- Depósito de Arenas Quebrada Caserones".
- Carta MLCC 060/2011 de fecha 24 de marzo de 2011, a través de la cual el titular hace llegar dos copias de los informes: "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones- Depósito de Lamas Quebrada La Brea" y "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones- Depósito de Arenas Quebrada Caserones", ambos Revisión A.
- Ord. N° 116 de fecha 30 de marzo de 2011, del SEA, Región de Atacama mediante el cual se distribuye a la Dirección General de Aguas, Región de Atacama y al SERNAGEOMIN, Región de Atacama, los "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones- Depósito de Lamas Quebrada La Brea" y "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones- Depósito de Arenas Quebrada Caserones", ambos Revisión A.
- Ord. N° 762 de fecha 22 de noviembre de 2011, de la DGA, Región de Atacama mediante el cual dicho servicio hace llegar su pronunciamiento N° 2, sobre los informes: "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones- Depósito de Lamas Quebrada La Brea" y "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones- Depósito de Arenas Quebrada Caserones", ambos Revisión A.
- Carta N° 1337 de fecha 30 de noviembre de 2011, del SEA, Región de Atacama, mediante la cual se hace llegar al titular las observaciones a los estudios hidrológicos presentados.

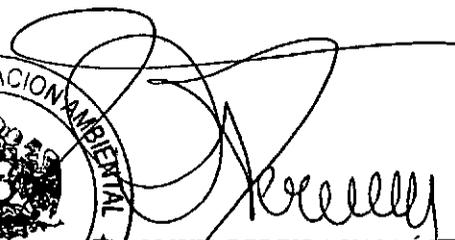
- Carta MLCC 149/2011 de fecha 12 de diciembre de 2011, a través de la cual el titular solicita mayor plazo para dar respuesta a las observaciones contenidas en la Carta 1337/2011.
- Ord. N° 074 de fecha 09 de marzo de 2012, del SEA, Región de Atacama mediante el cual se hace llegar a la DGA, Región, las respuestas enviadas por el titular a las observaciones realizadas por Ord. N° 762/2011 de la DGA, Región de Atacama.
- Carta N° 386, de fecha 25 de abril de 2013, del SEA, Región de Atacama a través de la cual se responde solicitud de pertinencia "Ampliación del Plazo para el Diseño y Validación de Tratamiento Pasivo para el Drenaje ácido de Mina", y antecedentes asociados.
- Ord. N° 470 de fecha 11 de julio de 2013, de la DGA, Región de Atacama mediante el cual dicho servicio hace llegar sus observaciones sobre el Plan de Monitoreo Robusto, Proyecto Caserones.
- Carta N° 603 de fecha 18 de julio de 2013, del SEA, Región de Atacama, mediante la cual se hace llegar al titular copia del Ord. N° 470/2013 de la DGA, Región de Atacama.
- Carta MLCC 117/2013 de fecha 16 de septiembre de 2013, a través de la cual el titular solicita validación del diseño del sistema de tratamiento pasivo para el Drenaje ácido de Mina.
- Ord. N° 285 de fecha 26 de septiembre de 2013, del SEA, Región de Atacama mediante el cual se distribuye a la Dirección General de Aguas, Región de Atacama y al SERNAGEOMIN, Región de Atacama, la solicitud validación del diseño del sistema de tratamiento pasivo para el Drenaje ácido de Mina presentada por el titular.
- Carta MLCC 119/2013 de fecha 23 de septiembre de 2013, a través de la cual el titular solicita validación por parte de la Comisión de Evaluación, Región de Atacama de los antecedentes hidrogeológicos complementarios.
- Ord. N° 294 de fecha 02 de octubre de 2013, del SEA, Región de Atacama mediante el cual se solicita a la Dirección General de Aguas, Región de Atacama su pronunciamiento respecto de los informes: "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones- Depósito de Lamas Quebrada La Brea" y "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones- Depósito de Arenas Quebrada Caserones", ambos Revisión A.
- Ord. N° 752 de fecha 18 de octubre de 2013, de la DGA, Región de Atacama mediante el cual dicho servicio hace llegar su pronunciamiento N° 3, sobre los informes: "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones- Depósito de Lamas Quebrada La Brea" y "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones- Depósito de Arenas Quebrada Caserones".
- Carta MLCC 135/2013 de fecha 25 de octubre de 2013, a través de la cual el titular hace llegar la respuesta a las observaciones del Ord. N° 470/2013 de la DGA, relacionadas al aspecto Calidad de Aguas.
- Ord. N° 766 de fecha 29 de octubre de 2013, de la DGA, Región de Atacama mediante el cual se pronuncia sobre el diseño del sistema de tratamiento pasivo para el Drenaje ácido de Mina presentada por el titular.
- Carta N° 756 de fecha 29 de octubre de 2013, del SEA, Región de Atacama, mediante la cual se hace llegar al titular las observaciones a los Estudios hidrogeológicos complementarios -



control infiltraciones- Depósito de Lamas Quebrada La Brea” y “Estudios hidrogeológicos complementarios – control infiltraciones- Depósito de Arenas Quebrada Caserones”.

- Carta MLCC 136/2013 de fecha 30 de octubre de 2013, a través de la cual el titular hace llegar la respuesta a las observaciones del Ord. N° 470/2013 de la DGA, relacionadas al aspecto Cantidad de Aguas.
- Ord. N° 326 de fecha 04 de noviembre de 2013, del SEA, Región de Atacama mediante el cual se solicita a la Dirección General de Aguas, Región de Atacama su pronunciamiento respecto del informe relacionado con Cantidad de Agua presentado por el titular.
- Ord. N° 10043 de fecha 08 de noviembre de 2013, del SERNAGEOMIN, Región de Atacama mediante el cual se pronuncia sobre el diseño del sistema de tratamiento pasivo para el Drenaje ácido de Mina presentado por el titular.
- Carta N° 797 de fecha 13 de noviembre de 2013, del SEA, Región de Atacama, mediante la cual se hace llegar al titular copia de los Ord. N° 766/2013 y Ord. N° 10043/2013, referidos al diseño del sistema de tratamiento pasivo para el Drenaje ácido de Mina

Sin otro particular le saluda atentamente a Ud.

  
  
**OLIVIA PEREIRA VALDÉS**  
**DIRECTORA REGIONAL**  
**SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL**  
**REGIÓN DE ATACAMA**

  
OP/vop

Distribución:

Sra. Pamela Torres Bustamante, Fiscal Instructora de la Unidad de Instrucción de Procedimientos Sancionatorios, Superintendencia del Medio Ambiente.

cc.  
Expediente “Proyecto Caserones”

Of. Partes, Servicio de Evaluación Ambiental.



Carta  386

COPIAPO, 25 ABR. 2013

**Señor**  
**Nelson Pizarro Contador**  
**Representante Legal**  
**SCM Minera Lumina Copper Chile**  
**Av. Andrés Bello 2687 Piso 4 - Las Condes**  
**Santiago**

De mi consideración:

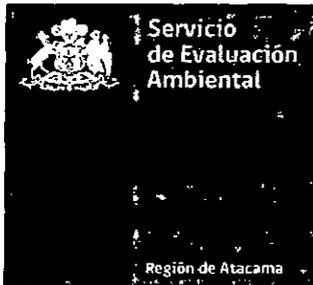
En relación a la carta mediante la cual se consulta sobre la pertinencia de ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, la **“Ampliación del Plazo para el Diseño y Validación de Tratamiento Pasivo para el Drenaje Ácido de Mina”** lo que consiste en una modificación al proyecto denominado **“Proyecto Caserones”** calificado ambientalmente favorable a través de la Res. Ex. N°13/2010, me permito hacer llegar a Ud. la respuesta a la referida consulta, en los siguientes términos:

1. Según los antecedentes aportados en su presentación, la modificación consiste en extender el plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el drenaje ácido de mina, fundamentándose en lo siguiente:

(i) El Titular ha ejecutado análisis geológicos, hidrológicos e hidro-geoquímicos, considerando las características geoquímicas e hidráulicas del botadero de lastre y el crecimiento en base anual del mismo, para las etapas correspondientes la primera fase del botadero (primeros 7 años de operación) aprobado por RCA N°013/2010, orientados a obtener la información necesaria para el diseño del tratamiento pasivo de Drenaje Ácido de Mina (DAM), que se necesitaría para esta etapa del proyecto. Esto incluyó la investigación de los antecedentes hidrogeológicos de la quebrada La Brea, indicados en el numeral 5 del Considerando 12 de la RCA.

(ii) Los resultados de los análisis realizados permiten concluir que los materiales a disponer en los botaderos de lastre no generarán DAM durante los primeros 7 años de operación.

(iii) Considerando lo indicado en (i) y (ii), los antecedentes con los que se cuentan hoy en día no son suficientes para determinar con precisión la calidad de las aguas ácidas que se podrían generar en fases posteriores al año 7 de operación, y por lo tanto, no se cuenta con conocimiento de los parámetros de diseño que se requerirán para un eventual tratamiento pasivo a un horizonte de largo plazo.



(iv) Para establecer los parámetros de diseño se deben realizar ensayos de mayor duración, que permita establecer con una precisión mayor qué calidad de agua ácida se generará en el largo plazo.

Es decir, no es posible para SCMMLCC cumplir lo comprometido en el plazo otorgado, ya que los valores obtenidos para la calidad de agua que existirá aguas abajo del dump leach indican que, sin tratamiento, estos estarán cumpliendo la norma. De esta manera no existe el input necesario para que los ingenieros diseñen un sistema de tratamiento que sea válido para la operación y cierre del depósito de lastre.

El plazo adicional solicitado por SCMLCC es de tres años, hasta el último trimestre del año 2016 (tercer año de operación), tiempo que será utilizado para evaluar el potencial de drenaje ácido a largo plazo y de manera más precisa, lo que se reflejará en un diseño más adecuado para el sistema de tratamiento pasivo del Drenaje Ácido que se generará en el depósito de lastre.

2. A fin de evaluar la pertinencia de ingreso de la actividad antes indicada, al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, esta Dirección Regional ha fundado su pronunciamiento en:

2.1 La Ley 19.300, Título II, especialmente lo dispuesto en el artículo 8, que señala: *“los proyectos o actividades señalados en el artículo 10 sólo podrán ejecutarse o modificarse previa evaluación de su impacto ambiental, de acuerdo a lo establecido en la presente ley”*.

2.2 El Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, especialmente lo dispuesto en el Título I, artículo 2, letra d., el cual señala que por modificación de proyecto o actividad, se entiende: *“la realización de obras, acciones o medidas tendientes a intervenir o complementar un proyecto o actividad ya ejecutado, de modo tal que éste sufra cambios de consideración”*.

2.3 El documento “Criterios para decidir sobre la pertinencia de someter al SEIA la introducción de “cambios” a un proyecto o actividad” de julio de 2008, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, el que señala entre los “cambios de consideración” aquellas medidas susceptibles de generar nuevos impactos.

2.4 Res. Ex. N°013/2010, que califica ambientalmente favorable el proyecto denominado **“Proyecto Caserones”**.

2.5 El Oficio Ordinario N°103050 de fecha 23 de septiembre de 2010, que imparte instrucciones sobre las consultas de pertinencias de ingreso de proyectos o actividades al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

3. Asimismo, y a fin de proporcionar una debida respuesta, mediante Oficio Ordinario N°066 del 05 de marzo del 2013, se solicitó informe a las direcciones regionales del SERBAGEOMIN, Región de Atacama y la DGA, Región de Atacama, con el objeto de:



- a. Esclarecer si a los cambios le es aplicable normativa ambiental sectorial que pueda tener como consecuencia el ingreso obligatorio al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental;
- b. Aclarar el alcance y/o magnitud de los cambios, a efectos de contrastarlo con los criterios o magnitudes del artículo 3° del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (o el que eventualmente lo reemplace);
- c. Esclarecer si los cambios generan nuevos impactos ambientales adversos o alteran negativamente la magnitud de los impactos presentes en la ejecución actual; o
- d. Aclarar si los cambios sólo corresponden a obras, acciones o medidas de mantención o conservación, reparación o rectificación, reconstitución, reposición, o renovación del proyecto o actividad en ejecución.

3.1. Dando cumplimiento a lo solicitado la DGA, Región de Atacama, ha respondido mediante Oficio Ordinario N°187 de fecha 02 de abril del 2013, en el cual expresa que:

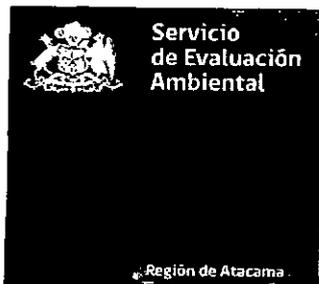
*"1) En el Considerando 7° letra b) de la mencionada RCA, sobre el Sistema de Tratamiento Pasivo, se establece que (Textual) "En relación al sistema de tratamiento pasivo de drenaje ácido, el Titular señala que, en el anexo 44 de la Adenda 2 se compromete a diseñar un sistema de tratamiento pasivo a futuro sólo si existe presencia de acidez y altas concentraciones de metales pesados, detectados por monitoreo de calidad de aguas."*

*2) Por su parte, en el inciso segundo del mismo Considerando señalado en el numeral 1) anterior, se menciona que, las actividades de desarrollo del sistema de tratamiento en cuestión se iniciarán al comienzo de la fase de operación del Proyecto.*

*3) Asimismo, en el Considerando 12° numeral 6° de la citada Resolución de Calificación Ambiental, se menciona que (Textual) "El sistema de tratamiento pasivo, para el depósito de lastre, se deberá diseñar de acuerdo a los antecedentes hidrogeológicos de la quebrada La Brea, a los que se refiere el numeral 5".*

*(Numeral 5: En lo que se refiere a la calidad y cantidad del recurso hídrico, el Titular del proyecto, en un plazo máximo de 6 meses de notificada la Resolución de Calificación Ambiental, entregará a la COREMA la información que será utilizada para el desarrollo de la ingeniería de Detalles, referida a: antecedentes hidrogeológicos de línea base del área de influencia del proyecto, (levantamiento geofísico de perfiles TEM de alta resolución en los sectores donde se ubicarán los pozos de remediación, pruebas de bombeo individuales de 3 días cada uno y simultaneas en cada conjunto de pozos de remediación por 20 días de duración; en los depósitos de relaves: levantamiento geofísico de perfiles, perfiles de control de recarga de agua subterránea mediante pruebas de bombeo específicas; en relación a los niveles freáticos, levantamiento de información con 10 pozos adicionales de 40-60 m. de los diseños y sistemas de monitoreo y control de infiltraciones.)*

*4) En relación a los antecedentes hidrogeológicos a que se refiere el numeral 3) anterior, cabe hacer notar que, de acuerdo a los registros de este Servicio, dichos antecedentes ya han sido elaborados y presentados formalmente por el Titular del proyecto en cuestión, lo cual*



consta en el Ord. CONAMA Atacama N°949, de 7 de septiembre de 2010 y en el Ord. SEA Atacama N°116, de 3 de marzo de 2011.

- 5) *A su vez, en el ya citado Considerando 12° numeral 6°, también se señala que (Textual) "El sistema de tratamiento pasivo deberá ser validado por la Auditoría Ambiental, previo informe favorable de los órganos de la administración del Estado, y mientras no se emita la respectiva validación favorable el Proyecto no operará."*
- 6) *Respecto del inicio de operación del proyecto de autos, es pertinente destacar que, según comunicación formal a esta Dirección por parte del Titular de la iniciativa minera, consignada en la carta GG-SCM-MLCC N°023/2013, recepcionada el 14 de marzo de 2013, dicho Proyecto ya habría iniciado su fase de operación, toda vez que, según se informa a través de ese medio, el Titular pone en conocimiento a este Servicio sobre el inicio de su línea hidrometalúrgica con la operación del depósito de lixiviación, lo que en consecuencia, supone previamente el desarrollo del rajo y la correspondiente disposición de material estéril en el botadero de lastre.*
- 7) *Atendido a lo indicado en el numeral 6) anterior, y dada la entrada en operación de la Superintendencia de Medio Ambiente a contar del 28 de diciembre de 2012, cuya institución, según establece la Ley N°20.417/2010, que modifica la Ley de Bases del Medio Ambiente, tiene las atribuciones de fiscalizar el permanente cumplimiento de las normas, condiciones y medidas establecidas en las Resoluciones de Calificación Ambiental, sobre la base de las inspecciones, controles, mediciones y análisis que se realicen, de conformidad a lo establecido en esta ley, resulta entonces pertinente informar sobre la materia a la citada Superintendencia.*
- 8) *Por su parte, cabe subrayar al respecto que, el cumplimiento del Titular en relación a contar con el diseño y la correspondiente validación técnica del sistema de tratamiento en cuestión, previo inicio de la operación del proyecto minero, corresponde a una obligación que forma parte de las condiciones específicas establecidas en la respectiva RCA, y que fueran por cierto impuestas al Proyecto como condicionantes a la aprobación ambiental, y por lo tanto, sobre ellas recae la absoluta obligatoriedad de cumplimiento. Así entonces, cualquier modificación a su contenido y/o forma, debe estar sujeto a una evaluación ambiental a través del proceso formal que rige la materia, esto es, el SEIA.*
- 9) *A mayor abundamiento, resulta pertinente mencionar además que, el Titular en su presentación de pertinencia acompaña el estudio denominado Predicción del Drenaje del Botadero de Caserones Durante los Primeros 7 años de Operación (Amphos 21, 2012), el cual, en base a estimaciones teóricas concluye que durante los primeros 7 años de operación del Proyecto, los botaderos de lastres no generarán drenaje ácido de mina. Del mismo modo, y para los efectos de considerar como no significativo el cambio propuesto a su Proyecto aprobado ambientalmente, el Titular en su presentación de pertinencia argumenta la insuficiencia de antecedentes para los efectos de determinar en detalle la calidad de las aguas que se podrían generar en fases posteriores al año 7 de operación y con ello dimensionar la instalación de tratamiento.*



*Dicho ello, es que este Servicio estima que existe una falta de coherencia entre, la absoluta validez técnica depositada por el Titular al comentado Estudio, y precisamente, su justificación de falta de antecedentes atendida a la necesidad de realizar una serie de pruebas para los efectos de diseñar el citado sistema de tratamiento. Es decir, si bien el Titular pudo teorizar respecto de la cuantificación en la generación de aguas ácidas durante el periodo de 7 años de operación del proyecto sin contar con información empírica, bien puede también efectuar una estimación del tipo de instalación y sus características para los efectos de contar con un sistema que trate los drenajes de mina acidificados.*

*Asimismo, también es importante hacer presente que, lo anterior es sin perjuicio de la realización de las variadas actividades de muestreo, análisis y simulación proyectadas por el Titular conducentes a la determinación del diseño óptimo del sistema de tratamiento en cuestión, pues evidentemente, en la medida que se va desarrollando el botadero de estériles será factible contar con mayor y mejor información sobre su dinámica y caracterización, dado que se conocerá de manera más acabada el modelo de bloques de la mina, las cantidades de material estéril dispuesto y su forma de disposición, su caracterización mineralógica, la cantidad y la calidad de las aguas que interactúan con el depósito, entre otros aspectos, todos los cuales dicen relación con la evolución de los mecanismos y etapas del proceso de drenaje ácido; pero que sin embargo, de acuerdo a la información disponible y a la utilización de condiciones de borde conservadoras al caso, permitan contar desde ya con un diseño para tratar los efluentes generados.*

*10) Por otra parte, resulta fundamental destacar la importancia de este Diseño, pues si bien la RCA contempla la implementación de éste solo en el caso que a través del monitoreo se evidencie la presencia de acidez y altas concentraciones de metales pesados, no es menos cierto que, las conclusiones del Estudio de predicción de drenajes ácidos antes citado deben ser comprobadas en la medida que el botadero se encuentre en operación. Así, mientras transcurren los 3 años adicionales solicitados por el Titular mediante su presentación de pertinencia, bien existe la posibilidad que exista una variabilidad importante respecto de esa predicción, no pudiendo así el Titular asumir con un completo nivel de confianza dichos resultados. Por lo tanto, partiendo del supuesto de que es necesaria la implementación del sistema de tratamiento, conceptualmente el Titular debiera diseñar una instalación que al menos considere, una ágil habilitación, que disponga de capacidad instalada suficiente, de gran eficacia y rendimiento, destino del efluente tratado, que cuente con mecanismos de control y verificación de parámetros que permitan evaluar su desempeño, entre otros.*

*11) Finalmente, a la luz de lo expuesto en el presente documento, este Servicio estima que no resulta adecuada una modificación del plazo a que se refiere la pertinencia presentada por parte del Titular del proyecto denominado Proyecto Caserones, toda vez que, la exigencia de Diseño y Verificación del Sistema de Tratamiento Pasivo que establece la correspondiente RCA debe ser cumplida a cabalidad, y que en caso de estar sujeta a un cambio como el propuesto, necesariamente requiere su ingreso al SEIA.”*



3.2. Dando cumplimiento a lo solicitado, el SERNAGEOMIN, Región de Atacama, ha respondido mediante Oficio Ordinario N°03261 de fecha 12 de abril del 2013, en el cual expresa que:

*“En base a la evaluación realizada y tomando en cuenta los antecedentes presentados por el titular, este Servicio estima que es pertinente el ingreso al SEIA de la modificación del “Proyecto Caserones”.*

*Es necesario indicar que la justificación técnica de la solicitud emitida por el titular del Proyecto es débil, debido a que la empresa realizó etapas de exploración y prospección para poder identificar la magnitud y vida (26 años) de la faena, operaciones de las cuales se puede extraer mayor información, como por ejemplo la predicción de la generación de drenaje ácido del botadero de estériles.*

*Además, el titular se comprometió en la evaluación ambiental del proyecto a realizar un sistema de tratamiento de drenaje ácido del botadero de estériles, lo que significa que en la etapa de evaluación del EIA existió un análisis de la predicción de generación de drenaje ácido.*

*Dada lo anterior, no es justificable que la empresa indique ahora que no posee la suficiente información como para determinar la calidad de las aguas que se podrían generar en fases posteriores al 7° año de operación del proyecto.”*

4. Atendido los antecedentes presentados por el Titular en su presentación, y los antecedentes expresados en los considerandos anteriores, debe indicarse que la modificación se considera un cambio de consideración al proyecto, susceptible de generar nuevos efectos ambientales adversos, debido a que concurren a su respecto, los presupuestos que se han establecido para ello, los cuales se expresan de la siguiente forma:

4.1 Existencia de un proyecto o actividad, aprobado ambientalmente que debe estar en su etapa de construcción, operación o abandono. Dicho requisito aplica a la especie, por cuanto la DGA, Región de Atacama, ha señalado en su Ord. N°187 de fecha 02 de abril del 2013 que *“según comunicación formal a esta Dirección por parte del Titular de la iniciativa minera, consignada en la carta GG-SCM-MLCC N°023/2013, recepcionada el 14 de marzo de 2013, dicho Proyecto ya habría iniciado su fase de operación, toda vez que, según se informa a través de ese medio, el Titular pone en conocimiento a este Servicio sobre el inicio de su línea hidrometalúrgica con la operación del depósito de lixiviación, lo que en consecuencia, supone previamente el desarrollo del rajo y la correspondiente disposición de material estéril en el botadero de lastre.”*

4.2 Que se pretenda desarrollar determinadas obras, acciones o medidas. Dicho requisito aplica a la especie, por cuanto Ud., ha indicado que el proyecto consiste en el aplazamiento de la medida de diseño y validación de tratamiento pasivo para el drenaje ácido de mina.



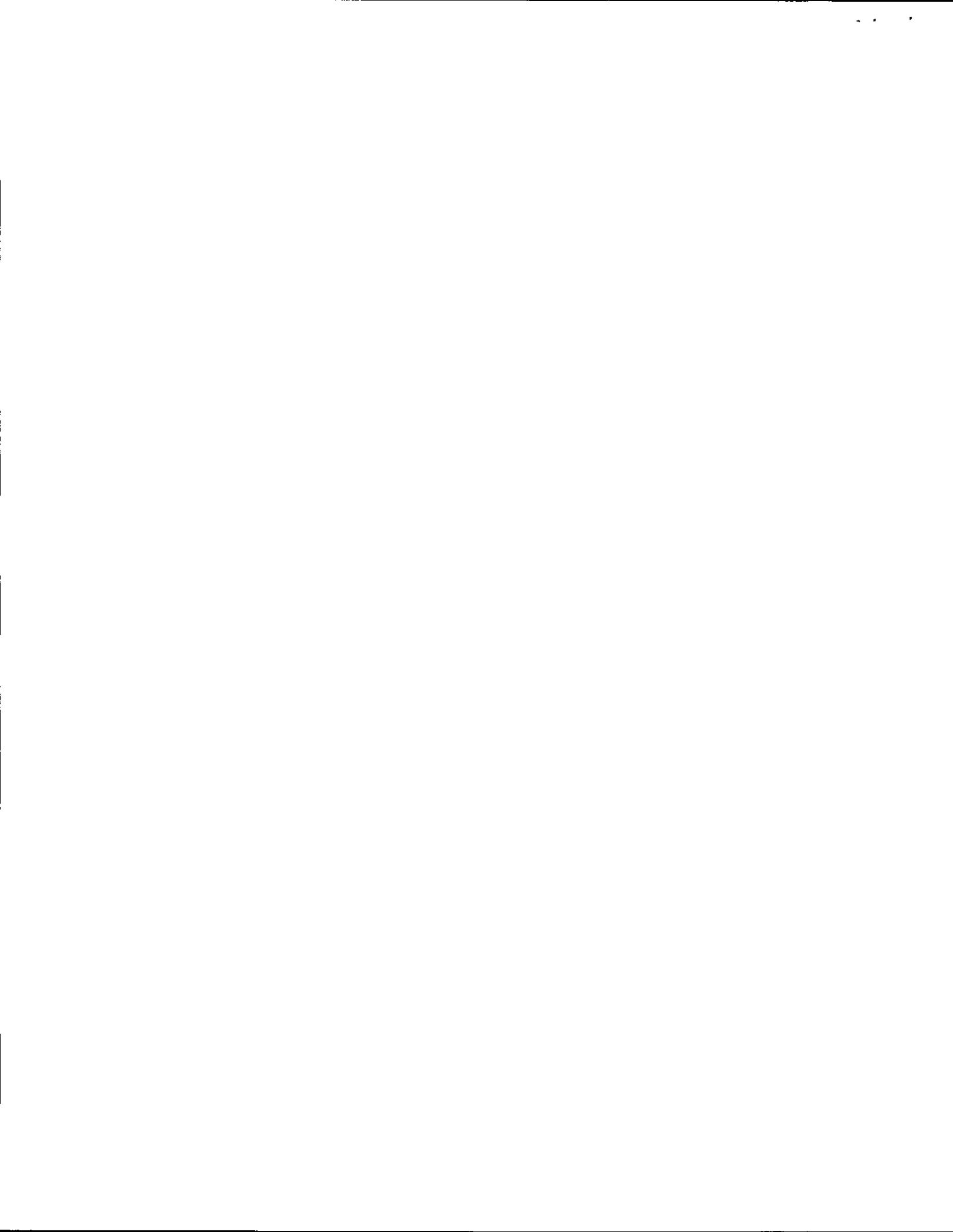
4.3 Que dicha modificación genere “cambios de consideración”. Dicho requisito aplica a la especie, en la siguiente forma, de conformidad a los criterios a aplicar para determinar si esta modificación constituye cambios de consideración:

(i) Si las obras, acciones o medidas tendientes a intervenir o complementar un proyecto o actividad son susceptibles de generar nuevos impactos ambientales adversos. Dicha hipótesis aplica por cuanto la intervención que Usted propone realizar al proyecto original implica aplazar el diseño y validación de una obra que fue comprometida en el proceso de evaluación ambiental del proyecto denominado “**Proyecto Caserones**” siendo plasmada en su respectiva resolución de calificación ambiental (RCA) tal como se informa a continuación.

El Considerando 12 Condiciones y exigencias específicas, numeral 5 señala que *“En lo que se refiere a la calidad y cantidad del recurso hídrico, el Titular del proyecto, en un plazo máximo de 6 meses de notificada la Resolución de Calificación Ambiental, entregará a la COREMA la información que será utilizada para el desarrollo de la ingeniería de Detalles, referida a: antecedentes hidrogeológicos de línea base del área de influencia del proyecto, (levantamiento geofísico de perfiles TEM de alta resolución en los sectores donde se ubicarán los pozos de remediación, pruebas de bombeo individuales de 3 días cada uno y simultáneas en cada conjunto de pozos de remediación por 20 días de duración; en los depósitos de relaves: levantamiento geofísico de perfiles, perfiles de control de recarga de agua subterránea mediante pruebas de bombeo específicas; en relación a los niveles freáticos, levantamiento de información con 10 pozos adicionales de 40-60 m. de los diseños y sistemas de monitoreo y control de infiltraciones. Dichos antecedentes deberán ser validados por la Autoridad Ambiental, previo informe favorable de los órganos competentes de la administración del Estado, y mientras no se emita la respectiva validación favorable el Proyecto no operará. Si la ingeniería de Detalles indicara la necesidad de modificar alguno de los diseños descritos en el EIA, el Titular presentará ante la Autoridad Ambiental la pertinencia de ingreso al SEIA de dichos cambios, y se atenderá al pronunciamiento de dicha Autoridad Ambiental.”*

El Considerando 12 Condiciones y exigencias específicas, numeral 6 señala que *“El sistema de tratamiento pasivo, para el depósito de lastre, se deberá diseñar de acuerdo a los antecedentes hidrogeológicos de la quebrada La Brea, a los que se refiere el numeral 5. El sistema de tratamiento pasivo deberá ser validado por la Autoridad Ambiental, previo informe favorable de los órganos de la administración del Estado competentes, y mientras no se emita la respectiva validación favorable el Proyecto no operará.”*

Cabe destacar que la RCA N°013/2013 establece que el sistema de tratamiento pasivo para el depósito de lastre debía ser diseñado y validado por la Autoridad previo a la ejecución del proyecto, lo cual implicaba una forma de asegurar que cualquier generación de drenajes ácidos sería contenida en la obra proyectada. El no construir dicha obra previo a la operación del proyecto estaría generando un riesgo de contaminación debido a que los resultados entregados por el Titular se han basado en estimaciones que deben ser comprobadas en los respectivos monitoreos.





5. Debido a lo anteriormente expuesto, esta Dirección Regional estima que las actividades descritas por el Titular y analizadas anteriormente, **deben ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental**, sin perjuicio de lo ya expresado, debido a que:

(i) **Contempla incorporar obras, acciones o medidas tendientes a intervenir o complementar un proyecto o actividad ya ejecutado.**

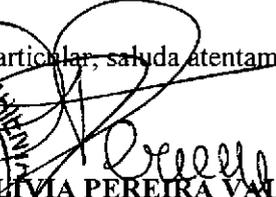
(ii) **Contempla cambios de consideración, ya que, la modificación presentada corresponde a obras, acciones o medidas tendientes a intervenir o complementar un proyecto o actividad que son susceptibles de generar nuevos impactos ambientales adversos.**

6. En el caso que las características de su Proyecto se modifiquen, deberá consultar nuevamente a esta Dirección Regional por la pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

7. El presente pronunciamiento ha sido elaborado sobre la base de los antecedentes proporcionados por el Sr. Nelson Pizarro Contador, Representante Legal de SCM Minera Lumina Copper Chile, a través de carta presentada a la Dirección Regional del Servicio de Evaluación Ambiental de fecha 27.02.13 y cuya veracidad es de su exclusiva responsabilidad.

8. Por constituir el presente pronunciamiento un acto de mero juicio u opinión, y de conformidad a lo instruido por la Dirección Ejecutiva de este Servicio, no procede en su contra recurso administrativo alguno. Lo anterior, no obsta a que el Titular pueda solicitar una reconsideración de la opinión o juicio emitida, a la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental.

Yo, particular, saluda atentamente a Usted,



**OLIVIA PEREIRA VALDÉS**  
Directora Regional (s)  
Servicio de Evaluación Ambiental  
Región de Atacama

~~SN / JES~~

#### DISTRIBUCION

Destinatario

#### Cc

- Superintendencia de Medio Ambiente
- Dirección Regional de la DGA, Región de Atacama
- Dirección Regional de SERNAGEOMIN, Región de Atacama
- Archivo del Proyecto "Proyecto Caserones"
- Archivo Modificaciones de Proyecto



ORD.: **066**

ANT.: Carta MLCC 018/2013 del Titular  
ingresada al SEA el 27.02.2012.

MAT.: Solicita pronunciamiento.

COPIAPO, 05 MAR. 2013

**DE: DIRECTORA REGIONAL (S) SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL  
REGION DE ATACAMA**

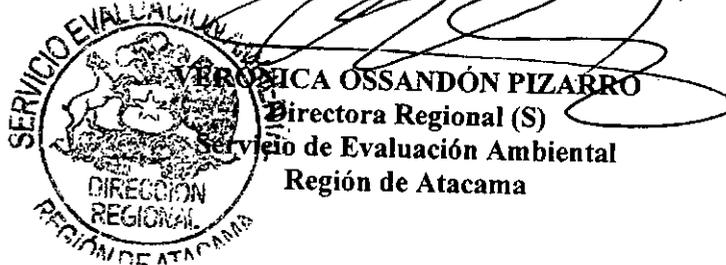
**A : SEGÚN CORRESPONDA**

Por medio del presente, se solicita a su servicio que, en el marco de su competencia, y conforme a los antecedentes que se adjuntan en formato digital, emita un pronunciamiento respecto a consulta efectuada por SCM Minera Lumina Copper Chile, Titular del proyecto minero "Proyecto Caserones" (RCA N°13/2009) sobre extender el plazo para el diseño del sistema de tratamiento pasivo para el depósito de lastre, dicho pronunciamiento debe remitirse a lo siguiente:

- a. Esclarecer si a los cambios le es aplicable normativa ambiental sectorial que pueda tener como consecuencia el ingreso obligatorio al SEIA;
- b. Aclarar el alcance y/o magnitud de los cambios, a efectos de contrastarlo con los criterios o magnitudes del artículo 3° del Reglamento del SEIA (o el que eventualmente lo reemplace);
- c. Esclarecer si los cambios generan nuevos impactos ambientales adversos o alteran negativamente la magnitud de los impactos presentes en la ejecución actual; o
- d. Aclarar si los cambios sólo corresponden a obras, acciones o medidas de mantención o conservación, reparación o rectificación, reconstitución, reposición, o renovación del proyecto o actividad en ejecución.

Dicho pronunciamiento deberá ser remitido antes del día **lunes 18 de marzo del 2013.**

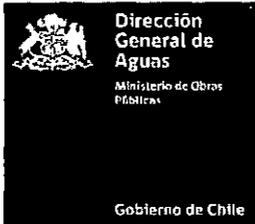
Sin otro particular, saluda atentamente a Usted,



VOP / YML / JES  
DISTRIBUCIÓN

- Sr. Antonio Vargas Riquelme, Director de la DGA, Región de Atacama.
- Sr. Jaime Herrera González, Director de SERNAGEOMIN, Región de Atacama.

Cc:  
 Archivo expedientes SEA Atacama



SERVICIO DE EVALUACION  
AMBIENTAL DE ATACAMA  
FECHA 02 ABR 2013 1146

A J.E.S

ORD.: N° 187.-/

**ANT. :** Ord. D.G.A. Atacama N°164, de 18 de marzo de 2013; Ord. SEA Atacama N°66, de 5 de marzo de 2013.

**MAT. :** Se Pronuncia sobre pertinencia de ingreso al SEIA que indica, asociada a proyecto calificado ambientalmente favorable según RCA COREMA Atacama (Exenta) N°13/2010, Proyecto Caserones.

COPIAPÓ, 02 ABR 2013

**DE: DIRECTOR REGIONAL D.G.A. REGIÓN DE ATACAMA**

**A : DIRECTORA REGIONAL (S) SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL, REGIÓN DE ATACAMA**

Junto con saludarle, me refiero a su requerimiento indicado en el Ord. del **ANT.**, respecto de una solicitud de pronunciamiento de este Servicio sobre la pertinencia de ingreso al SEIA, de una modificación al denominado *Proyecto Caserones*, aprobado ambientalmente mediante RCA COREMA Atacama (Exenta) N°13/2010, cuyo objeto de modificación propuesto por parte de su Titular, **SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE**, corresponde a una extensión del plazo para efectuar el Diseño y Validación que establece el Considerando 12° numeral 6° de la citada RCA, ello en relación al tratamiento pasivo requerido para los drenajes ácidos de roca que eventualmente se generen en el depósito de estériles contemplado en la iniciativa minera. Sobre la materia, me permito informar a Ud. lo siguiente:

1) En el Considerando 7° letra b) de la mencionada RCA, sobre el Sistema de Tratamiento Pasivo, se establece que (Textual) "*En relación al sistema de tratamiento pasivo de drenaje ácido, el Titular señala que, en el anexo 44 de la Adenda 2 se compromete a diseñar un sistema de tratamiento pasivo a futuro sólo si existe presencia de acidez y altas concentraciones de metales pesados, detectados por monitoreo de calidad de aguas.*".

2) Por su parte, en el inciso segundo del mismo Considerando señalado en el numeral 1) anterior, se menciona que, las actividades de desarrollo del sistema de tratamiento en cuestión se iniciarán al comienzo de la fase de operación del Proyecto.

3) Asimismo, en el Considerando 12° numeral 6° de la citada Resolución de Calificación Ambiental, se menciona que (Textual) *"El sistema de tratamiento pasivo, para el depósito de lastre, se deberá diseñar de acuerdo a los antecedentes hidrogeológicos de la quebrada La Brea, a los que se refiere el numeral 5<sup>1</sup>".*

4) En relación a los antecedentes hidrogeológicos a que se refiere el numeral 3) anterior, cabe hacer notar que, de acuerdo a los registros de este Servicio, dichos antecedentes ya han sido elaborados y presentados formalmente por el Titular del proyecto en cuestión, lo cual consta en el Ord. CONAMA Atacama N°949, de 7 de septiembre de 2010 y en el Ord. SEA Atacama N°116, de 3 de marzo de 2011.

5) A su vez, en el ya citado Considerando 12° numeral 6°, también se señala que (Textual) *"El sistema de tratamiento pasivo deberá ser validado por la Auditoría Ambiental, previo informe favorable de los órganos de la administración del Estado, y mientras no se emita la respectiva validación favorable el Proyecto no operará."*

6) Respecto del inicio de operación del proyecto de autos, es pertinente destacar que, según comunicación formal a esta Dirección por parte del Titular de la iniciativa minera, consignada en la carta GG-SCM-MLCC N°023/2013, recepcionada el 14 de marzo de 2013, dicho Proyecto ya habría iniciado su fase de operación, toda vez que, según se informa a través de ese medio, el Titular pone en conocimiento a este Servicio sobre el inicio de su línea hidrometalúrgica con la operación del depósito de lixiviación, lo que en consecuencia, supone previamente el desarrollo del rajo y la correspondiente disposición de material estéril en el botadero de lastre.

7) Atendido a lo indicado en el numeral 6) anterior, y dada la entrada en operación de la Superintendencia de Medio Ambiente a contar del 28 de diciembre de 2012, cuya institución, según establece la Ley N°20.417/2010, que modifica la Ley de Bases del Medio Ambiente, tiene las atribuciones de fiscalizar el permanente cumplimiento de las normas, condiciones y medidas establecidas en las Resoluciones de Calificación Ambiental, sobre la base de las inspecciones, controles, mediciones y análisis que se realicen, de conformidad a lo establecido en esta ley, resulta entonces pertinente informar sobre la materia a la citada Superintendencia.

<sup>1</sup> Numeral 5: *En lo que se refiere a la calidad y cantidad del recurso hídrico, el Titular del proyecto, en un plazo máximo de 6 meses de notificada la Resolución de Calificación Ambiental, entregará a la COREMA la información que será utilizada para el desarrollo de la ingeniería de Detalles, referida a: antecedentes hidrogeológicos de línea base del área de influencia del proyecto, (levantamiento geofísico de perfiles TEM de alta resolución en los sectores donde se ubicarán los pozos de remediación, pruebas de bombeo individuales de 3 días cada uno y simultáneas en cada conjunto de pozos de remediación por 20 días de duración; en los depósitos de relaves: levantamiento geofísico de perfiles, perfiles de control de recarga de agua subterránea mediante pruebas de bombeo específicas; en relación a los niveles freáticos, levantamiento de información con 10 pozos adicionales de 40-60 m. de los diseños y sistemas de monitoreo y control de infiltraciones.*

8) Por su parte, cabe subrayar al respecto que, el cumplimiento del Titular en relación a contar con el diseño y la correspondiente validación técnica del sistema de tratamiento en cuestión, previo inicio de la operación del proyecto minero, corresponde a una obligación que forma parte de las condiciones específicas establecidas en la respectiva RCA, y que fueran por cierto impuestas al Proyecto como condicionantes a la aprobación ambiental, y por lo tanto, sobre ellas recae la absoluta obligatoriedad de cumplimiento. Así entonces, cualquier modificación a su contenido y/o forma, debe estar sujeto a una evaluación ambiental a través del proceso formal que rige la materia, esto es, el SEIA.

9) A mayor abundamiento, resulta pertinente mencionar además que, el Titular en su presentación de pertinencia acompaña el estudio denominado *Predicción del Drenaje del Botadero de Caserones Durante los Primeros 7 años de Operación (Amphos 21, 2012)*, el cual, en base a estimaciones teóricas concluye que durante los primeros 7 años de operación del Proyecto, los botaderos de lastres no generarán drenaje ácido de mina. Del mismo modo, y para los efectos de considerar como no significativo el cambio propuesto a su Proyecto aprobado ambientalmente, el Titular en su presentación de pertinencia argumenta la insuficiencia de antecedentes para los efectos de determinar en detalle la calidad de las aguas que se podrían generar en fases posteriores al año 7 de operación y con ello dimensionar la instalación de tratamiento.

Dicho ello, es que este Servicio estima que existe una falta de coherencia entre, la absoluta validez técnica depositada por el Titular al comentado Estudio, y precisamente, su justificación de falta de antecedentes atendida a la necesidad de realizar una serie de pruebas para los efectos de diseñar el citado sistema de tratamiento. Es decir, si bien el Titular pudo teorizar respecto de la cuantificación en la generación de aguas ácidas durante el período de 7 años de operación del proyecto sin contar con información empírica, bien puede también efectuar una estimación del tipo de instalación y sus características para los efectos de contar con un sistema que trate los drenajes de mina acidificados.

Asimismo, también es importante hacer presente que, lo anterior es sin perjuicio de la realización de las variadas actividades de muestreo, análisis y simulación proyectadas por el Titular conducentes a la determinación del diseño óptimo del sistema de tratamiento en cuestión, pues evidentemente, en la medida que se va desarrollando el botadero de estériles será factible contar con mayor y mejor información sobre su dinámica y caracterización, dado que se conocerá de manera más acabada el modelo de bloques de la mina, las cantidades de material estéril dispuesto y su forma de disposición, su caracterización mineralógica, la cantidad y la calidad de las aguas que interactúan con el depósito, entre otros aspectos, todos los cuales dicen relación con la evolución de los mecanismos y etapas del proceso de drenaje ácido; pero que sin embargo, de acuerdo a la información disponible y a la utilización de condiciones de borde conservadoras al caso, permitan contar desde ya con un diseño para tratar los efluentes generados.

10) Por otra parte, resulta fundamental destacar la importancia de este Diseño, pues si bien la RCA contempla la implementación de éste solo en el caso que a través del monitoreo se evidencie la presencia de acidez y altas concentraciones de metales pesados, no es menos cierto que, las conclusiones del Estudio de predicción de drenajes ácidos antes citado deben ser comprobadas en la medida que el botadero se encuentre en operación. Así, mientras transcurren los 3 años adicionales solicitados por el Titular mediante su presentación de pertinencia, bien existe la posibilidad que exista una variabilidad importante respecto de esa predicción, no pudiendo así el Titular asumir con un completo nivel de confianza dichos resultados. Por lo tanto, partiendo del supuesto de que es necesaria la implementación del sistema de tratamiento, conceptualmente el Titular debiera diseñar una instalación que al menos considere, una ágil habilitación, que disponga de capacidad instalada suficiente, de gran eficacia y rendimiento, destino del efluente tratado, que cuente con mecanismos de control y verificación de parámetros que permitan evaluar su desempeño, entre otros.

11) Finalmente, a la luz de lo expuesto en el presente documento, este Servicio estima que no resulta adecuada una modificación del plazo a que se refiere la pertinencia presentada por parte del Titular del proyecto denominado *Proyecto Caserones*, toda vez que, la exigencia de Diseño y Verificación del Sistema de Tratamiento Pasivo que establece la correspondiente RCA debe ser cumplida a cabalidad, y que en caso de estar sujeta a un cambio como el propuesto, necesariamente requiere su ingreso al SEIA.

Saluda atentamente a Ud.,



**ANTONIO VARGAS RIQUELME**  
 Director Regional  
 Dirección General de Aguas  
 Región de Atacama

AVR/DAV/jpa

**DISTRIBUCIÓN:**

- Destinatario
- Superintendencia de Medio Ambiente
- Archivo E.I.A. *Proyecto Caserones*. Unidad de Fiscalización y Medio Ambiente, D.G.A. Región de Atacama.
- Archivo Unidad de Fiscalización y Medio Ambiente D.G.A. Región de Atacama
- Archivo Oficina de Partes D.G.A. Región de Atacama

Nº Proceso SSD: 6442838 -/-





ORD. : N°

ANT. : 1.- Oficio del SEA N° 066 de fecha 05 de marzo del 2013.

2.- Correo Electrónico de fecha 01 de abril del 2013.

MAT. : Responde respecto a pertinencia de Ingreso al SEIA de la modificación del proyecto "Caserones".

COPIAPO, 12 Abr 2013

\*\*\*\*\*

A : SRA. OLIVIA PEREIRA VALDÉS DIRECTORA REGIONAL (S) SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL REGIÓN ATACAMA

DE : SR. JAIME HERRERA GONZALEZ DIRECTOR REGIONAL SERNAGEOMIN REGION DE ATACAMA

1.- Informamos a usted que se analizó el documento del antecedente N° 1, respecto a la solicitud de la empresa SCM Lumina Copper Chile para la modificación del "Proyecto Caserones".

2.- En base a la evaluación realizada y tomando en cuenta los antecedentes presentados por el titular, este Servicio estima que es pertinente el ingreso al SEIA de la modificación del "Proyecto Caserones".

Es necesario indicar que la justificación técnica de la solicitud emitida por el titular del Proyecto es débil, debido a que la empresa realizó etapas de exploración y prospección para poder identificar la magnitud y vida útil (26 años) de la faena, operaciones de las cuales se puede extraer mayor información, como por ejemplo la predicción de la generación de drenaje ácido del botadero de estériles.

Además, el titular se comprometió en la evaluación ambiental del proyecto a realizar un sistema de tratamiento de drenaje ácido del botadero de estériles, lo que significa que en la etapa de evaluación del EIA existió un análisis de la predicción de generación de drenaje ácido.

Dado lo anterior, no es justificable que la empresa indique ahora que no posee la suficiente información como para determinar la calidad de las aguas que se podrían generar en fases posteriores al 7° año de operación del proyecto.

Saluda atentamente a Ud.,

Handwritten signature of Jaime Herrera Gonzalez

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA DIRECTOR REGIONAL JAIME HERRERA GONZALEZ DIRECTOR REGIONAL SERNAGEOMIN REGIÓN DE ATACAMA

PPS/pps.- DISTRIBUCION

- 1.- Servicio de Evaluación Ambiental, Región de Atacama
2.- Gestión Ambiental Regional
3.- Archivo Regional General
4.- Carpeta Empresa



03261

ORD. : N°

SERVICIO DE EVALUACION AMBIENTAL DE ATACAMA  
FECHA 17 ABR 2013 1307

ANT. : 1.- Oficio del SEA N° 066 de fecha 05 de marzo del 2013.  
2.- Correo Electrónico de fecha 01 de abril del 2013.

A JES

MAT. : Responde respecto a pertinencia de ingreso al SEIA de la modificación del proyecto "Caserones".

COPIAPO, 12 de 2013  
\*\*\*\*\*

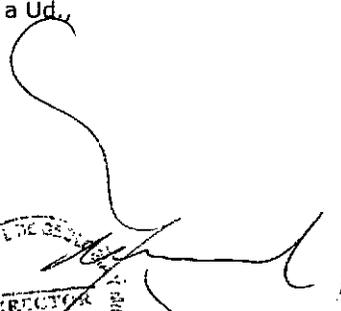
**A : SRA. OLIVIA PEREIRA VALDÉS  
DIRECTORA REGIONAL (S)  
SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL  
REGIÓN ATACAMA**

**DE : SR. JAIME HERRERA GONZALEZ  
DIRECTOR REGIONAL SERNAGEOMIN  
REGION DE ATACAMA**

1.- Informamos a usted que se analizó el documento del antecedente N° 1, respecto a la solicitud de la empresa SCM Lumina Copper Chile para la modificación del "Proyecto Caserones".

2.- En base a la evaluación realizada y tomando en cuenta los antecedentes presentados por el titular, este Servicio estima que es pertinente el ingreso al SEIA de la modificación del "Proyecto Caserones".  
Es necesario indicar que la justificación técnica de la solicitud emitida por el titular del Proyecto es débil, debido a que la empresa realizó etapas de exploración y prospección para poder identificar la magnitud y vida útil (26 años) de la faena, operaciones de las cuales se puede extraer mayor información, como por ejemplo la predicción de la generación de drenaje ácido del botadero de estériles.  
Además, el titular se comprometió en la evaluación ambiental del proyecto a realizar un sistema de tratamiento de drenaje ácido del botadero de estériles, lo que significa que en la etapa de evaluación del EIA existió un análisis de la predicción de generación de drenaje ácido.  
Dado lo anterior, no es justificable que la empresa indique ahora que no posee la suficiente información como para determinar la calidad de las aguas que se podrían generar en fases posteriores al 7° año de operación del proyecto.

Saluda atentamente a Ud.,

  
**JAI ME HERRERA GONZALEZ  
DIRECTOR REGIONAL SERNAGEOMIN  
REGIÓN DE ATACAMA**

PPS/pps.-  
DISTRIBUCION

- 1.- Servicio de Evaluación Ambiental, Región de Atacama
- 2.- Gestión Ambiental Regional
- 3.- Archivo Regional General
- 4.- Carpeta Empresa

Santiago, 21 de febrero de 2013  
**MLCC 018/ 2013**

Señora  
Olivia Pereira Valdés  
Directora (S)  
Servicio de Evaluación Ambiental, III Región de Atacama  
Yerbas Buenas 295  
Copiapó  
Presente

SERVICIO DE EVALUACION  
AMBIENTAL DE ATACAMA  
FECHA 27 FEB 2013 704  
A SES

Ref.: Solicita ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el Drenaje Acido de Mina, conforme a lo dispuesto en la Resolución Exenta N° 013/2010, de la COREMA de la III Región de Atacama.

De mi consideración:

Como es de su conocimiento, mediante Resolución Exenta N° 013, de fecha 13 de enero de 2009 (en adelante la "RCA"), de la COREMA Región de Atacama, fue calificado ambientalmente en forma favorable el proyecto minero "Caserones" (en adelante el "Proyecto"), de SCM Minera Lumina Copper Chile (SCMMLCC).

Específicamente, el numeral 6 del Considerando 12 de la RCA del proyecto Caserones establece la condición/exigencia específica que dispone lo siguiente:

*"El sistema de tratamiento pasivo, para el depósito de lastre, se deberá diseñar de acuerdo a los antecedentes hidrogeológicos de la quebrada La Brea, a los que se refiere el numeral 5. El sistema de tratamiento pasivo deberá ser validado por la Autoridad Ambiental, previo informe favorable de los órganos de la administración del Estado competentes, y mientras no se emita la respectiva validación favorable el Proyecto no operará".*

El presente documento tiene como finalidad solicitar a usted una extensión del plazo indicado precedentemente, fundamentándose en lo siguiente:

- (i) SCM Minera Lumina Copper Chile ha ejecutado análisis geológicos, hidrológicos e hidrogeoquímicos, considerando las características geoquímicas e hidráulicas del botadero

de lastre y el crecimiento en base anual del mismo, para las etapas correspondientes la primera fase del botadero (primeros 7 años de operación) aprobado por RCA N°013/2010, orientados a obtener la información necesaria para el diseño del tratamiento pasivo de Drenaje Acido de Mina (DAM), que se necesitaría para esta etapa del proyecto. Esto incluyó la investigación de los antecedentes hidrogeológicos de la quebrada La Brea, indicados en el numeral 5 del Considerando 12 de la RCA.

- (ii) Los resultados de los análisis realizados permiten concluir que los materiales a disponer en los botaderos de lastre no generarán DAM durante los primeros 7 años de operación.
- (iii) Considerando lo indicado en (i) y (ii), los antecedentes con los que se cuentan hoy en día no son suficientes para determinar con precisión la calidad de las aguas ácidas que se podrían generar en fases posteriores al año 7 de operación, y por lo tanto, no se cuenta con conocimiento de los parámetros de diseño que se requerirán para un eventual tratamiento pasivo a un horizonte de largo plazo.
- (iv) Para establecer los parámetros de diseño se deben realizar ensayos de mayor duración, que permita establecer con una precisión mayor qué calidad de agua ácida se generará en el largo plazo.

Es decir, no es posible para SCMLCC cumplir lo comprometido en el plazo otorgado, ya que los valores obtenidos para la calidad de agua que existirá aguas abajo del dump leach indican que, sin tratamiento, estos estarán cumpliendo la norma. De esta manera no existe el input necesario para que los ingenieros diseñen un sistema de tratamiento que sea válido para la operación y cierre del depósito de lastre.

Para su mejor resolver, se adjunta un análisis de pertinencia preparado por nuestra consultora ambiental, el que concluye que no se requiere ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental por este cambio (ver documento Anexo).

El plazo adicional solicitado por SCMLCC es de tres años, tiempo que será utilizado para evaluar el potencial de drenaje ácido a largo plazo y de manera más precisa, lo que se reflejará un diseño más adecuado para el sistema de tratamiento pasivo del Drenaje Acido que se generará en el depósito de lastre.

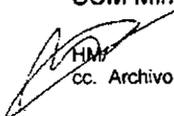
**Por tanto**, en mérito de lo expuesto y en consideración de los inconvenientes aludidos en esta presentación que imposibilitan dar cumplimiento al diseño y validación del sistema de tratamiento de aguas ácidas provenientes del depósito de lastre dentro del plazo comprometido, ruego se sirva tener por presentada la solicitud de ampliación de plazo

señalado en el numeral 6 del Considerando N° 12 de la Resolución Exenta N° 013/2010, dictada por la Comisión Regional del Medio Ambiente de la III Región de Atacama, antes singularizada, y acogiéndola a tramitación, disponga la ampliación del mismo en los términos solicitados.

Saluda atentamente al señor Presidente de la Comisión de Evaluación Ambiental,



**Nelson Pizarro Contador**  
Vicepresidente y Gerente General  
SCM Minera Lumina Copper Chile



HM  
cc. Archivo

Adj.: Análisis de Pertinencia Ingreso al SEIA "Ampliación del plazo para la construcción de la vía multipropósito"



ORD.: N° 000074/

ANT.: Carta MLCC 003/2012 recibida por la Dirección Regional del SEA el 29/02/2012.

MAT.: Envía Informes de Estudios Hidrogeológicos complementarios.

COPIAPO. 09 MAR. 2012

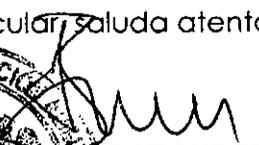
**DE : DIRECCIÓN REGIONAL SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL  
REGIÓN DE ATACAMA**

**A : DIRECTOR REGIONAL, DGA, REGIÓN DE ATACAMA  
SR. ANTONIO VARGAS RIQUELME**

Junto con saludarle, y en el marco del cumplimiento del considerando 11, punto 5, sobre las Condiciones o Exigencias específicas al proyecto denominado "**Proyecto Caserones**" calificado ambientalmente favorable a través de Resolución Exenta N°13 del 13 de enero de 2010 de la COREMA, Región de Atacama, me permito enviar a Usted documento digital con la respuesta preparada por el Titular a las observaciones enviadas por su servicio a través del Ord. N°762 de fecha 23 de junio del 2011, a los informes denominados "**Estudios Hidrogeológicos Complementarios - Control Infiltraciones - Depósito de Lamas Quebrada La Brea**" Revisión A y "**Estudios Hidrogeológicos Complementarios - Control Infiltraciones - Depósito de Arenas Quebrada Caserones**", Revisión A, ambos de Enero 2011.

Al respecto se solicita enviar un pronunciamiento sectorial a dicha respuesta en un plazo no mayor al día 09 de abril de 2012.

Sin otro particular, saluda atentamente a Ud.

  
**JOSE TOMAS BARRUETO SOTOMAYOR  
DIRECTOR REGIONAL  
SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL  
REGIÓN DE ATACAMA**

*COPIA*

Adj: Informes del Programa de Monitoreo Marino 1 (copia digital)

**DISTRIBUCION**

- Dirección General de Aguas  
C/c
- Archivo SEA Atacama
- Expediente del proyecto



SERVICIO DE EVALUACION  
AMBIENTAL DE ATACAMA  
FECHA 13 DIC 2011 5533



A Jorge

Santiago, 12 de diciembre de 2011  
MLCC 149/ 2011

Señor  
José Tomás Barrueto Sotomayor  
Director Regional  
Servicio de Evaluación Ambiental Atacama  
Presente

Ref.: Solicita ampliación de plazo para responder adecuadamente a la Carta N° 1337 de fecha 30 de noviembre de 2011 del SEA Región de Atacama.

De mi consideración:

A través de la presente comunico a usted que para responder adecuadamente su Carta N° 1337/11, que envía observaciones a los estudios hidrogeológicos del "Proyecto Caserones", se requiere de mayor tiempo que el otorgado. En consecuencia, solicito a usted ampliar el plazo otorgado hasta el 06 de enero de 2011.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,

**Nelson Pizarro Contador**  
Representante Legal  
SCM Minera Lumina Copper Chile

HM/  
cc. Archivo

Avda. Andrés Bello 2687 Piso 4 / TEL: (56 - 2) 432 2500 / FAX: (56 - 2) 432 2600  
Las Condes - Santiago - Chile

Colipi 885 / TEL: (56 - 52) 236 258 / (56 - 52) 545 201  
Copiapó - Región de Atacama - Chile



Carta: **1337**

ANT.: Carta MLCC 060/2011 recibida por la Dirección Regional del SEA el 25.03.2011.

MAT.: Envía observaciones a los estudios hidrogeológicos del "Proyecto Caserones".

COPIAPO, 30 NOV 2011

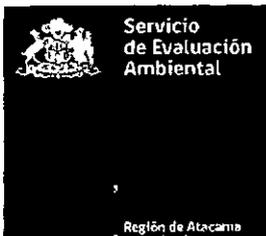
Señor  
Nelson Pizarro Contador  
Representante Legal, Minera Lumina Copper Chile S.A.  
Av. Andrés Bello N°2687, Piso 4  
**Las Condes**

Junto con saludarle, y en el marco del cumplimiento del Considerando 11, punto 5, sobre las Condiciones o Exigencias específicas al proyecto denominado "**Proyecto Caserones**" calificado ambientalmente favorable a través de Resolución Exenta N°13 del 13 de enero de 2010 de la COREMA, Región de Atacama, me permito enviar a Usted las observaciones de la Dirección General de Aguas, Región de Atacama presentadas a través del Ord. N°762 de fecha 23 de junio del 2011, a los informes denominados "**Estudios Hidrogeológicos complementarios – Control Infiltraciones – Depósito de Lamas Quebrada La Brea**" Revisión A y "**Estudios Hidrogeológicos Complementarios – Control Infiltraciones – Depósito de Arenas Quebrada Caserones**", Revisión A, ambos de Enero 2011.

a) **"Estudios Hidrogeológicos complementarios – Control Infiltraciones – Depósito de Lamas Quebrada La Brea"**

Cabe hacer presente que, de la revisión del Estudio en cuestión, no se observa de manera explícita de qué forma se han recogido las observaciones de la Dirección General de Aguas, Región de Atacama, a la versión anterior de dicho documento, planteadas a través del Ord. D.G.A. N° 759 de 4 de noviembre de 2010.

Al respecto, y con sumo interés, se releva lo indicado en la observación N° 3 del oficio antes individualizado, en la cual se precisa lo que indica el Considerando 9 de la respectiva RCA: "*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." Sobre ello, me permito hacer presente que, a la fecha, dicho sistema no ha sido presentado por el titular a la Dirección General de Aguas Región de Atacama. Lo anterior, aplicable tanto al sistema de monitoreo asociado a la Quebrada La Brea como al de Quebrada Caserones.*

En relación al Plan de Seguimiento en cuestión, me permito señalar a continuación los aspectos que al menos deberá considerar dicho Plan:

- a) Cartografía con distribución geo-referenciada de pozos de remediación y pozos de observación, que incluya leyenda hidrogeológica, y emplazamiento de obras (Depósito de Lamas, Depósito de Arenas, muros cortafugas, y otras relacionadas);
- b) Caracterización detallada de construcción de cada sondaje, que incluya profundidad de perforación y medio acuífero respectivo, profundidad de ubicación de la bomba, perfil de entubado ranurado/ciego;
- c) Caracterización acotada del medio hidrogeológico de interés (Quebrada La Brea hasta la confluencia con Río Ramadillas);
- d) Caracterización detallada del sistema de bombeo instalado para cada uno de los sondajes de remediación, y su correspondiente programa de mantención;
- e) Caracterización detallada del sistema de control de extracciones de cada pozo de remediación, y su correspondiente programa de mantención;
- f) Identificación de las correspondientes autorizaciones de extracción asociadas a cada uno de los pozos de remediación;
- g) Caracterización detallada del sistema de monitoreo de niveles de agua de cada pozo, y su correspondiente programa de mantención;
- h) Caracterización detallada del sistema de monitoreo de calidad de aguas en cada uno de los pozos, y su correspondiente programa de mantención;
- i) Descripción detallada de las obras de captación y conducción de todo el sistema asociado a la barrera hidráulica, y su correspondiente programa de mantención, incluyendo la caracterización de emplazamiento del muro cortafuga;
- j) Registro histórico de calidad natural y niveles de agua para cada uno de los sondajes, con lista corta y larga de parámetros para el caso de calidad de aguas;
- k) Definición detallada de procedimientos de acción frente a eventos de infiltraciones, que incluya orgánica de funciones internas;
- l) Definición de estructura de reportes periódicos, que incluya frecuencia de entrega a Servicios competentes, el que deberá considerar análisis precisos de la información disponible, conclusiones y recomendaciones en los casos que corresponda, el que deberá ser entregado en formato físico y digital con todas sus bases de datos abiertas;

Por otra parte, otro aspecto también solicitado de la revisión anterior y que no ha sido considerado en esta versión del documento, requerido en particular en la observación N°6 del mismo Oficio, se relaciona con la presentación de una copia fiel e íntegra del



Modelo Numérico asociado al sistema de la Quebrada La Brea, incluyendo sus respectivas bases de datos y salidas, en una versión de Modflow estándar para su correcta visualización y reproducción. Por lo anterior, se solicita al titular presente tal modelo.

En relación a lo indicado en el Considerando 3.2.12 de la RCA que aprobó ambientalmente el proyecto en cuestión, se establece que, en caso que infiltraciones escurran por debajo de la zanja cortafugas que se encuentra aguas abajo del muro del depósito de lamas, éstas serán detectadas en los pozos de monitoreo y captadas por los pozos de remediación. Agrega al respecto que, lo anterior se describe en el Anexo 43 del Adenda N°2. Así, en dicho Anexo, denominado Modelo Remediación, en sus conclusiones, se establece que la salida del modelo indica que aproximadamente a los 10.000 días la remoción de contaminante es de 30.000 kg, lo que equivale aproximadamente al 95% de la masa que entra al acuífero.

Asimismo, en el Considerando 7.1 de la misma RCA, se establece que, asociado a la operación del Depósito de Lamas se considera disponer de 5 pozos de remediación en la Quebrada Brea, a partir de los cuales para remediar con una eficiencia sobre el 96,8% se requiere contar con una capacidad de bombeo de 20 litros por segundo.

Sobre lo anterior, en el presente Estudio, en su numeral 6.4.4., se describen los resultados obtenidos para los 5 escenarios propuestos sobre la ocurrencia de una eventual infiltración bajo el muro cortafuga, indicando las concentraciones máximas generadas en una serie de líneas de control transversal, e intentando ilustrar a partir de las Figuras 6-13 a la 6-17 la evolución en el tiempo de estas concentraciones en cada línea. No obstante ello, en estas gráficas no se logra comprender con suficiente claridad, ni tampoco se explica en mayor detalle en el respectivo capítulo, qué ocurre con estas concentraciones en el tiempo. Así, se solicita al titular que, con los antecedentes recabados y analizados en el presente Estudio, describa de manera más explícita cómo evoluciona una eventual traza contaminante en términos del tiempo en que ésta permanece en el medio acuífero y cómo además se relacionan los actuales resultados obtenidos de la simulación de transporte de contaminante con los presentados durante el proceso de evaluación ambiental, de manera de mejor sustentar las conclusiones del presente estudio que dicen relación con que ante un episodio de infiltración simulada durante 1 a 3 años, el bombeo en la barrera hidráulica permite cumplir el objetivo de mantener las condiciones naturales del sistema, y que una barrera conformada por dos pozos de extracción permite cumplir con el objetivo de cero contaminación.

**b) Estudios Hidrogeológicos Complementarios – Control Infiltraciones – Depósito de Arenas Quebrada Caserones**

Respecto del Modelo Numérico asociado al sistema de la Quebrada Caserones, se solicita al titular presentar una copia fiel e íntegra de dicho Modelo, incluyendo sus respectivas bases de datos y salidas, en una versión de Modflow estándar para su correcta visualización y reproducción.

En el Considerando 7.1 de la misma RCA, se establece que, asociado a la operación del Depósito de Arena se considera disponer de 5 pozos de remediación en la Quebrada Caserones, a partir de los cuales, para remediar con una eficiencia sobre el 96,8%, se requiere contar con un caudal de extracción aproximado de 28 litros por segundo. Por otra parte, en el presente Estudio, en su numeral 6.4.3., sobre Escenarios de Simulación, se indica que los caudales simulados de extracción para todos los escenarios corresponden a 2 litros por segundo a partir de 2 pozos de remediación. Al respecto, se solicita al titular que justifique la gran diferencia de resultados observados entre los presentados durante el proceso de evaluación ambiental y los que ahora se presentan, es decir, de 28 a 2 litros por segundo como caudal de extracción a remediar, así como el número de pozos de remediación de 5 a 2.

Asimismo, en el presente Estudio, en su numeral 6.4.4., se describen los resultados obtenidos para los 4 escenarios propuestos sobre la ocurrencia de una eventual infiltración bajo el muro cortafuga, indicando las concentraciones máximas generadas en una serie de líneas de control transversal, e intentando ilustrar a partir de las Figuras 6-13 a la 6-16 la evolución en el tiempo de estas concentraciones en cada línea. No obstante ello, en estas gráficas no se logra comprender con suficiente claridad, ni tampoco se explica en mayor detalle en el respectivo capítulo, qué ocurre con estas concentraciones en el tiempo. Sobre ello, se solicita al titular que, con los antecedentes recabados y analizados en el presente Estudio describa de manera más explícita cómo evoluciona una eventual traza contaminante en términos del tiempo en que ésta permanece en el medio acuífero, ello de manera de mejor sustentar las conclusiones del presente estudio que dicen relación con que ante un episodio de infiltración simulada durante 1 a 3 años, el bombeo en la barrera hidráulica permite cumplir el objetivo de mantener las condiciones naturales del sistema, y que una barrera conformada por dos pozos de extracción permite cumplir con el objetivo de cero contaminación.

Sobre el Plan de Seguimiento a que se refiere el Considerando 9 de la respectiva RCA, éste deberá contener los mismos aspectos señalados anteriormente para el caso de Quebrada La Brea.

Finalmente, cabe señalar lo indicado en el Considerando 12.1.5. de la respectiva RCA, que establece que, *“En lo que se refiere a la cantidad del recurso hídrico, el Titular del*



proyecto, en un plazo máximo de 6 meses de notificada la Resolución de Calificación Ambiental, entregará a la COREMA la información que será utilizada para el desarrollo de la ingeniería de Detalles, referida a: antecedentes hidrogeológicos de línea base del área de influencia del proyecto... Dichos antecedentes deberán ser validados por la Autoridad Ambiental, previo informe favorable de los órganos competentes de la administración del Estado." Sobre dichos antecedentes complementarios, cabe indicar que estos son los documentos objeto de la presente revisión. Al respecto, si bien el titular durante el proceso de evaluación ambiental presentó antecedentes sobre sus planes de remediación asociados al área de influencia de su proyecto (Anexo N° 43, Adenda N° 2, para el Depósito de Lamas y Anexo N° 24, Adenda N° 3, para el Depósito de Arenas), cabe hacer presente que, estos nuevos antecedentes establecen ajustes y actualizaciones finas a dichos planes, por lo que sus resultados resultan vinculantes a las condiciones establecidas en la correspondiente RCA en cuanto al respectivo Plan de Remediación."

Por lo anterior, solicito a Ud. acoger y dar respuesta a las observaciones realizadas de la Dirección General de Aguas, Región de Atacama, en un plazo no mayor al día 15 de diciembre del 2011.

Sin otro particular, saluda atentamente a Usted,

  
  
JOSE TOMAS BARRUETO SOTOMAYOR  
DIRECTOR REGIONAL  
SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL  
REGIÓN DE ATACAMA

MOP / JES

DISTRIBUCION:

- > Destinatario.
- > Archivo Proyecto "Proyecto Caserones".



SERVICIO DE EVALUACION  
AMBIENTAL DE ATACAMA  
FECHA 2 NOV 2011 5:06

ORD.: N° 762/

ANT.: Ord. D.G.A. Atacama N° 325 de 15 de abril de 2011; Ord. SEA Atacama N° 116 de 30 de marzo de 2011.

MAT.: Pronunciamiento N° 2 sobre Informes Complementarios sobre la hidrogeología Quebrada Caserones y La Brea, E.I.A Proyecto Caserones.

COPIAPÓ, 22 NOV 2011

**DE: DIRECTOR REGIONAL D.G.A. REGIÓN DE ATACAMA**

**A : DIRECTOR REGIONAL SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL REGIÓN DE ATACAMA**

Junto con saludarle, en relación a su documento del **ANT.**, a través del cual Ud. requirió un pronunciamiento de este Servicio sobre informes complementarios asociados al Estudio de Impacto Ambiental (E.I.A.) del proyecto denominado *Proyecto Caserones*, aprobado ambientalmente mediante RCA COREMA Atacama N° 13/2010, referidos estos en particular a: *Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control de Filtraciones Depósito de Lamas Quebrada La Brea Revisión A (SRK Consulting, Enero 2011)*, en adelante Estudio Quebrada La Brea, y *Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control de Filtraciones Depósito de Arenas Quebrada Caserones Revisión A (SRK Consulting, Enero 2011)*, en adelante Estudio Quebrada Caserones, cumpla con informar a Ud. a través del presente, las siguientes observaciones sobre los informes individualizados.

Estudio Quebrada La Brea

Cabe hacer presente que, de la revisión del Estudio en cuestión, no se observa de manera explícita de qué forma se han recogido las observaciones de este Servicio a la versión anterior de dicho documento, planteadas a través del Ord. D.G.A. N° 759 de 4 de noviembre de 2010.

Al respecto, y con sumo interés, se releva lo indicado en la observación N° 3 del oficio antes individualizado, en la cual se precisa lo que indica el Considerando 9 de la respectiva RCA: *"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." Sobre ello, me permito hacer presente que, a la fecha, dicho sistema no ha sido presentado por el titular a la Dirección General de Aguas Región de Atacama. Lo anterior, aplicable tanto al sistema de monitoreo asociado a la Quebrada La Brea como al de Quebrada Caserones.*

En relación al Plan de Seguimiento en cuestión, me permito señalar a continuación los aspectos que al menos deberá considerar dicho Plan:

- a) Cartografía con distribución georeferenciada de pozos de remediación y pozos de observación, que incluya leyenda hidrogeológica, y emplazamiento de obras (Depósito de Lamas, Depósito de Arenas, muros cortafugas, y otras relacionadas);
- b) Caracterización detallada de construcción de cada sondaje, que incluya profundidad de perforación y medio acuífero respectivo, profundidad de ubicación de la bomba, perfil de entubado ranurado/ciego;
- c) Caracterización acotada del medio hidrogeológico de interés (Quebrada La Brea hasta la confluencia con Río Ramadillas);
- d) Caracterización detallada del sistema de bombeo instalado para cada uno de los sondajes de remediación, y su correspondiente programa de mantención;
- e) Caracterización detallada del sistema de control de extracciones de cada pozo de remediación, y su correspondiente programa de mantención;
- f) Identificación de las correspondientes autorizaciones de extracción asociadas a cada uno de los pozos de remediación;
- g) Caracterización detallada del sistema de monitoreo de niveles de agua de cada pozo, y su correspondiente programa de mantención;
- h) Caracterización detallada del sistema de monitoreo de calidad de aguas en cada uno de los pozos, y su correspondiente programa de mantención;
- i) Descripción detallada de las obras de captación y conducción de todo el sistema asociado a la barrera hidráulica, y su correspondiente programa de mantención, incluyendo la caracterización de emplazamiento del muro cortafuga;
- j) Registro histórico de calidad natural y niveles de agua para cada uno de los sondajes, con lista corta y larga de parámetros para el caso de calidad de aguas;
- k) Definición detallada de procedimientos de acción frente a eventos de infiltraciones, que incluya orgánica de funciones internas;
- l) Definición de estructura de reportes periódicos, que incluya frecuencia de entrega a Servicios competentes, el que deberá considerar análisis precisos de la información disponible, conclusiones y recomendaciones en los casos que corresponda, el que deberá ser entregado en formato físico y digital con todas sus bases de datos abiertas;

Por otra parte, otro aspecto también solicitado de la revisión anterior y que no ha sido considerado en esta versión del documento, requerido en particular en la observación N° 6 del mismo Oficio, se relaciona con la presentación de una copia fiel e íntegra del Modelo Numérico asociado al sistema de la Quebrada La Brea, incluyendo sus respectivas bases de datos y salidas, en una versión de Modflow estándar para su correcta visualización y reproducción. Por lo anterior, se solicita al titular presente tal modelo.

En relación a lo indicado en el Considerando 3.2.12 de la RCA que aprobó ambientalmente el proyecto en cuestión, se establece que, en caso que infiltraciones escurran por debajo de la zanja cortafugas que se encuentra aguas abajo del muro del depósito de lamas, éstas serán detectadas en los pozos de monitoreo y captadas por los pozos de remediación. Agrega al respecto que, lo anterior se describe en el Anexo 43 de la Adenda N°2. Así, en dicho Anexo, denominado Modelo Remediación, en sus conclusiones, se establece que la salida del modelo indica que aproximadamente a los 10.000 días la remoción de contaminante es de 30.000 kg, lo que equivale aproximadamente al 95% de la masa que entra al acuífero.

Asimismo, en el Considerando 7.1 de la misma RCA, se establece que, asociado a la operación del Depósito de Lamas se considera disponer de 5 pozos de remediación en la Quebrada Brea, a partir de los cuales para remediar con una eficiencia sobre el 96,8% se requiere contar con una capacidad de bombeo de 20 litros por segundo.

Sobre lo anterior, en el presente Estudio, en su numeral 6.4.4., se describen los resultados obtenidos para los 5 escenarios propuestos sobre la ocurrencia de una eventual infiltración bajo el muro cortafuga, indicando las concentraciones máximas generadas en una serie de líneas de control transversal, e intentando ilustrar a partir de las Figuras 6-13 a la 6-17 la evolución en el tiempo de estas concentraciones en cada línea. No obstante ello, en estas gráficas no se logra comprender con suficiente claridad, ni tampoco se explica en mayor detalle en el respectivo capítulo, qué ocurre con estas concentraciones en el tiempo. Así, se solicita al titular que, con los antecedentes recabados y analizados en el presente Estudio, describa de manera más explícita cómo evoluciona una eventual traza contaminante en términos del tiempo en que ésta permanece en el medio acuífero y cómo además se relacionan los actuales resultados obtenidos de la simulación de transporte de contaminante con los presentados durante el proceso de evaluación ambiental, de manera de mejor sustentar las conclusiones del presente estudio que dicen relación con que ante un episodio de infiltración simulada durante 1 a 3 años, el bombeo en la barrera hidráulica permite cumplir el objetivo de mantener las condiciones naturales del sistema, y que una barrera conformada por dos pozos de extracción permite cumplir con el objetivo de cero contaminación.

### Estudio Quebrada Caserones

Respecto del Modelo Numérico asociado al sistema de la Quebrada Caserones, se solicita al titular presentar una copia fiel e íntegra de dicho Modelo, incluyendo sus respectivas bases de datos y salidas, en una versión de Modflow estándar para su correcta visualización y reproducción.

En el Considerando 7.1 de la misma RCA, se establece que, asociado a la operación del Depósito de Arena se considera disponer de 5 pozos de remediación en la Quebrada Caserones, a partir de los cuales, para remediar con una eficiencia sobre el 96,8%, se requiere contar con un caudal de extracción aproximado de 28 litros por segundo. Por otra parte, en el presente Estudio, en su numeral 6.4.3., sobre Escenarios de Simulación, se indica que los caudales simulados de extracción para todos los escenarios corresponden a 2 litros por segundo a partir de 2 pozos de remediación. Al respecto, se solicita al titular que justifique la gran diferencia de resultados observados entre los presentados durante el proceso de evaluación ambiental y los que ahora se presentan, es decir, de 28 a 2 litros por segundo como caudal de extracción a remediar, así como el número de pozos de remediación de 5 a 2.

Asimismo, en el presente Estudio, en su numeral 6.4.4., se describen los resultados obtenidos para los 4 escenarios propuestos sobre la ocurrencia de una eventual infiltración bajo el muro cortafuga, indicando las concentraciones máximas generadas en una serie de líneas de control transversal, e intentando ilustrar a partir de las Figuras 6-13 a la 6-16 la evolución en el tiempo de estas concentraciones en cada línea. No obstante ello, en estas gráficas no se logra comprender con suficiente claridad, ni tampoco se explica en mayor detalle en el respectivo capítulo, qué ocurre con estas concentraciones en el tiempo. Sobre ello, se solicita al titular que, con los antecedentes recabados y analizados en el presente Estudio describa de manera más explícita cómo evoluciona una eventual traza contaminante en términos del tiempo en que ésta permanece en el medio acuífero, ello de manera de mejor sustentar las conclusiones del presente estudio que dicen relación con que ante un episodio de infiltración simulada durante 1 a 3 años, el bombeo en la barrera hidráulica permite cumplir el objetivo de mantener las condiciones naturales del sistema, y que una barrera conformada por dos pozos de extracción permite cumplir con el objetivo de cero contaminación.

Sobre el Plan de Seguimiento a que se refiere el Considerando 9 de la respectiva RCA, éste deberá contener los mismos aspectos señalados anteriormente para el caso de Quebrada La Brea.

Finalmente, cabe señalar lo indicado en el Considerando 12.1.5 de la respectiva RCA, que establece que, *"En lo que se refiere a la calidad y cantidad del recurso hídrico, el Titular del proyecto, en un plazo máximo de 6 meses de notificada la Resolución de Calificación Ambiental, entregará a la COREMA la información que será utilizada para el desarrollo de la ingeniería de Detalles, referida a: antecedentes*

hidrogeológicos de línea base del área de influencia del proyecto... Dichos antecedentes deberán ser validados por la Autoridad Ambiental, previo informe favorable de los órganos competentes de la administración del Estado.". Sobre dichos antecedentes complementarios, cabe indicar que estos son los documentos objeto de la presente revisión. Al respecto, si bien el titular durante el proceso de evaluación ambiental presentó antecedentes sobre sus planes de remediación asociados al área de influencia de su proyecto (Anexo N° 43, Adenda N° 2, para el Depósito de Lamas y Anexo N° 24, Adenda N° 3, para el Depósito de Arenas), cabe hacer presente que, estos nuevos antecedentes establecen ajustes y actualizaciones finas a dichos planes, por lo que sus resultados resultan vinculantes a las condiciones establecidas en la correspondiente RCA en cuanto al respectivo Plan de Remediación.

Saluda atentamente a Ud.,



**ANTONIO VARGAS BIQUELME**  
Director Regional  
Dirección General de Aguas  
Región de Atacama

AVR/DAV/jpa

**DISTRIBUCIÓN:**

- Destinatario
- Archivo Unidad de Fiscalización y Medio Ambiente D.G.A. Región de Atacama
- Archivo E.I.A Proyecto Caserones, Unidad de Fiscalización y Medio Ambiente D.G.A. Región de Atacama
- Archivo Oficina de Partes D.G.A. Región de Atacama

N° Proceso SSD: 5285669.-/





ORD.: 116,

ANT.: Carta MLCC 060/2011 recibida por la Dirección Regional del SEA el 25.03.2011.

MAT.: Envía estudios hidrogeológicos del "Proyecto Caserones".

COPIAPO, <sup>30</sup> MAR 2011

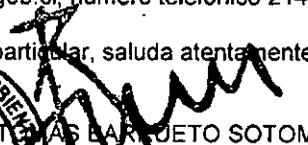
DE : DIRECTOR REGIONAL DEL SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL  
REGIÓN DE ATACAMA

A : SEGÚN DISTRIBUCIÓN

Junto con saludarle, y en el marco del cumplimiento del Considerando 11, punto 5, sobre las Condiciones o Exigencias específicas al proyecto denominado "**Proyecto Caserones**" calificado ambientalmente favorable a través de Resolución Exenta N°13 del 13 de enero de 2010 de la COREMA, Región de Atacama, me permito enviar a Usted en formato papel y digital los informes denominados "**Estudios Hidrogeológicos complementarios – Control Infiltraciones – Depósito de Lamas Quebrada La Brea**" Revisión A y "**Estudios Hidrogeológicos Complementarios – Control Infiltraciones – Depósito de Arenas Quebrada Caserones**", Revisión A, ambos de Enero 2011.

Solicito enviar un pronunciamiento sectorial a dichos informes en un plazo no superior al día miércoles 27 de abril de 2011.

Ante cualquier consulta comunicarse con el Sr. José Escobar, dirección de correo electrónico jescobar.3@sea.gob.cl, número telefónico 214511.

Sin otro particular, saluda atentamente a Usted,  
  
TOMÁS LARRAÍN SOTOMAYOR  
DIRECTOR REGIONAL  
SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL  
REGIÓN DE ATACAMA  


JTBS / VOP / JES

DISTRIBUCION:

- Director Regional SERNAGEOMIN, Región de Atacama.
- Directora Regional de la DGA, Región de Atacama.
- Archivo Proyecto "Proyecto Caserones".

REGION ATACAMA  
FECHA RECEPCION 25 MAR 2011 NRO 1485  
PASO A StA - José  
**CASERONES**  
PROYECTO DE SUMP... ..

SCM Minera Lumina Copper Chile  
Andrés Bello 2687 Piso 4 Las Condes  
Teléfono (56 2) 4322500  
Fax (56 2) 4322600  
Santiago, Chile

Santiago, 24 de marzo de 2011  
MLCC 060/2011

Señor  
José Escobar Serrano  
Profesional Asesor  
Servicio de Evaluación Ambiental  
Región de Atacama  
PRESENTE

Ref.: Entrega dos copias adicionales en papel y en digital de los dos estudios hidrogeológicos del "Proyecto Caserones".

De mi consideración:

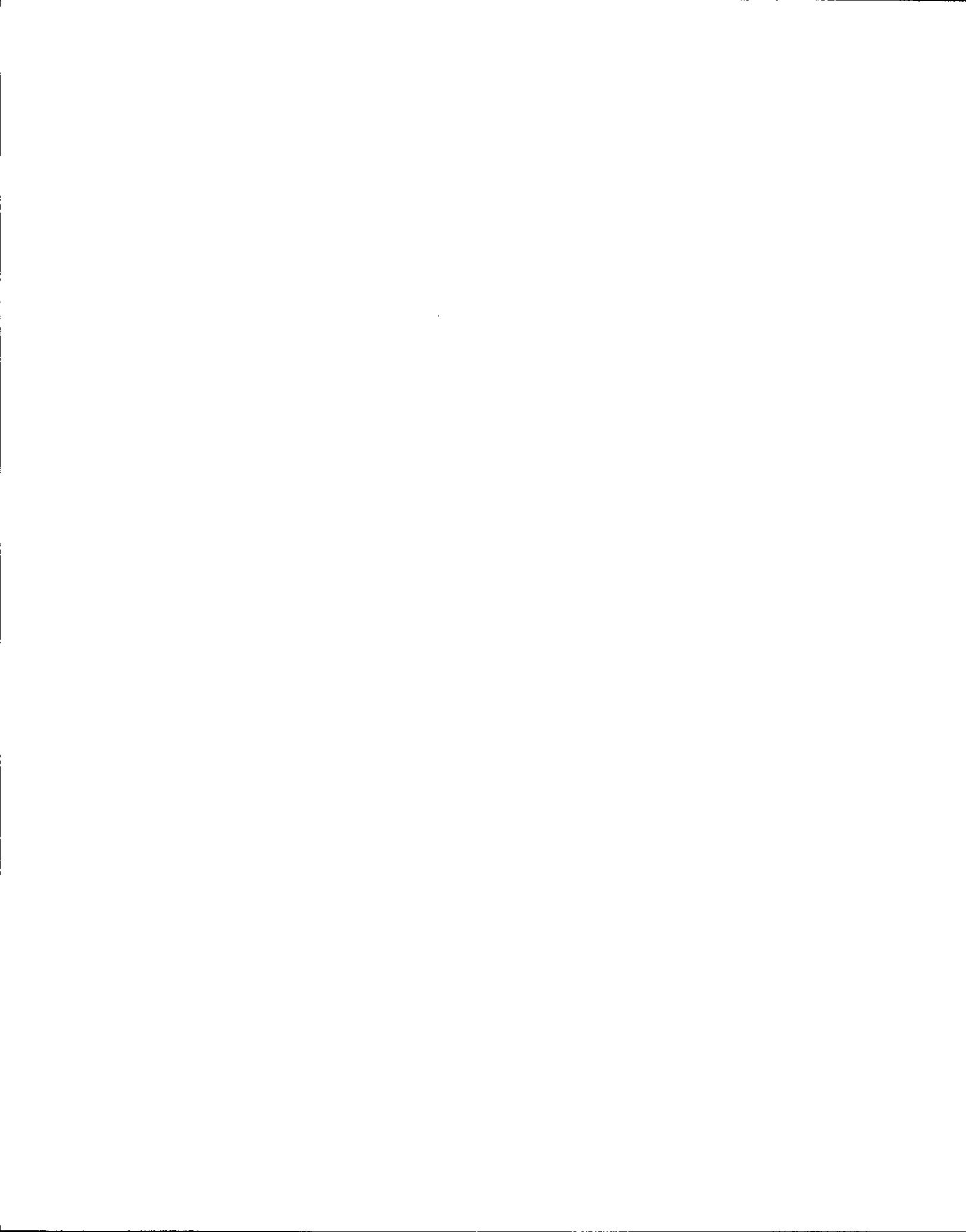
De acuerdo a lo solicitado en su correo electrónico del día 7 de marzo, adjunto dos copias en papel y en formato digital de los informes denominados "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones - Depósito de lamas quebrada La Brea" y "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones - Depósito de Arenas quebrada Caserones", ambos en revisión A.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,



Hernán Muñoz Schiemann  
Encargado de Medio Ambiente  
SCM Minera Lumina Copper Chile

HM/ims  
Cc: Archivo



Santiago, 24 de enero de 2011  
MLCC 025/2011

Señora  
Ximena Matas Quilodrán  
Intendente Regional  
Presidenta de la Comisión Regional del  
Medio Ambiente Región de Atacama  
PRESENTE

REGION ATACAMA	
FECHA RECEPCION	04 FEB 2011
PASO A SES	NRO 589
Hito CE DR.	
JOSE	

Ref.: Entrega información que será utilizada para el desarrollo de la ingeniería de detalles del Proyecto Caserones de acuerdo a lo establecido en el numeral 5 del considerando N° 12 de la Res. (E) 013/10 de la COREMA Región de Atacama.

De mi consideración:

Para dar cumplimiento al numeral 5 del Considerando N°12 de la Resolución Exenta N° 013 de fecha 13 de enero 2010, de la COREMA Región de Atacama, mediante la presente hacemos entrega a usted de los siguientes informes:

- "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones - Depósito de lamas quebrada La Brea"
- "Estudios hidrogeológicos complementarios - control infiltraciones - Depósito de Arenas quebrada Caserones"

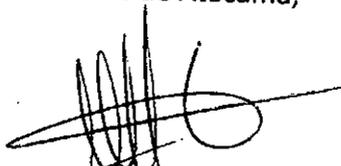
El numeral 5 del considerando N° 12 de la RCA, dispone como exigencia o condición específica del proyecto, que "En lo que se refiere a la calidad y cantidad del recurso hídrico, el Titular del proyecto, en un plazo máximo de 6 meses de notificada la Resolución de Calificación Ambiental, entregará a la COREMA la información que será utilizada para el desarrollo de la ingeniería de Detalles, referida a: antecedentes hidrogeológicos de línea base del área de influencia del proyecto, (levantamiento geofísico de perfiles TEM de alta resolución en los sectores donde se ubicarán los pozos de remediación, pruebas de bombeo individuales de 3 días cada uno y simultáneas en cada conjunto de pozos de remediación por 20 días de duración; en los depósitos de relaves: levantamiento geofísico de perfiles, perfiles de control de recarga de agua subterránea mediante pruebas de bombeo específicas; en relación a los niveles freáticos, levantamiento de información con 10 pozos adicionales de 40-60 m de los diseños y sistemas de monitoreo y control de infiltraciones".



Con fecha 13 de agosto de 2013, mediante cartas MLCC 160/10 y 193/10 mi representada entregó gran parte de los antecedentes y resultados comprometidos, pero también solicitó plazo adicional para la entrega de la información faltante, fundamentado en que en el invierno recién pasado se presentaron condiciones climáticas atípicas, las que se verificaron a través de la cantidad de nieve caída y las condiciones de visibilidad muy limitadas, lo que en conjunto con las bajas temperaturas y fuertes vientos imposibilitaron los trabajos en terreno, particularmente en la zona alta, atrasando los plazos iniciales considerados.

Al respecto, en esta entrega se adjuntan 3 ejemplares con la totalidad de la información comprometida en el numeral 5 del Considerando N°12 de la RCA del proyecto Caserones. Esto incluye la información ya entregada en agosto 2010 del área de la quebrada La Brea, el que cuenta con una actualización del modelo optimizando el caudal necesario para remediación, y la información completa del área de quebrada Caserones.

Sin otro particular, saluda atentamente a la señora Presidenta de la Comisión Regional del Medio Ambiente de Atacama,

  
**Nelson Pizarro Contador**  
Representante Legal

  
HM/ims

Cc: Director Regional del Servicio de Evaluación Ambiental, Región de Atacama  
Archivo



SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL DE ATACAMA  
FECHA 11.07.13 Nº 2341  
ORD. Nº 470. A Ep-UD

**ANT. :** Carta MLCC 132/2012, de 30 de noviembre de 2012.

**MAT. :** Observaciones sobre Plan de Monitoreo Robusto, *Proyecto Caserones*, aprobado ambientalmente mediante RCA COREMA Atacama Nº13/2010.

COPIAPÓ, 11 JUL 2013

**DE: DIRECTOR REGIONAL D.G.A. REGIÓN DE ATACAMA**

**A : DIRECTORA REGIONAL (S) SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL REGIÓN DE ATACAMA**

Junto con saludarle, en relación al cumplimiento de los compromisos ambientales asociados al proyecto denominado *Proyecto Caserones*, aprobado ambientalmente mediante RCA COREMA Atacama Nº13/2010, me permito informar a Ud. que, mediante Carta MLCC 132/2012, de 30 de noviembre de 2012, su Titular, la empresa **SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE**, presentó ante esta Dirección el Plan de Monitoreo Robusto a que se refiere el Considerando 12 numeral 9 de la citada RCA.

Sobre la materia, cabe señalar lo dispuesto en el citado Considerando (Textual) "*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.*" Por su parte, resulta relevante destacar que, dicha exigencia corresponde a aquellas exigencias de carácter específico impuestas al proyecto para su aprobación, y por lo tanto, se entiende su cabal y estricto cumplimiento.

En ese sentido, revisados los antecedentes presentados en el documento denominado *Plan de Monitoreo del Recurso Hídrico Proyecto Caserones* (En adelante el Plan), me permito formular las siguientes observaciones sobre la materia, expresando consecuentemente con ello que, esta Dirección no se encuentra en condiciones de validar en Plan en cuestión, ello hasta que se tengan en consideraciones los alcances y precisiones planteadas en el presente Oficio.

## **I. Sobre calidad de recursos hídricos**

a) En el numeral 2.1 del Plan, el Titular indica que (Textual) *"...anteponiéndose a la ocurrencia de eventos que se escapen a todas las medidas de control mencionadas, MLCC considera como obras de contingencia la construcción de pozos de monitoreo para controlar la calidad de las aguas que escurren subterráneamente en dirección aguas abajo de cada depósito y la construcción de una barrera hidráulica conformada por una batería de pozos que se activará con ocasión a dicha contingencia. Esto permitirá la captura de las aguas que pudieran tener consecuencias ambientales adversas en términos de la calidad de las aguas subterráneas aguas abajo del proyecto."*

b) Al respecto, y sin perjuicio de lo indicado en la Tabla N°3 del Plan, sobre puntos de monitoreo de calidad de aguas superficiales, en donde el Titular se remite a identificar una serie de puntos de control, sin luego acompañar una descripción de cómo se integra éste monitoreo al Plan, se solicita al Titular describir y detallar dentro de su Plan cómo incorporará el monitoreo de calidad de aguas superficiales con motivo de la ocurrencia de algún incidente que altere la calidad de los recursos hídricos dada la operación del depósito de lamas y/o el depósito de arenas, pues el seguimiento de calidad de aguas propuesto por el Titular se circunscribe sólo a la calidad de las aguas subterráneas.

c) Por su parte, sobre los puntos de monitoreo a que se refiere la Tabla N°3, se solicita al Titular presentar un plano de localización de éstos, en un soporte de visualización y resolución óptimo, vinculando las correspondientes obras o zonas potencialmente susceptibles de alterar la calidad de los recursos hídricos presentes en el área de influencia del Proyecto, precisando además en el mismo, la frecuencia de medición y los parámetros de monitoreo contemplados para cada uno de los puntos de seguimiento.

d) Asimismo, en relación a lo mostrado en la Tabla N°4 del Plan, sobre puntos de monitoreo de calidad de aguas subterráneas, se requiere también al Titular que presente un plano con las mismas características indicadas en la letra c) anterior.

e) Del mismo modo, respecto de los correspondientes análisis de muestras de agua en laboratorio que el Titular debe realizar con motivo de la implementación del Plan, se hace presente que, para dichos efectos debe considerar un laboratorio que cuente con la respectiva acreditación en el Sistema Nacional de Acreditación del INN.

f) En el numeral 2.3.4 del Plan, el Titular señala que (Textual) *"Durante la fase de operación, se continuará con el monitoreo mensual durante los 5 primeros años, luego de lo cual se evaluará, en conjunto con la autoridad, la frecuencia con la cual se seguirán realizando las mediciones. Todas estas mediciones, así como el monitoreo en línea de pH, temperatura, conductividad y sólidos disueltos, serán incorporadas a una página web de acceso público."* Al respecto, cabe hacer notar al Titular que, la reportabilidad de la información que pretende recabarse sobre calidad de aguas debe corresponder a un proceso ágil y actualizado, sobre todo si la propuesta del Titular es proporcionar accesibilidad pública mediante un sitio web. Por lo tanto, el Titular deberá mantener los correspondientes registros de calidad de aguas en el portal web destinado para tales efectos en plazos razonables respecto de las frecuencias de muestreo y análisis establecidos en su Plan, evitando así el desfase de información. Además, deberá procurar la implementación oportuna de todos los protocolos que permitan contar en su debido momento con la totalidad de

los datos estimados de recolectar. Asimismo, sobre la continuidad de la frecuencia mensual para análisis de laboratorio, se hace presente que, la decisión de mantener o no dicha frecuencia no es una facultad que recaiga en el propio Titular, pues ello corresponde a una materia que debe ser resuelta por la correspondiente autoridad ambiental. Así, mientras no se establezca un cambio debidamente formalizado por la autoridad competente, dicha frecuencia mantendrá su continuidad en los términos originalmente autorizados.

g) Por su parte, también en el numeral 2.3.4 del Plan, el Titular indica que (Textual) *"Con relación a los umbrales que gatillarían eventuales acciones de remediación, éstos corresponden a que en los pozos de detección o de alerta temprana (aguas abajo de la zanja cortafuga), ocurra lo siguiente: Caso 1. Para parámetros cuya línea de base sea menor a lo establecido en la NCh 1.333, la concentración sea mayor al límite establecido en dicha norma; y Caso 2. Para parámetros cuya línea de base sea mayor a lo establecido en la NCh 1.333, la concentración sea mayor a dos desviaciones estándar sobre el promedio de los valores de línea de base."*

h) Sobre lo expresado por el Titular en relación a los umbrales de activación que gatillarán la acción de remediación, se desprende que, el Plan vincula estos límites con los valores establecidos en la Línea Base respecto de la componente ambiental de hidroquímica y con los valores establecidos en la Norma Chilena N°1.333, que establece requisitos de calidad de agua para distintos usos, en este caso riego. No obstante ello, se hace notar que, el Titular no acompaña al Plan la definición de los valores de Línea Base asociados a cada uno de los puntos de monitoreo calificados con el objetivo de alerta temprana, ni menos indica cómo se determinó dicha condición base (Período de registros disponibles; Universo de datos disponibles; A qué puntos de monitoreo corresponde; Si los registros se asocian o no a períodos estacionales del año; A qué profundidad fueron tomadas las muestras y de qué zona acuífera; Cuál es el grado de representatividad de las muestras; Cuál es la metodología de cálculo para la determinación de la línea base de cada parámetro; etc.). Atendido lo anterior, se hace presente que, el Titular debe definir umbrales respecto de la condición base, siendo posible el uso de normas, como la utilizada por el Titular, de manera únicamente referencial, pero no como la definición de un umbral en particular, ello a excepción de contar con una fundada justificación técnica para su utilización. A su vez, debe fundamentar en detalle cómo fue determinada la condición base que pretende utilizar en su Plan, y qué nivel de representatividad se asocia a cada punto, estableciendo además la variabilidad natural que experimenta la calidad de las aguas en los puntos considerados como representativos del área de influencia del Proyecto. Así entonces, el Titular debe contemplar el criterio de activación del plan de remediación asociado directamente a la superación del umbral de línea base establecido para cada parámetro.

i) Sobre dichos umbrales, el Titular no especifica qué parámetros en particular serán utilizados como herramienta de decisión para activar la acción de remediación. Así, el Plan se remite a mencionar sólo una serie de parámetros físico-químicos para los efectos de iniciar la acción de remediación, no precisando si esa activación dependerá de la variación fuera del rango aceptable de al menos uno de dichos parámetros, o bien, supondrá la desviación de cada uno de ellos. Por lo tanto, atendido a que el Titular en su determinación de umbrales de activación debe utilizar como criterio valores de base de calidad de aguas, tal como se indica en la letra h) anterior, incorporando por cierto en dicha condición base su variabilidad



natural, se concluye entonces que, cualquier variación que ocurra en alguno de los parámetros tendrá como principal fuente de perturbación las actividades del Proyecto. De esta forma, se hace presente que, la superación de al menos uno de los umbrales definidos para cualquiera de los parámetros indicadores de calidad de aguas debe activar la acción de remediación.

j) Asimismo, también en el numeral 2.3.4, el Titular señala que (Textual) "*Una variación de ellos fuera del rango aceptable predefinido inicia un proceso de análisis extraordinario de la calidad de agua en los pozos de monitoreo involucrados, y el inicio de la extracción de agua desde el sistema de remediación.*". Sobre lo señalado, y atendido a que el Titular tiene conocimiento claro del área de estudio y de las interacciones que ahí ocurren, resulta entonces relevante conocer en detalle, y en esta instancia, en qué consistirá el citado *análisis extraordinario de calidad de aguas*. Sin perjuicio de ello, se hace notar que, dicha evaluación debe corresponder a una que determine a nivel de conclusión sobre cuáles serían las causas y fuentes del eventual incidente que genere una variación en la calidad de los recursos hídricos presentes en el área de influencia del Proyecto, debiendo el respectivo informe ser reportado con suma inmediatez a la autoridad ambiental luego de ocurrido el suceso de perturbación en la calidad de las aguas, presentando una descripción en detalle y todos aquellos antecedentes vinculados al eventual incidente.

k) Respecto del sistema de remediación propuesto en el Plan, se hace presente que, el Titular en cada uno de los pozos de remediación debe habilitar un sistema de medición de flujos, ello para los efectos de contar con una medida cierta del volumen de aguas subterráneas calificado como aguas contactadas que eventualmente deberán extraerse y disponerse para su uso en el proceso minero. A su vez, se hace notar sobre dicho sistema que, éste deberá corresponder a uno que asegure su inviolabilidad y con ello cualquier alteración en su registro de datos. Por su parte, el Titular debe también contemplar la realización oportuna de los programas de mantención que sean necesarios de practicar al total del equipamiento dispuesto en cada uno de los pozos que conforman el Plan, asegurando así, su funcionamiento en todo momento. Así entonces, en el evento que el Titular requiera activar su sistema de remediación con motivo de la detección de una alteración en la calidad de las aguas, debe efectuar una serie de acciones tendientes a recabar antecedentes sobre el incidente en cuestión, las que al menos deberán corresponder a las siguientes: Monitoreo continuo de calidad de agua en pozos eficiencia-remediación, pozos de remediación y descarga del volumen evacuado desde pozos de remediación, contemplando frecuencia horaria para cada uno de los parámetros físico-químico y frecuencia diaria para el muestreo de análisis químico; Monitoreo multinivel de calidad de aguas en cada uno de los pozos que componen el sistema de remediación; Monitoreo continuo de los volúmenes de aguas contactadas extraídas desde los pozos de remediación, registrando además los ritmos detallados de explotación de dichos pozos. Se hace presente sobre la materia que, las acciones antes indicadas deben mantenerse mientras se mantenga activado el sistema de remediación.

l) Sobre las obras asociadas a la activación del sistema de remediación, cabe señalar que, previo a cualquier disposición de material en los depósitos mineros proyectados, ya sea en la Quebrada La Brea o en la Quebrada Caserones, el Titular debe contar con la habilitación completa y operativa de cada una de las obras asociadas a dicho sistema. Asimismo, sobre el envío de aguas contactadas desde los

pozos de remediación, el Titular no precisa el destino de esas aguas, señalando solo que serán utilizadas en el proceso minero. Por lo tanto, se solicita al Titular especificar dicho aspecto, acompañando además, un plano que detalle ese envío (Origen - Destino).

m) Por su parte, respecto de los pozos calificados como pozos de Aguas Arriba y pozos de Alerta Temprana, y durante la operación del Proyecto, el Titular debe considerar en éstos el monitoreo multinivel de calidad de aguas, ello para los efectos de contar con la habilidad y flexibilidad suficiente de muestrear y hacer pruebas a profundidades discretas dentro de la zona acuífera tanto aguas arriba como aguas abajo de la fuente potencial de alteración de la calidad de aguas subterráneas, contemplando para ambos tipos de pozos la misma frecuencia de monitoreo (mensual) y los mismos parámetros de seguimiento. Lo anterior, resulta aplicable tanto para la Quebrada La Brea como para la Quebrada Caserones.

n) Asimismo, en base a las predicciones de la modelación de transporte de carga contaminante presentada en los informes denominados *Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control de Filtraciones Depósito de Lamas Quebrada La Brea Revisión A (SRK Consulting, Enero 2011)*, y *Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control de Filtraciones Depósito de Arenas Quebrada Caserones Revisión A (SRK Consulting, Enero 2011)*, y en virtud de la información de calidad de agua que se registre con motivo de una eventual activación del sistema de remediación, el Titular debe evaluar si las concentraciones medidas en los respectivos puntos de control son coincidentes o no con las predicciones establecidas en dicha modelación. A su vez, el Titular debe proceder además con la actualización de la herramienta predictiva de modelación en caso que corresponda, utilizándola como apoyo en el análisis de la evolución de la eventual pluma contaminante.

o) Por otra parte, en relación a la desactivación del sistema de remediación, en el numeral 2.3.4 del Plan, el Titular señala que (Textual) *"El bombeo desde los pozos de remediación se detiene cuando en los pozos de detección (aguas abajo de la zanja) ocurra lo siguiente: Caso 1. Para parámetros cuya línea de base es menor al respectivo límite establecido en la NCh 1.333 (para riego): Concentración menor o igual al límite establecido en dicha norma, durante 4 meses consecutivos de monitoreo. Caso 2. Para parámetros cuya línea de base es mayor al respectivo límite establecido en la NCh 1.333 (para riego): Concentración menor o igual al promedio de línea de base, durante 4 meses consecutivos de monitoreo."* Sobre ello, cabe señalar que, el criterio de 4 meses consecutivos expuesto por el Titular como criterio para el cese de la explotación de los pozos de remediación, no se encuentra acreditado en el Plan en estudio, por cuanto no se acompaña ninguna justificación técnica que sustente haber definido ese periodo de tiempo. Por lo tanto, se solicita al Titular que refine su propuesta en este aspecto, en el sentido de proponer un análisis más detallado y justificado sobre cómo pretende abordar la evolución de un eventual evento de activación del sistema de remediación, estableciendo en particular, un criterio de desactivación con suficiente justificación técnica. Recordar al respecto que, dicha desactivación debe responder a la completa verificación y recuperación de la condición base asociada a cada uno de los parámetros de calidad de aguas que han sido definidos para monitorear los efectos de las instalaciones mineras sobre la calidad de los recursos hídricos presentes en el área de influencia directa del Proyecto.

p) Del mismo modo, también en el numeral 2.3.4, el Titular señala que (Textual) *"...se estima que el sistema de remediación contará con una capacidad de bombeo de un total de 28 y 6 l/s en los sectores La Brea y Caserones, respectivamente."* Al respecto, cabe hacer notar que, conforme a lo establecido en los informes individualizados en letra n) anterior, los que fueran presentados por el mismo Titular con posterioridad a la RCA en atención al cumplimiento de un compromiso establecido en la citada Resolución, en estos se determinan valores de flujo subterráneo pasante para cada una de las Quebradas (La Brea y Caserones) que no guardan relación con los valores de caudales indicados por el Titular en el presente Plan como capacidad de bombeo de remediación, siendo estos últimos mayores. Atendida la relevancia de este aspecto, se solicita al Titular aclare en virtud de la información técnica disponible cuál será finalmente la capacidad total de bombeo habilitada en los pozos de remediación, tanto para el sistema que se habilitará en el Quebrada La Brea como para el que se dispondrá en la Quebrada Caserones, la cual necesariamente debe corresponder a un valor del orden del flujo pasante subterráneo presente en la zona acuífera de interés.

q) Sobre los pozos de remediación, cabe hacer presente que, el Titular debe utilizar dichas captaciones sólo en el evento que se haya detectado una alteración en la calidad de los recursos presentes en el área de influencia, es decir, con fines de remediación, y en ningún caso, con el objetivo de abastecer recursos hídricos frescos al proceso minero o alguna labor asociada a la faena minera en cuestión.

r) En relación al monitoreo de largo plazo en zonas acuíferas no inmediatamente aguas abajo de las instalaciones del Proyecto (Aguas abajo del Río Ramadillas por el Río Pulido), el Titular debe considerar puntos de monitoreo representativos en dichas zonas para los efectos de evaluar en el tiempo una eventual alteración de la calidad de los recursos hídricos subterráneos con motivo de la operación del Proyecto. Por lo anterior, se solicita al Titular incorporar este aspecto en el presente Plan.

## **II. Sobre cantidad de recursos hídricos**

s) En el numeral 3.2 del Plan, el Titular indica que (Textual) *"...dentro de la información básica para realizar la actualización completa de la modelación es imprescindible utilizar información que es proporcionada por la autoridad, lo cual representa una restricción para proceder con la actualización anual."*

t) Al respecto, cabe señalar al Titular que, la cabal ejecución de las obligaciones o exigencias contenidas en la correspondiente RCA dependen única y exclusivamente del Titular del Proyecto,- por lo cual, en el ámbito de ejecución de la medida, lo que se persigue es no establecer restricciones a priori. Dentro de aquel orden de ideas, lo que se espera es que el Titular levante toda aquella información que sea necesaria para los fines del cumplir con una determinada exigencia ambiental, en este caso, la actualización del modelo hidrogeológico asociado al área de influencia de su Proyecto. Lo anterior por supuesto, es sin perjuicio de la disponibilidad de información oficial registrada por esta Dirección a través de su red hidrométrica, la cual por cierto el Titular podrá requerir a través de los canales formales debidamente establecidos para esos efectos.

u) Respecto de lo indicado en el numeral 3.4 del Plan, sobre contrastación de valores reales vs modelo, se hace presente que, el Titular debe considerar el monitoreo de niveles de aguas subterráneas tanto para el seguimiento a nivel regional como local de los sectores hidrogeológicos en los cuales proyecta explotar los pozos MLCC. Lo anterior, por cuanto revisado el Plan, no se observa un detalle ordenado, preciso y descriptivo de este programa de monitoreo. Por su parte, el Titular no presenta ninguna descripción sobre el equipamiento que será utilizado tanto para el monitoreo de los pozos de explotación MLCC como para los respectivos pozos de observación. A su vez, el Titular tampoco detalla cuál será la logística operativa de registro, recopilación y análisis de datos. Sobre esta materia, se hace notar que, el Titular debe contemplar un grado avanzado en la sofisticación de la instrumentación que utilice para los efectos de medir las variables asociadas a los pozos de explotación MLCC como sus correspondientes pozos de observación, asegurando un monitoreo preciso, exacto, continuo y ágil en la recopilación y disposición de registros para la toma de decisiones respecto del modelo de explotación.

v) Asimismo, en el mismo numeral 3.4, el Titular señala que (Textual) *"...Dentro del valle existen pozos de monitoreo que cumplen estas condiciones, unos que pertenecen a la Dirección General de Aguas (DGA) y otros pozos de MLCC."* Al respecto, se precisa al Titular que, dentro de las funciones de mantener y operar la red hidrométrica nacional, es que esta Dirección incorpora en dicha red la medición de niveles piezométricos de determinados pozos, lo cual no implica que estos le pertenezcan, sino que, con la debida autorización de acceso a las propiedades donde se encuentran habilitados estos sondajes, este Servicio procede regularmente con la medición programada de niveles de aguas subterráneas.

w) En el numeral 3.5 del Plan, el Titular señala que (Textual) *"Los descensos reales que se vayan observando se irán contrastando contra los descensos teóricos esperados según lo previsto por las simulaciones del Modelo Hidrogeológico desarrollado por el Proyecto. Cuando el descenso observado en cada área se considere fuera de lo esperado, con un descenso medido en los pozos de observación, superior al 20% por sobre lo proyectado en el modelo hidrogeológico presentado por el Titular, con un descenso mínimo de 1 m/año, definiendo así el umbral para que el Plan de relocalización de las extracciones se inicie, llamado Plan de Manejo Dinámico (PMD) en el EIA del proyecto, de manera de permitir que los niveles del área afectada se recuperen."*

x) Sobre lo planteado, cuando el Titular hace referencia a "áreas", no define cuáles serían dichas áreas. Al respecto, se hace presente que, el Titular debe definir áreas de explotación vinculadas a zonas de observación, constituyendo aquello un aspecto básico y fundamental para los fines de realizar un seguimiento personalizado y dedicado sobre el comportamiento en el tiempo de los niveles de aguas subterráneas de un determinado sector sujeto a monitoreo, pues en virtud de dichas áreas es que luego pueden definirse puntos y/o líneas de pozos de observación que permitan evidenciar directamente las variaciones que logre experimentar el nivel freático en los puntos de control producto de la perturbación generada por la explotación de los pozos MLCC.

y) Por su parte, respecto de la Figura N°6 incluida en el Plan, sobre un plano de pozos de monitoreo de niveles, cabe hacer notar al Titular que, dicho plano corresponde a una imagen presentada en formato carta y en baja resolución, a partir del cual obviamente no es posible visualizar con claridad la información ahí contenida. Así, lo que se requiere es que el Titular acompañe un plano en detalle del área de influencia del Proyecto en formato A0, diseñado a escala adecuada e Impreso en óptima resolución, el que contenga al menos la siguiente información: Delimitación acotada de las zonas de explotación MLCC con su correspondiente individualización; Identificación de pozos de explotación MLCC por zonas de explotación MLCC; Identificación de todos los pozos de explotación circundantes (Pozos de explotación de terceros) a pozos de explotación MLCC y las distancias a estos últimos, considerando para ello un radio mínimo de influencia de 2,0 Km. por cada pozo de explotación MLCC; Identificación de pozos de observación por cada zona de explotación MLCC; Para cada zona de explotación MLCC, identificación de distancia entre pozos de observación respecto de pozos de explotación MLCC; Delimitación en planta de la zona acuífera para cada zona de explotación MLCC; Perfil hidrogeológico longitudinal principal asociado a cada una de las zonas de explotación MLCC; Identificación de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas asociados a cada uno de los pozos de explotación MLCC, así como los correspondientes caudales de extracción proyectados a explotar; Identificación de cada uno de los pozos de explotación MLCC que conforman las extracciones que gatillan la activación del Plan de Manejo Dinámico (PMD), identificando los respectivos derechos de aprovechamiento, así como los caudales de explotación previsible de explotar con motivo de la activación del PMD; Indicación de la variabilidad natural de descensos en cada uno de los pozos de observación que conforman el presente Plan; Trazado de acueducto de impulsión de agua fresca, incluyendo puntos de impulsión y centros de destino del recurso transportado, así como los empalmes correspondientes a dicho ducto de cada uno de los pozos de explotación MLCC y aquellos asociados al PMD; entre otros aspectos relevantes que ilustren en forma panorámica el Plan en cuestión. Asimismo, se solicita al Titular acompañar un detalle descriptivo de la regla de operación del sistema de explotación de aguas subterráneas que contempla realizar desde la zona acuífera de los sectores hidrogeológicos N°1 y N°2 de la cuenca del Río Copiapó, así como, la justificación detallada del número y la distribución de los pozos de observación contemplados para cada zona de explotación MLCC. Al respecto, cabe subrayar que, todo lo anterior debe ser presentado por el Titular en línea con lo expresado con las observaciones y precisiones expuestas en el presente Oficio.

z) Del mismo modo, también en el numeral 3.5 del Plan, el Titular plantea que (Textual) *"Dado que la evolución de los niveles en el acuífero serán producto, además de las extracciones que realice MLCC, de las extracciones efectuadas por terceros y de la variabilidad hidrológica imperante, resulta fundamental una vez detectada la desviación que gatilla el PMD, establecer si la causa corresponde a extracciones producidas por MLCC, ya que sólo en ese caso se deberá iniciar el PMD. Para ello se deberá preparar un informe a la DGA. Este informe debe indicar las causas y los pasos a seguir, que pueden ser desde una actualización del modelo considerando las nuevas condiciones externas o bien, una relocalización de las extracciones de Caserones."*

aa) En relación a ello, se hace notar que, conforme se establece en el Anexo N°27 de la Adenda N°3 del EIA del Proyecto en cuestión, el Plan de Manejo Dinámico (PMD) se resume básicamente en la movilidad de extracciones frente a la superación de umbrales definidos en el mismo PMD, ello desde una zona de explotación MLCC afectada por dicha superación hacia una zona de explotación MLCC que no experimenta tal desviación. Asimismo, en el señalado PMD, se enfatiza el caso que, si el ejercicio de derechos de aprovechamiento en estas últimas zonas es insuficiente para los efectos de abastecer de agua fresca al Proyecto, se establece como medida, la solicitud por parte del Titular la prorrata de los recursos hídricos subterráneos para los sectores hidrogeológicos N°1 y N°2 antes señalados.

bb) De esta forma, cabe tener muy presente entonces que, la activación del PMD se remite a la extracción de aguas subterráneas desde la misma fuente, cuyos umbrales de activación se asocian a la ocurrencia de desviaciones no esperadas en el nivel freático de las zonas acuíferas que pretende explotar el Titular, lo que por cierto gatilla su puesta en marcha. En ese sentido, y en particular sobre la reducción temporal del ejercicio de derechos de aprovechamiento en los sectores hidrogeológicos sujetos a explotación MLCC planteada en el PMD, se hace presente al Titular, la opinión técnica sobre la componente ambiental de cantidad de recursos hídricos sostenida por este Servicio a través de cada uno de sus pronunciamientos emanados con motivo de la evaluación ambiental del Proyecto de marras.

cc) Por su parte, es del todo relevante además hacer notar que, en relación al monitoreo a escala local en las zonas de explotación MLCC, el Titular debe considerar necesariamente la delimitación de zonas de monitoreo u observación que permitan diferenciar claramente entre el pulso generado por las explotaciones de aguas subterráneas MLCC, y aquellas perturbaciones producidas por otras explotaciones existentes en las inmediaciones de los pozos de explotación MLCC (Pozos de explotación de terceros), definición que por cierto no se presenta en el Plan. Así, atendido al hecho que en las zonas desde las cuales el Titular pretende abastecerse de agua fresca para el citado Proyecto (Sectores hidrogeológicos N°1 y N°2 del acuífero de la cuenca del Río Copiapó), existe un número importante de captaciones de aguas subterráneas distintas a los pozos de explotación MLCC, el Titular debe necesariamente efectuar una discretización de sus zonas de explotación, ello en términos de establecer aquellas zonas que presentan una mayor o menor densidad de captaciones de terceros, y con ello poder establecer una suficiente red de monitoreo. De este modo, el Titular debe establecer su zonificación de explotación distinguiendo zonas de explotación con y sin externalidades significativas, siendo el caso de zonas con dichas externalidades, aquellas que inevitablemente definirán pozos de observación influenciados tanto por la explotación de pozos MLCC como por la explotación de pozos de terceros, y zonas sin esas externalidades, las que corresponden a aquellas que soportarán definir una batería de pozos de observación representativas de la perturbación directa generada por los pozos de explotación MLCC.

dd) Para el caso de zonas de explotación MLCC con externalidades significativas, los pozos de observación que se definan, trazarán una depresión compuesta de los niveles de aguas subterráneas en el sector sujeto a monitoreo, cuyo descenso se vinculará a la explotación conjunta entre pozos MLCC y pozos de terceros. En este escenario, se tiene entonces una complejidad importante en la identificación diferenciada de las fuentes de perturbación, lo cual constituye un alto nivel de incerteza del hito activación del PMD u otro, convirtiéndose éste, en un mecanismo cíclico de permanente incertidumbre al momento de determinar si la desviación generada en los niveles de aguas subterráneas en los respectivos pozos de observación proviene o no de la explotación de los pozos MLCC. Bajo este contexto, es que el Titular debe necesariamente proponer un mecanismo preciso de activación del PMD, orientado a discriminar con precisión las fuentes de perturbación, pero no en la lógica de efectuar dicha diferenciación una vez ocurrida la desviación de niveles no esperada tal como lo plantea en su Plan, sino como parte estructurante del diseño de seguimiento.

ee) Para el caso de zonas de explotación sin externalidades significativas, el Titular debe establecer una red de monitoreo con puntos y/o líneas de observación que reflejen directamente el efecto de las extracciones desde los pozos MLCC.

ff) A mayor abundancia, este Servicio estima entonces que no es oportuno por parte del Titular plantear que, la activación del PMD se encuentre supeditada a establecer, con posterioridad a la ocurrencia de depresiones de niveles no esperados, si ello es producto de las extracciones de MLCC o de las extracciones de terceros, pues aquella diferenciación bien puede ser determinada con antelación a partir de una correcta y representativa definición de zonas de observación, y en forma previa al inicio de la explotación.

gg) A su vez, se enfatiza al Titular que, un Plan de estas características debe diseñarse de manera personalizada atendida a las condiciones particulares de la fuente, de tal modo que, si lo que se requiere es evaluar en el tiempo las predicciones planteadas en el respectivo modelo hidrogeológico una vez comience la explotación de aguas subterráneas a partir de los pozos MLCC, lo óptimo entonces es contar con el mejor indicador que permita efectuar correctamente ese contraste, cuya condición obliga por lo tanto a definir zonas de observación exentas de factores externos que también incidan sobre la dinámica de niveles freáticos en las zonas de explotación MLCC.

hh) Por su parte, el Titular plantea que el mecanismo de activación del PMD consiste en elaborar un Informe para ser entregado a la D.G.A., en el que se detallarán las causas que hayan generado una determinada desviación en los niveles de aguas de los pozos de observación definidos en el Plan, y si a partir de ese análisis, se estima que dicha desviación ha sido generada producto de la explotación de los pozos MLCC, ello implicará la activación del denominado PMD. Al respecto, tal como ya se ha expresado en el presente Oficio, esta Dirección estima que, dicha propuesta es confusa y poco oportuna para los efectos de activar correctamente el PMD, pues, en vez de analizar el origen de las desviaciones en los descensos, el Titular debe contar previamente con un diseño de monitoreo de indicadores personalizados de la evolución de los niveles de aguas subterráneas de carácter preciso e inmediato, que para el caso, debe corresponder a uno que comprenda puntos y/o líneas de observación asociadas directamente a las zonas de explotación MLCC y exentas de factores externos, definido tanto para el monitoreo a escala regional como local. De esta forma, es importante mencionar al Titular que,

la objetividad y oportunidad son elementos claves en la formulación de un Plan de Alerta Temprana, aspectos no evidenciados en el presente Plan. Por todo lo anterior, se solicita al Titular reevaluar su propuesta.

ii) Sin perjuicio de todo lo señalado precedentemente, cabe indicar que, sobre el listado de pozos de observación indicados en la Tabla N°10 del Plan, el Titular no precisa si dichos pozos corresponden a pozos de observación o a pozos de explotación. Respecto de dicha materia, y para los efectos del presente Plan, los pozos de observación que el Titular contemple en éste deben corresponder a pozos no sujetos a explotación.

jj) En otro orden de ideas, respecto de los efectos en el caudal pasante en la Estación Fluviométrica D.G.A. Copiapó en La Puerta, el Titular indica en el numeral 3.5 del Plan (Textual) *"De acuerdo a lo establecido en EIA, en caso que el efecto corregido en La Puerta supere los 310 l/seg, el proyecto aportaría hasta 18 l/seg de dos manera posibles: a) disminuyendo el consumo a 500 l/seg, o b) incrementando el aporte de agua desalada a 118 l/seg en el canal Malpaso."* Asimismo, en la Figura N°2 del Plan, el Titular ilustra el efecto neto que se produciría sobre la escorrentía superficial en la Estación Fluviométrica D.G.A. Río Copiapó en La Puerta con motivo de la explotación de los pozos MLCC. Así, atendida a las limitadas alternativas de reducción de caudales de explotación propuestas por el Titular, como al trazado de la curva que representa el efecto neto del Proyecto mostrada en la Figura N°2 antes citada, este Servicio estima que, el Titular debe presentar un mecanismo de verificación empírica en el tiempo de los caudales teóricos que proyecta dicha gráfica, toda vez que, dicha curva ha sido dibujada sobre la base de una serie de medidas hipotéticas que reducirían el efecto del Proyecto sobre el sistema hídrico de la Cuenca del Río Copiapó.

kk) Así entonces, se espera que el mecanismo solicitado en la letra jj) anterior, permita verificar al menos a un paso mensual, la comprobación contrastada en el tiempo de los caudales teóricos graficados en la curva que representa el efecto neto del Proyecto (Figura N°2 del Plan) versus los caudales que efectivamente se registren en la Estación Fluviométrica D.G.A. Río Copiapó en La Puerta.

ll) En sintonía con lo anterior, si bien el efecto de las extracciones de aguas subterráneas que se realizarán a partir de los pozos MLCC se evidenciará en una reducción de los caudales de aguas superficiales en el sector La Puerta, dicha disminución restará también flujos de recarga hacia las zonas acuíferas aguas abajo de aquel sector, y por lo tanto, un efecto directo sobre sus niveles freáticos. Por lo tanto, dada la relevancia que reviste este aspecto para el sistema hídrico de la Cuenca del Río Copiapó, y atendido a que el Plan en cuestión no incorpora en modo alguno esta materia, se solicita, en definitiva, al Titular complementar el Plan en términos de establecer zonas de observación o monitoreo de niveles de aguas subterráneas que reflejen en el tiempo el comportamiento de las depresiones que experimenten las zonas acuíferas de los sectores hidrogeológicos aguas abajo del sector La Puerta, teniendo presente por cierto que esa zona constituye también parte del área de influencia del Proyecto.

mm) Por otra parte, en el numeral 4 del Plan, el Titular señala que, la información asociada a dicho Plan será reportada a la Dirección General de Aguas Región de Atacama. Al respecto, se hace notar al Titular que, conforme se establece en la Resolución SMA (Exenta) N°844, de 14 de diciembre de 2012, la Superintendencia de Medio Ambiente da instrucciones a los Titulares de proyectos con calificación ambiental favorable, sobre la remisión a ese Órgano de la Administración de Estado de la información respecto de las condiciones, compromisos o medidas, que sea por medio monitoreos, mediciones, reportes, análisis, informes de emisiones, estudios, auditorías, cumplimiento de metas o plazos, y en general cualquier información destinada al seguimiento ambiental del proyecto o actividad, según las obligaciones establecidas en su Resolución de Calificación Ambiental. Por lo tanto, el Titular debe ajustar los envíos de información asociados a su RCA en conformidad a lo dispuesto en la precitada Resolución.

Saluda atentamente a Ud.,



**ANTONIO VARGAS RIQUELME**  
Director Regional  
Dirección General de Aguas  
Región de Atacama

AVR/JPA/JPA  
DISTRIBUCIÓN:

- Destinatario
- SEREMI Obras Públicas, Región de Atacama
- Archivo Unidad de Fiscalización y Medio Ambiente D.G.A. Región de Atacama
- Archivo E.I.A Proyecto Caserones, Unidad de Fiscalización y Medio Ambiente D.G.A. Región de Atacama
- Archivo Oficina de Partes D.G.A. Región de Atacama

N° de Proceso SSD: 6813068 -/



Carta N° **603**

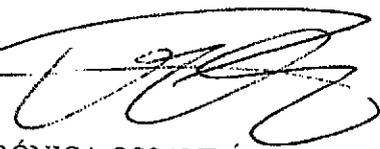
COPLAPO, 18 JUL. 2013

**Señor**  
**Nelson Pizarro Contador**  
**Representante Legal**  
**SCM Minera Lumina Copper Chile**  
**Av. Andrés Bello 2687 Piso 4 - Las Condes**  
**Santiago**

Por este intermedio, y en relación al Plan de Monitoreo Robusto, presentado a través de Carta MLCC 132/2012 a la Dirección General de Aguas, Región de Atacama, según lo dispuesto en el Considerando 12, numeral 9 de la Res. Ex. N° 13/2011, que calificó ambientalmente favorable el Proyecto Caserones, me permito adjuntar a Ud., para su conocimiento y aplicación correspondiente, copia del Ord. N° 470 de fecha 11 de julio de 2013, del Director Regional de la Dirección General de Aguas, Región de Atacama, a través del cual hace llegar sus observaciones al documento Plan de Monitoreo del Recurso Hídrico Proyecto Caserones.

Sin otro particular, saluda atentamente a Usted,



  
**VERÓNICA OSSANDÓN PIZARRO**  
**DIRECTORA REGIONAL (S)**  
**SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL**  
**REGIÓN DE ATACAMA**

VOP/vop

**DISTRIBUCION:**

- Destinatario.
- Archivo SEA del "Proyecto Caserones"
- Archivo.





SERVICIO DE EVALUACION  
AMBIENTAL DE ATACAMA

FECHA 25 SET. 2013 3151

A Exp - JES - OP

SCM Minera Lumina Copper Chile  
Andrés Bello 2687 Piso 4 Las Condes  
Teléfono (56 2) 4322500  
Fax (56 2) 4322600  
Santiago, Chile

Santiago, 16 de septiembre de 2013  
MLCC 117/ 2013

Señor  
Jaime Prohens Espinosa  
Presidente  
Comisión de Evaluación Ambiental Región de Atacama  
Yerbas Buenas 295  
Copiapó  
Presente

Ref.: Solicita validación del diseño del sistema de tratamiento pasivo para el Drenaje Acido de Mina, conforme a lo dispuesto en la Resolución Exenta N° 013/2010, de la COREMA de la III Región de Atacama.

De mi consideración:

Como es de su conocimiento, mediante Resolución Exenta N° 013, de fecha 13 de enero de 2009 (en adelante la "RCA"), de la COREMA Región de Atacama, fue calificado ambientalmente en forma favorable el proyecto minero "Caserones" (en adelante el "Proyecto"), de SCM Minera Lumina Copper Chile (SCMMLCC).

Específicamente, el numeral 6 del Considerando 12 de la RCA del proyecto Caserones establece la condición/exigencia específica que dispone lo siguiente:

*"El sistema de tratamiento pasivo, para el depósito de lastre, se deberá diseñar de acuerdo a los antecedentes hidrogeológicos de la quebrada La Brea, a los que se refiere el numeral 5. El sistema de tratamiento pasivo deberá ser validado por la Autoridad Ambiental, previo informe favorable de los órganos de la administración del Estado competentes, y mientras no se emita la respectiva validación favorable el Proyecto no operará".*

El presente documento tiene como finalidad solicitar a usted la validación del diseño del sistema de tratamiento pasivo que se construirá para tratar los eventuales drenajes ácidos que puedan provenir desde el depósito de lastre.

Se adjunta Informe N° 3644-0000-IH-INF\_001 "Diseño Sistema de Tratamiento Pasivo", elaborado por ARCADIS Chile



Por tanto, y en atención a lo antes señalado, se solicita a Ud., se sirva acoger a tramitación el documento acompañado para su validación como Autoridad Ambiental, declarando desde ya nuestra más entera disposición para responder las consultas, observaciones o inquietudes que le sean presentadas o que bien, Ud. estime conveniente.

Saluda atentamente al señor Presidente de la Comisión de Evaluación Ambiental,



Nelson Pizarro, Contador  
Vicepresidente y Gerente General  
SCM Minera Lumina Copper Chile

HM/  
cc. Archivo

Adj.: Informe N° 3644-0000-IH-INF\_001 Diseño Sistema de Tratamiento Pasivo, de ARCADIS Chile.



**SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE**
**DISEÑO MURO CORTAFUGAS Y SISTEMA BÁSICO DE  
 TRATAMIENTO EN EL CAUCE DE AGUAS ACIDAS  
 BOTADERO DE LASTRE**
**N° 3644-0000-IH-INF-001\_0**
**DISEÑO SISTEMA DE TRATAMIENTO PASIVO**

REV.		Ejecutor	Revisor	Aprobador	DESCRIPCIÓN
A	Nombre Firma	R. Suárez	N. Starck	C. Farias	Coordinación Interna
	Fecha	06.06.2013	10.06.13	14.06.13	
B	Nombre Firma	R. Suárez	N. Starck	C. Farias	Revisión y Aprobación Cliente
	Fecha	14.06.2013	14.06.2013	14.06.2013	
C	Nombre Firma	R. Suárez	N. Starck	C. Farias	Revisión y Aprobación Cliente
	Fecha	14.06.2013	21.06.2013	24.06.2013	
0	Nombre Firma	R. Suárez	H. Aravena	M. Misle	Aprobado Cliente
	Fecha	05.09.2013	05.09.2013	05.09.2013	

# DISEÑO MURO CORTAFUGAS Y SISTEMA BÁSICO DE TRATAMIENTO EN EL CAUCE DE AGUAS ACIDAS BOTADERO DE LASTRE

## DISEÑO SISTEMA DE TRATAMIENTO PASIVO

### ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
1.1	UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	4
<b>2</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>CAUDAL DE DISEÑO.....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>DISEÑO DE OBRAS.....</b>	<b>8</b>
5.1	CÁMARA DE AFORO.....	8
5.2	TUBERÍA DE DESCARGA CÁMARA DE AFORO.....	16
5.3	CÁMARA DE TRATAMIENTO PASIVO.....	17

### LISTADO DE TABLAS

Tabla 5-1	Descarga Aforador La Brea.....	11
Tabla 5-2	Características Flujo Pendiente de Diseño.....	17
Tabla 5-3	Características Flujo Pendiente Media del Cauce.....	17
Tabla 5-4	Características del Flujo.....	18
Tabla 5-5	Datos y Supuestos de Cálculo.....	18
Tabla 5-6	Cálculo del Lecho de Cal.....	19
Tabla 5-7	Verificación por Tiempo de Residencia.....	19

### LISTADO DE FIGURAS

Figura 1-1	Ubicación Sitio del Proyecto.....	4
Figura 1-2	Vista General Sector del Proyecto.....	5
Figura 1-3	Ubicación Muro Cortafugas y Depósito de Lastre.....	6
Figura 5-1	Esquema Vertedero Triangular.....	8

---

Figura 5-2 Curva de Descarga Aforador La Brea.....	12
Figura 5-3 Detalle Sección Vertedora.....	14
Figura 5-4 Vertedero de Aforo (Cara Aguas Abajo).....	14
Figura 5-5 Vista Lateral Cámara de Aforo .....	15
Figura 5-6 Vista Frontal Cámara de Aforo .....	15
Figura 5-7 Planta Cámara de Tratamiento Pasivo.....	20
Figura 5-8 Perfil Cámara de Tratamiento Pasivo.....	20

## 1 INTRODUCCIÓN

El proyecto Caserones, perteneciente a SCM Minera Lumina Copper Chile (MLCC) contempla la construcción del depósito de material estéril, proveniente del sector mina, en la cabecera de la quebrada La Brea.

Dada la posibilidad latente de que se generen aguas ácidas (AMD, por las siglas en inglés de Acid Mine Drainage), a partir del lastre y su interacción con las aguas lluvias y nivales, MLCC ha solicitado a ARCADIS Chile, el diseño básico de un muro cortafuga que intercepte el flujo sub-superficial y un sistema de tratamiento pasivo de los posibles lixiviados, además de otras obras, las cuales fueron comprometidas en la RCA correspondiente al proyecto.

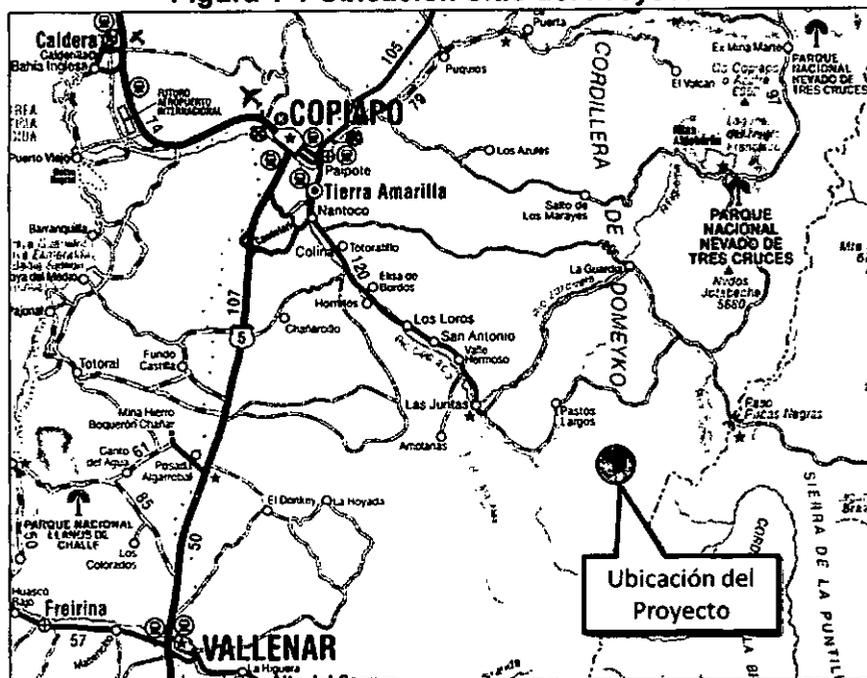
El objetivo de la presente memoria de cálculo es diseñar el sistema de acarreo de AMD interceptado por el muro cortafuga hacia el sistema de tratamiento pasivo y su posterior sistema de tratamiento y descarga hacia el cauce de la quebrada La Brea.

### 1.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

La quebrada La Brea, afluente al Rio Ramadillas, se ubica en la región de Coquimbo, a aproximadamente 115 km al sur este de la ciudad de Copiapó.

La ubicación esquemática del sitio de proyecto se muestra en la Figura 1-1.

**Figura 1-1 Ubicación Sitio del Proyecto.**



El muro cortafugas como tal se ubicará aproximadamente en la siguiente coordenada con datum WGS84 Huso 19J:

N 6.885.559 E 443.670

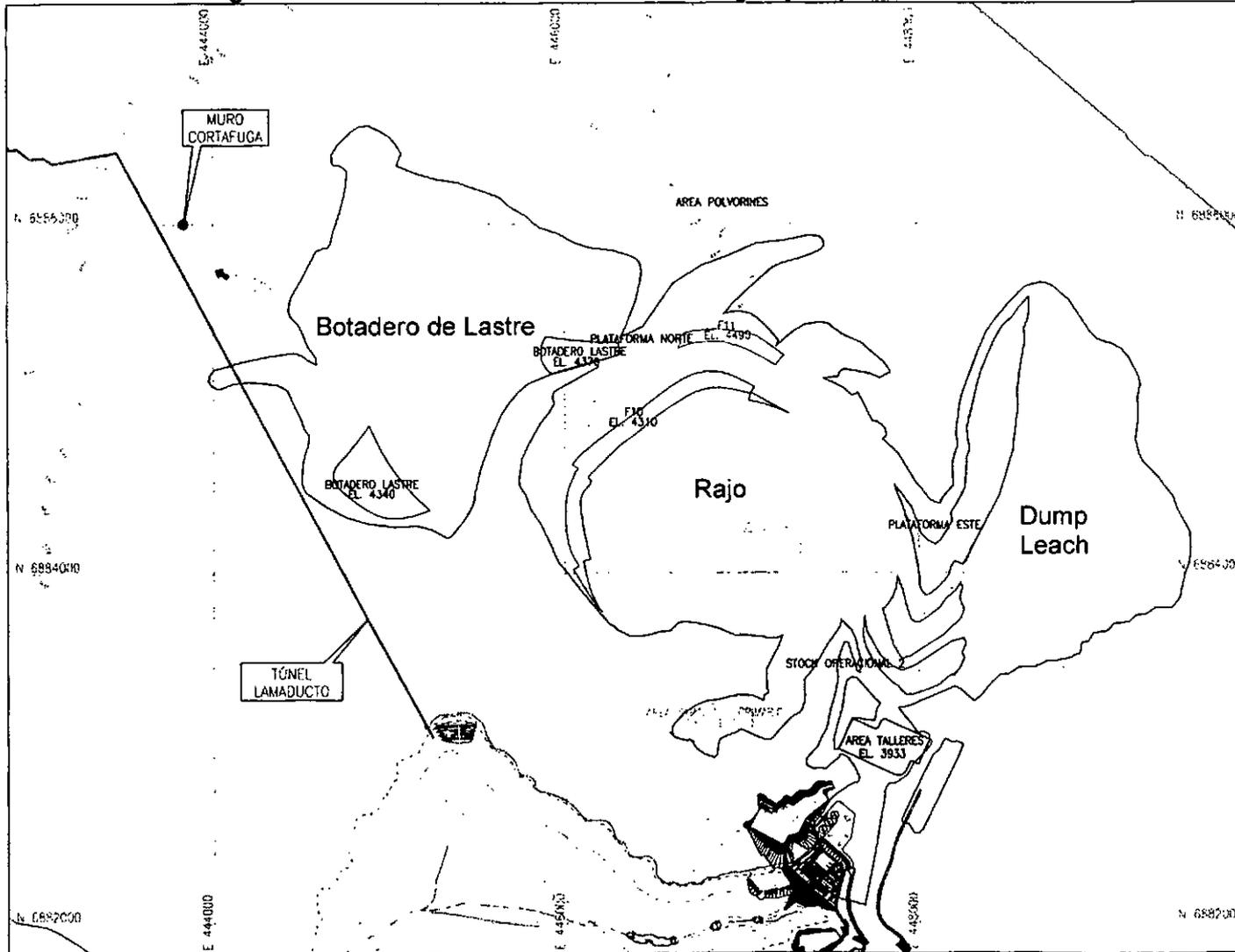
Una vista referencial del sector se muestra en la Figura 1-2.

**Figura 1-2 Vista General Sector del Proyecto.**



En la Figura 1-3 se muestra la ubicación relativa del muro cortafugas en relación al depósito de lastre proyectado. Las coordenadas de ésta Figura se encuentran referenciadas al Datum PSAD56.

**Figura 1-3 Ubicación Relativa Muro Cortafugas y Depósito de Lastre.**



## 2 REFERENCIAS

Los siguientes antecedentes fueron usados para la realización de este documento:

Ref. 1: Amphos<sup>21</sup> (2011). *Análisis Crítico y Evaluación de la Información Relacionada al Potencial de Generación de Aguas Ácidas en el Proyecto Caserones - Informe de Avance Proyecto "Evaluación del drenaje ácido en el proyecto Caserones"* (A21SCL-2011-158-I01).

Ref. 2: ARCADIS Chile (2010). *Permisos Sectoriales Proyecto Caserones - Permiso Sernageomin - Solicitud de Autorización Botadero de Lastre Proyecto Caserones* (3596-0200-MM-INF-001).

Ref. 3: International Institute for Land Reclamation and Improvement ILRI. (1989). *Discharge Measurement Structures*. Wageningen, Holanda: ILRI.

Ref. 4: Méndez, M. V. (2001). *Elementos de Hidráulica de Canales*. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.

Ref. 5: Suárez Villar, L. M. (1982). *Ingeniería de Presas - Obras de Toma, Descarga y Desviación* (1ra ed.). Caracas, Venezuela: Ediciones Vega.

## 3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Como se mencionó, sobre la cabecera de la quebrada La Brea, y de acuerdo a la Ref. 2, se proyecta la construcción de un depósito de lastre de 750 Mton de capacidad total el cual abarcará un área aproximada de 280 Ha.

A causa de las lluvias y el deshielo, el flujo que se infiltra a través de dicho depósito de lastre será interceptado aguas abajo mediante un muro cortafugas en la quebrada mencionada, formando una suerte de pequeño embalse aguas arriba del muro en concreto.

Luego, las aguas interceptadas por el muro serán transportadas a una cámara aforadora ubicada aguas abajo del muro cortafugas. El mecanismo de aforo consistirá en un vertedero triangular convencional que mantendrá una pequeña poza de agua en la cámara.

Aguas abajo del vertedero triangular, el flujo escurrirá a régimen libre hacia una cámara de tratamiento pasivo, la cual contendrá bloques de calcita que permitirán disminuir el pH del flujo hasta niveles acordes a lo requeridos por la autoridad.

La descarga de la cámara de tratamiento pasivo retornará el flujo al cauce original.

#### 4 CAUDAL DE DISEÑO

Para fijar el caudal de diseño de las obras de aforo, canalización y tratamiento pasivo del flujo, se adoptó el valor medio anual de la subcuenca A1 de la quebrada La Brea presentado en la Ref. 1 e igual a:

$$Q_D = 0,004 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 5 DISEÑO DE OBRAS

##### 5.1 CÁMARA DE AFORO

Se trata de la primera cámara que recibe el flujo directamente desde el muro cortafugas. El proyecto de la estructura vendrá asociado al sistema de aforo de la misma, el cual por simplicidad se decidió que fuese un vertedero triangular de pared delgada, cuyo diseño se realizó siguiendo las recomendaciones de la Ref. 3.

El caudal capaz de descargar un vertedero triangular se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{8}{15} \cdot C_e \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot h_e^{2,5}$$

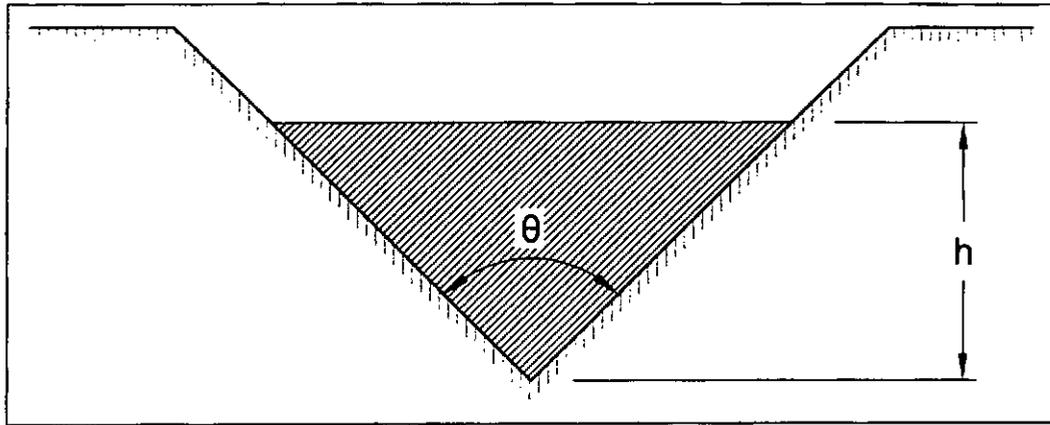
Dónde:

- $Q$ : Caudal descargado por el vertedero ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- $C_e$ : Coeficiente efectivo de descarga.
- $g$ : Aceleración gravitacional ( $\text{m}/\text{s}^2$ ).
- $\theta$ : Ángulo interno del vertedero triangular ( $^\circ$ ).
- $h_e$ : Carga efectiva del flujo (m).

Un esquema de las principales variables se muestra en la

Figura 5-1:

**Figura 5-1 Esquema Vertedero Triangular.**



Tradicionalmente los vertederos triangulares de aforo se diseñan con un ángulo interno de  $90^\circ$ , sin embargo, y debido al pequeño caudal de diseño, se considera que el aforador La Brea tenga un ángulo interno de tan sólo  $30^\circ$ , esto permitirá que los caudales entrantes varíen el nivel de la poza aguas arriba de manera más perceptible, reduciendo de esta forma el error en la medición.

Para un vertedero triangular con  $\theta = 30^\circ$ , el coeficiente efectivo de descarga es igual a  $C_e = 0,586$ .

La carga efectiva del flujo considera la altura de AMD, medida desde el vértice del triángulo, más un factor " $K_h$ " que toma en consideración los efectos combinados de las propiedades del fluido, este factor depende básicamente del ángulo interno del vertedero, lo cual para  $\theta = 30^\circ$  es igual a  $K_h = 0,00218 m$ , por lo que  $h_e = h + 0,00218$ .

Resolviendo la ecuación presentada para el caudal de diseño, resulta que la altura de AMD sobre el vertedero es igual a:

$$h = 0,16 m$$

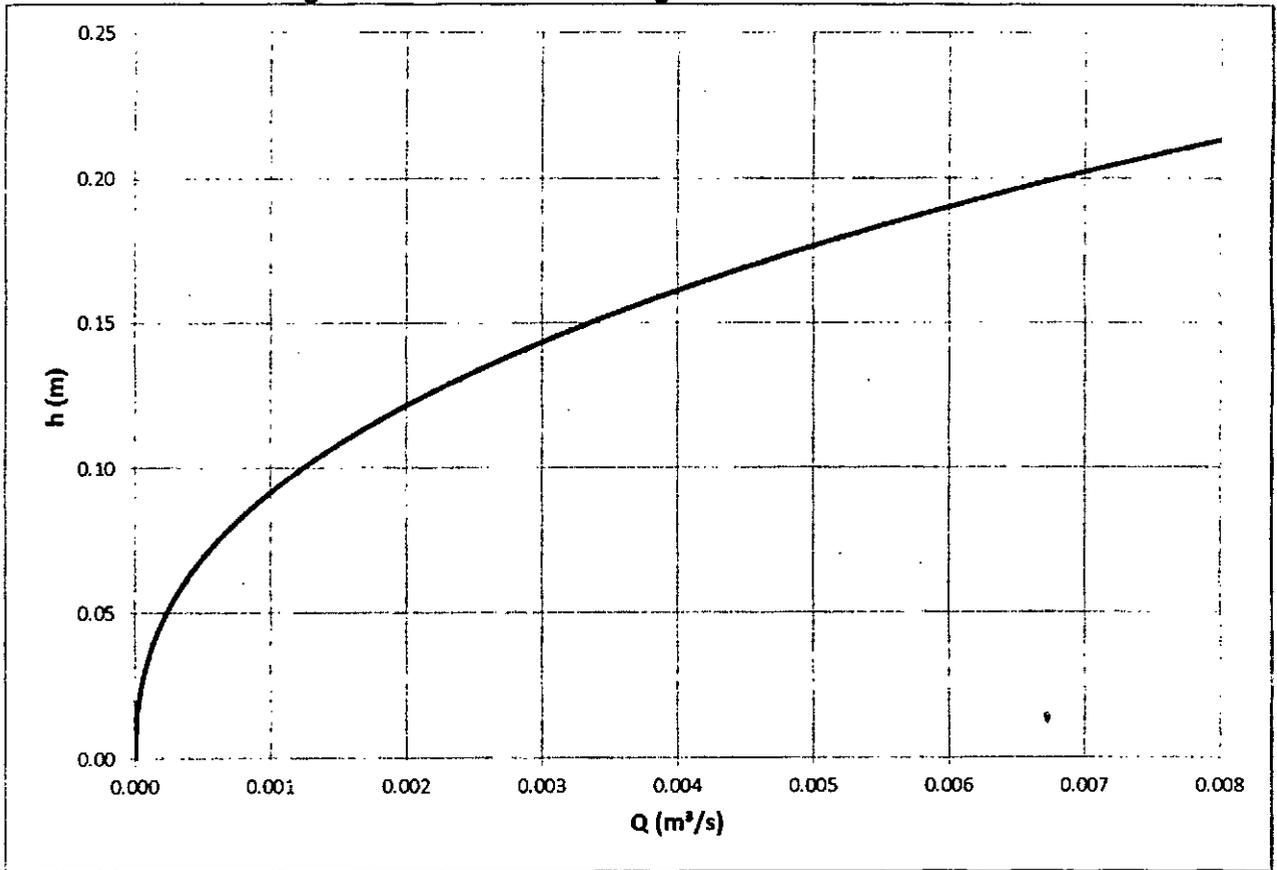
Repitiendo este mismo procedimiento para distintos caudales, se obtiene la curva de descarga cuyos valores son presentados en la Tabla 5-1 y graficados en la

Figura 5-2:

**Tabla 5-1 Descarga Aforador La Brea**

Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Altura del Flujo (m)
0,0000	0,00
0,0005	0,07
0,0010	0,09
0,0015	0,11
0,0020	0,12
0,0025	0,13
0,0030	0,14
0,0035	0,15
0,0040	0,16
0,0045	0,17
0,0050	0,18
0,0055	0,18
0,0060	0,19
0,0065	0,20
0,0070	0,20
0,0075	0,21
0,0080	0,21

**Figura 5-2 Curva de Descarga Aforador La Brea.**

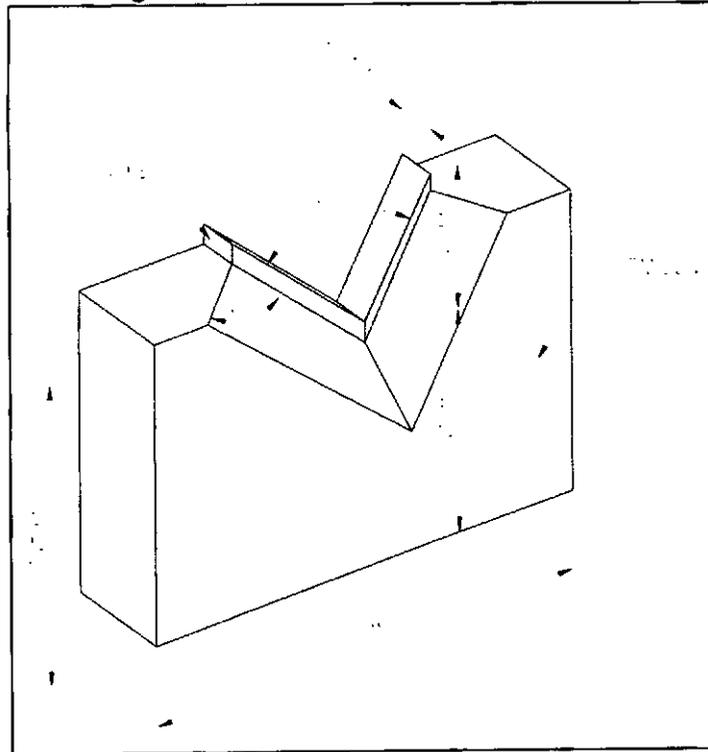


Es importante mencionar que para mantener la condición hidráulica de vertedero de pared delgada, en la parte interna del triángulo debe insertarse una lámina de HDPE u otro material resistente a la acidez del flujo cuyo espesor no supere los 2 mm tal como se muestra en la



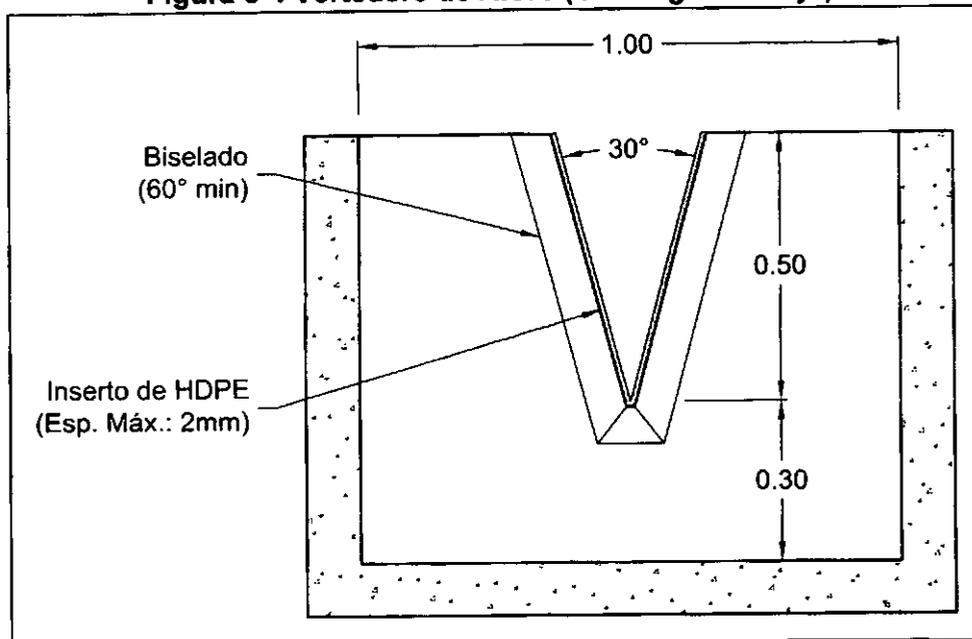
Figura 5-3:

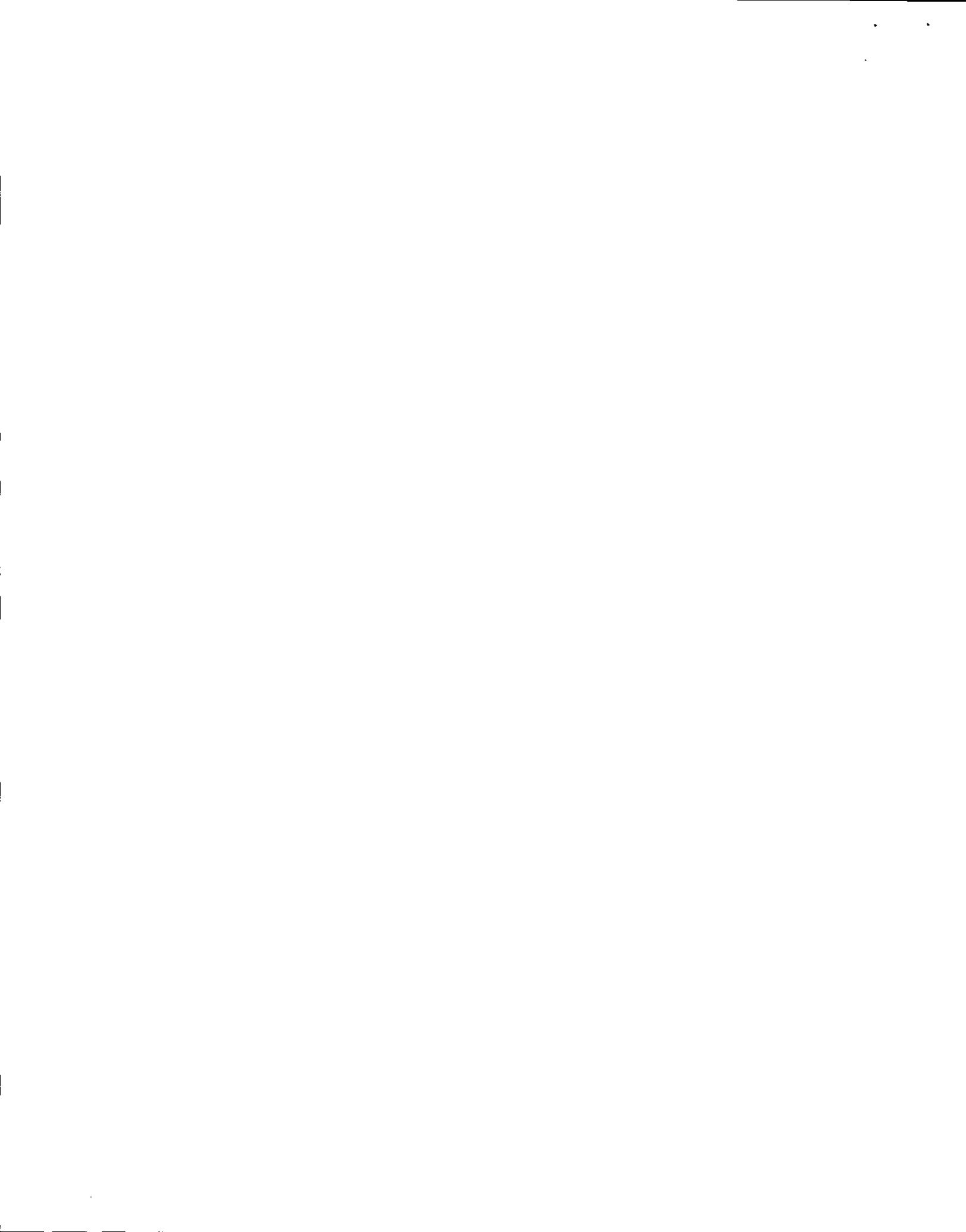
**Figura 5-3 Detalle Sección Vertedora.**



Finalmente, el diseño del vertedero se muestra en la Figura 5-4:

**Figura 5-4 Vertedero de Aforo (Cara Aguas Abajo).**

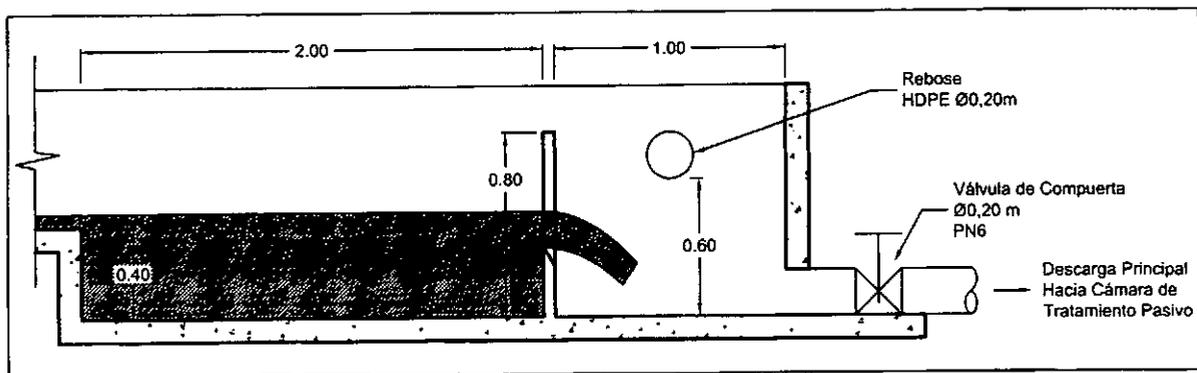




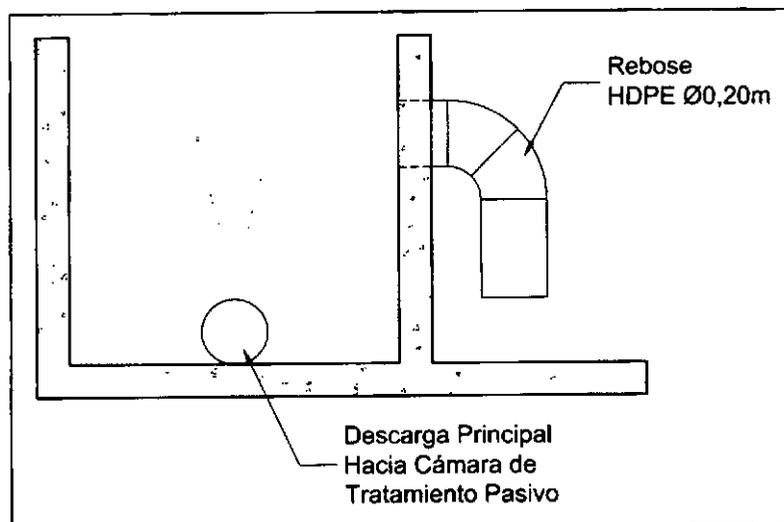
Con la idea de realizar un correcto aforo de los caudales que pasan a través del vertedero, la Ref. 3 recomienda que el canal de aproximación a la estructura de aforo tenga de 3 a 4 veces la carga máxima de la misma. Conservadoramente, y por razones constructivas, se decidió dejar el canal de aproximación a la estructura de 2,0 m de largo lo cual cumple con la recomendación anteriormente mencionada.

La cámara ubicada aguas abajo del vertedero triangular, y que recibirá el flujo proveniente de éste se fijó con un largo de 1,0 m. Esta cámara contará con una tubería de rebose de diámetro igual a 0,20 m la cual entrará en funcionamiento únicamente en caso que la tubería de descarga principal se encuentre bloqueada.

Un vista lateral y frontal de éstas obras se muestran en la Figura 5-5 y Figura 5-6 respectivamente.



**Figura 5-5 Vista Lateral Cámara de Aforo.**



**Figura 5-6 Vista Frontal Cámara de Aforo.**

## 5.2 TUBERÍA DE DESCARGA CÁMARA DE AFORO

Aguas abajo se ubica la tubería que llevará el escurrimiento hasta la cámara de tratamiento pasivo.

El principal elemento para la determinación del diámetro de la tubería está dado por el cumplimiento del criterio de que la altura del flujo no supere el 70% del diámetro del conducto. Para el cálculo de las condiciones del flujo dentro de la aducción se utilizó la ecuación propuesta por Manning la cual expresa:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Dónde:

- $Q$ : Caudal de diseño ( $m^3/s$ ).
- $n$ : Coeficiente de rugosidad de Manning.
- $A$ : Área de la sección transversal de la tubería ( $m^2$ ).
- $R$ : Radio hidráulico de la sección transversal de la tubería (m).
- $S$ : Pendiente de fondo de la tubería (m/m).

Considerándose una tubería plástica de HDPE, resistente a la acidez del flujo, se adoptó un coeficiente de rugosidad de Manning igual a  $n = 0,011$ , esto considerando el desgaste que sufrirá con el paso del tiempo las paredes del conducto como otras pequeñas imperfecciones producto del montaje en terreno.

De igual manera, y para garantizar la estabilidad del flujo, se aplicará la siguiente recomendación de la Ref. 4 respecto al número de Froude del flujo:

- Para canales con régimen subcrítico, fijar el número de Froude bajo el siguiente valor:

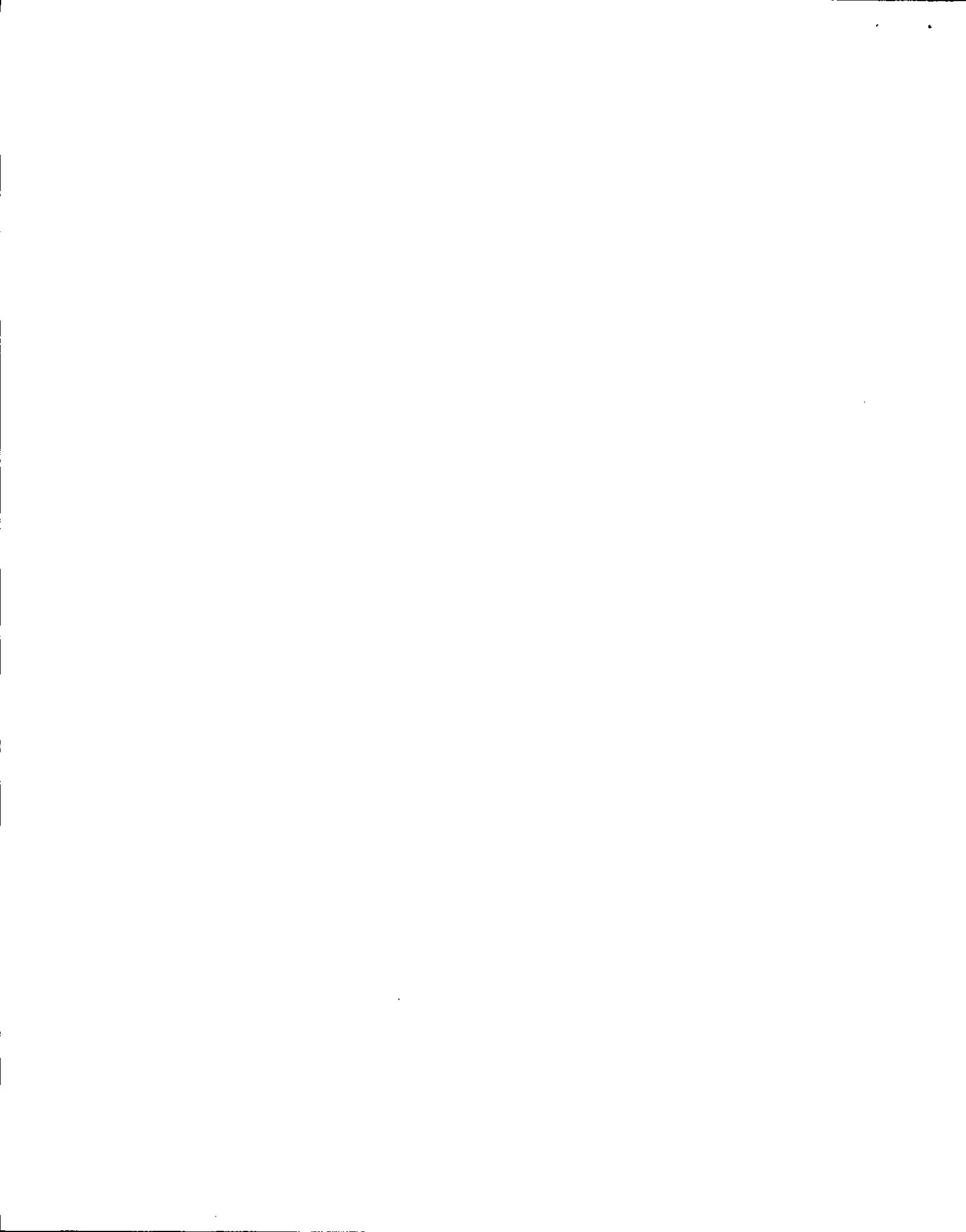
$$F \leq 0,86$$

- Para canales con régimen supercrítico, fijar el número de Froude sobre el siguiente valor:

$$F \geq 1,13$$

Para el diseño de la misma se considerará primeramente una pendiente del 0,002 m/m, y posteriormente se verificará el comportamiento hidráulico para la pendiente media del cauce, igual a 0,21 m/m.

Con el caudal de diseño  $Q = 0,004 m^3/s$ , una pendiente de diseño de  $S = 0,002 m/m$  y un coeficiente de rugosidad de Manning igual a  $n = 0,011$ , se obtiene:



**Tabla 5-2 Características Flujo Pendiente de Diseño.**

Diámetro (m)	Altura Normal del Flujo (m)	Velocidad Normal Del Flujo (m/s)	Número de Froude	Altura Flujo vs Diámetro	Altura Crítica (m)	Pendiente Crítica (m/m)
0,20	0,13	0,19	0,18	63,4%	0,05	0,0046

De la Tabla anterior se observa que una tubería de diámetro interno igual a 0,20 m cumple con todo los criterios de diseño.

Manteniendo el mismo diámetro y repitiendo el procedimiento para una pendiente de  $S = 0,21 \text{ m/m}$ , se obtiene:

**Tabla 5-3 Características Flujo Pendiente Media del Cauce**

Diámetro (m)	Altura Normal del Flujo (m)	Velocidad Normal Del Flujo (m/s)	Número de Froude	Altura Flujo vs Diámetro	Altura Crítica (m)	Pendiente Crítica (m/m)
0,20	0,02	2,32	6,23	10,4%	0,05	0,0046

Finalmente, nótese que para el primer caso evaluado (Tabla 5-2) el flujo es netamente subcrítico, mientras para el segundo caso (Tabla 5-3) el flujo presenta un régimen netamente supercrítico, esto indica que existen pendientes intermedias que provocan un comportamiento del flujo el cual se considera inestable por encontrarse cercano a la condición de régimen crítico.

De acuerdo a lo anterior, el rango de pendientes entre 0,0035 m/m hasta 0,0060 m/m inclusive deben ser evitadas en lo posible, especialmente la pendiente crítica igual a 0,0046 m/m.

La descarga de esta tubería en la cámara de tratamiento pasivo se debe realizar por la parte superior de la misma sin que ningún elemento obstaculice el flujo circulante.

### 5.3 CÁMARA DE TRATAMIENTO PASIVO

Se ubica aguas abajo de la cámara de aforo y de su tubería de descarga. Su función consiste en hacer circular el flujo ácido de AMD a través de un enrocado de caliza para así progresivamente elevar el pH del flujo hasta los niveles requeridos.

Desde el punto de vista químico, para realizar el cálculo del tamaño del sistema de tratamiento pasivo, se consideraron los siguientes datos informados en la Ref. 1 y presentados en la Tabla 5-4:

**Tabla 5-4 Características del Flujo.**

Parámetro	Valor	Unidades	Observación
pH	5,5		Dato
Sulfato	8000	ppm	Dato
Cobre	1	ppm	Dato
Fe	0,08	ppm	Dato
Al	0,1	ppm	Dato

En forma adicional, se consideraron los siguientes supuestos y requerimientos del tratamiento, los que son presentados en la Tabla 5-5. Para efectos de este estudio, se consideraron supuestos a partir de la experiencia en tratamiento de otros proyectos de drenaje ácido de boteros realizados por ARCADIS Chile.

**Tabla 5-5 Datos y Supuestos de Cálculo.**

Criterios Para el Calculo	Valor	Unidades	Observación
pH final requerido	6		Dato
Consumo de Cal	0,6	kg Cal/kg SO4	Supuesto
Tiempo para neutralización	40	min	Supuesto
Gravedad específica	2,3	t/m3	Dato
Densidad aparente de caliza	2.400 – 2.723	kg/m3	Dato
Porosidad del lecho de caliza	0,65		Cálculo
Pureza de caliza	40	%	Valor requerido

A partir de esta información, se calcula la caliza querida para el funcionamiento de al menos 2 semanas de operación continua (considerando el flujo y concentraciones de diseño), y a partir de la densidad aparente, se calcula el tamaño del lecho de caliza.

Luego, el volumen libre del lecho (espacio sin calcita) se compara con el volumen requerido para cumplir el tiempo de residencia de diseño (40 minutos) y se verifica si cumple con el valor.

A continuación se muestran los valores de los pasos a seguir para el cálculo de la cantidad de caliza requerida para la neutralización del drenaje.

**Tabla 5-6 Cálculo del Lecho de Caliza.**

Cálculo de Cal Requerida	Valor	Unidades	Observación
Cantidad de sulfato en flujo	32	g/s	Cálculo
Caliza requerida	19,2	g/s	Cálculo
Caliza requerida al mes	50	t/mes	Cálculo
Caliza comercial requerido	124,4	t/mes	Cálculo
Volumen lecho	155,52	m <sup>3</sup>	Cálculo

**Tabla 5-7 Verificación por Tiempo de Residencia.**

Verificación Tiempo Residencia	Valor	Unidades	Observación
Volumen libre requerido	9,6	m <sup>3</sup>	Por tiempo residencia
Volumen libre disponible	101	m <sup>3</sup>	Por tamaño lecho

Como el volumen libre del lecho es mayor que el volumen requerido para cumplir con el tiempo de residencia, se mantiene este tamaño del lecho como el diseño final.

Desde el punto de vista hidráulico, el diseño de la cámara de tratamiento pasivo se realizó de manera de obligar al flujo a seguir un recorrido zigzagueante a través de la misma, consistiendo en ocho sub-cámaras de 2,0 m de ancho por 4,0 m de largo, esto debido a que la cámara será ubicada en el actual camino de servicio localizado en la margen derecha del cauce. Para garantizar el suficiente tiempo de retención del flujo, la cámara deberá contar con una pendiente longitudinal igual a 0,001 m/m.

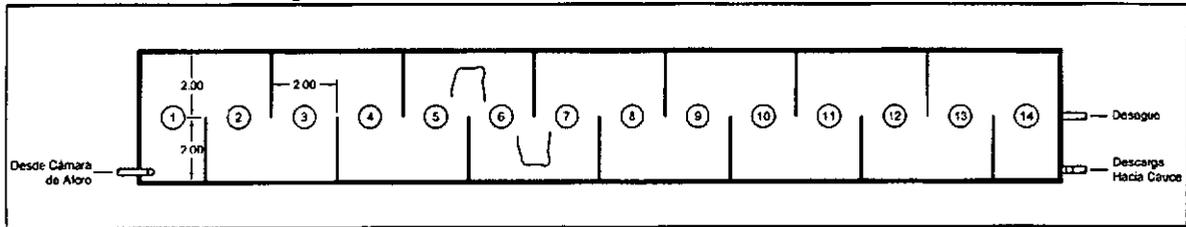
Las paredes de la cámara tendrán una altura total de 1,70 m, sin embargo, el enrocado de cal deberá alcanzar una altura máxima dentro de la cámara de 1,50 m. La descarga del flujo tratado se realizará mediante una tubería de HDPE de 0,20 m de diámetro y cuya clave se ubicará 0,10 m bajo el nivel de enrocado protegiendo la entrada a la misma mediante una malla plástica con orificios de 0,03 m de diámetro mínimo.

Como sistema de seguridad se dispone de una tubería ubicada en el radier de la cámara para realizar el vaciado de la misma, y de una tubería de rebose cuya clave coincide con el tope del muro de la cámara. Ambas tuberías tendrán un diámetro de 0,20 m estructuradas en HDPE.

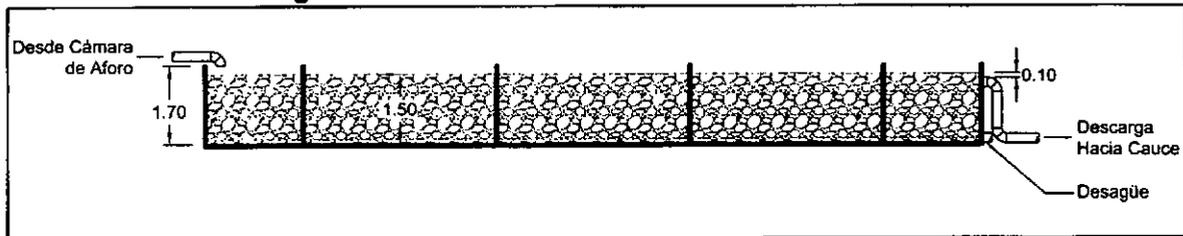
Se recomienda que la estructura de la cámara se realice usando materiales plásticos como HDPE o PRFV resistentes al medio ácido, y que para garantizar su integridad física esta se encuentre semienterrada.

Un esquema en planta y perfil de la cámara de tratamiento pasivo se muestra en la Figura 5-7 y Figura 5-8 respectivamente, mientras en la figura 5-9 se muestra un detalle del sistema de desagüe y rebose de la cámara.

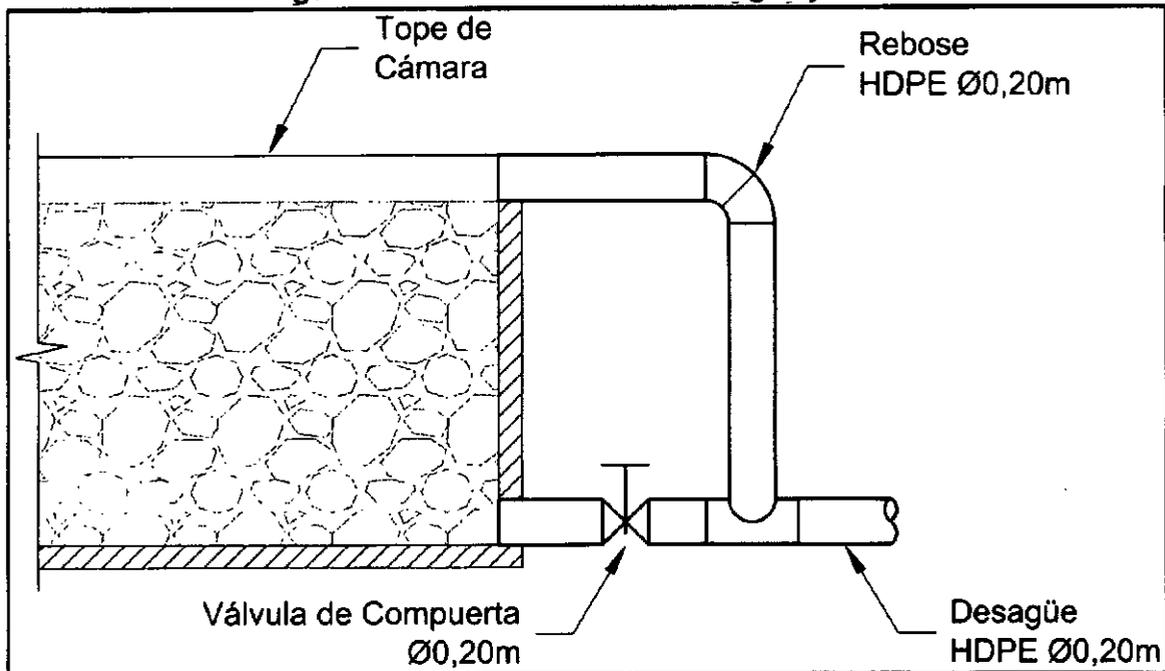
**Figura 5-7 Planta Cámara de Tratamiento Pasivo.**



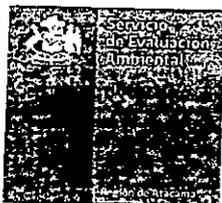
**Figura 5-8 Perfil Cámara de Tratamiento Pasivo.**



**Figura 5-9 Detalle Sistema de Desagüe y Rebose.**



Finalmente, la descarga del flujo tratado se realizará mediante una tubería de HDPE de 0,20 m de diámetro cuya descarga debe ubicarse al menos 5,0 m desde la pared o talud externo donde se ubique la cámara de tratamiento pasivo.



OI N° **285**

ANT.: Carta MLCC 117/2013 ingresada al SEA el 25.09.2013.

MAT.: Solicita pronunciamiento

COPIAPO, 26 SET. 2013

DE: DIRECTORA REGIONAL SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL  
REGION DE ATACAMA

A : SEGÚN CORRESPONDA

Por medio del presente se solicita a su servicio que, en el marco de su competencia, y conforme a los antecedentes que se adjuntan emita un pronunciamiento respecto a consulta efectuada por SCM Minera Lumina Copper Chile, Titular del proyecto "Caserones" (RCA N°13/2010), sobre la validación del diseño del sistema de tratamiento pasivo para el drenaje ácido de mina, en consideración que la citada resolución estableció en el Considerando 12, numeral 6 que "El sistema de tratamiento pasivo, para el depósito de lastre, se deberá diseñar de acuerdo a los antecedentes hidrogeológicos de la quebrada La Brea, a los que se refiere el numeral 5. El sistema de tratamiento pasivo deberá ser validado por la Autoridad Ambiental, previo informe favorable de los órganos de la administración del Estado competentes, y mientras no se emita la respectiva validación favorable el Proyecto no operará."

Dicho pronunciamiento deberá ser remitido antes del día jueves 10 de octubre del 2013.

Sin otro particular, saluda atentamente a Usted,



*Livia Pereira Valdés*  
**LIVIA PEREIRA VALDES**  
Directora Regional  
Servicio de Evaluación Ambiental  
Región de Atacama

*OP / JES*  
DISTRIBUCIÓN

- Sr. Antonio Vargas Riquelme, Director DGA, Región de Atacama.
- Sr. Jaime Herrera Gonzalez, Director SERNAGEOMIN, Región de Atacama.

— Archivo expedientes SEA Atacama

Santiago, 23 de septiembre de 2013  
MLCC 119/ 2012

SERVICIO DE EVALUACION  
AMBIENTAL DE ATACAMA  
FECHA 26 SET. 2013 3159  
A Ep - JO - OP

Señor  
Jaime Prohens Espinosa  
Presidente  
Comisión de Evaluación Ambiental Atacama  
Presente

Ref.: Solicita validación por parte de la Comisión de Evaluación Región de Atacama de los antecedentes hidrogeológicos complementarios del proyecto Caserones entregados por SCMMLCC.

De mi consideración:

Como es de su conocimiento, mediante Resolución Exenta N° 013, de fecha 13 de enero de 2010 (en adelante la "RCA"), de la COREMA Región de Atacama, fue calificado ambientalmente en forma favorable el proyecto minero "Caserones" (en adelante el "Proyecto"), de SCM Minera Lumina Copper Chile (SCMMLCC).

Específicamente, el numeral 5 del Considerando 12 de la RCA del proyecto Caserones establece la condición/exigencia específica que dispone lo siguiente:

*"En lo que se refiere a la calidad y cantidad del recurso hídrico, el Titular del proyecto, en un plazo máximo de 6 meses de notificada la Resolución de Calificación Ambiental, entregará a la COREMA la información que será utilizada para el desarrollo de la ingeniería de Detalles, referida a: antecedentes hidrogeológicos de línea base del área de influencia del proyecto, (levantamiento geofísico de perfiles TEM de alta resolución en los sectores donde se ubicarán los pozos de remediación, pruebas de bombeo individuales de 3 días cada uno y simultáneas en cada conjunto de pozos de remediación por 20 días de duración; en los depósitos de relaves: levantamiento geofísico de perfiles, perfiles de control de recarga de agua subterránea mediante pruebas de bombeo específicas; en relación a los niveles freáticos, levantamiento de información con 10 pozos adicionales de 40-60 m. de los diseños y sistemas de monitoreo y control de infiltraciones. Dichos antecedentes **deberán ser validados por la Autoridad Ambiental**, previo informe favorable de los órganos competentes de la administración del Estado, y mientras no se emita la respectiva validación favorable el Proyecto no operará. Si la ingeniería de Detalles indicara la necesidad de modificar alguno de los diseños descritos en el EIA, el Titular presentará ante la Autoridad Ambiental la pertinencia de ingreso al SEIA de dichos cambios, y se atenderá al pronunciamiento de dicha Autoridad Ambiental".*



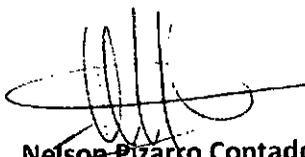
Asociados a este compromiso se puede resumir las comunicaciones realizadas a lo siguiente:

- Agosto de 2010: Se presentan antecedentes a la Comisión de Regional del Medio para su validación, mediante carta MLCC 193/10, correspondientes al informe completo de Quebrada La Brea y al informe de avance de la Quebrada Caserones.
- Enero de 2011: Mediante Carta MLCC 021/2011 se ingresan ambos informes completos, denominados "Estudios Hidrogeológicos Complementarios – Control Infiltraciones – Depósito de Lamas Quebrada La Brea" Revisión A y "Estudios Hidrogeológicos Complementarios – Control Infiltraciones – Depósito de arenas Quebrada Caserones", Revisión A, ambos de Enero 2011
- Noviembre de 2011: se recibieron observaciones realizadas por la Dirección Regional del SEA, mediante carta N° 1337.
- 03 de enero de 2012: Mediante carta MLCC 003/12 SCMLCC envía respuestas a observaciones realizadas en noviembre de 2011.

Desde entonces (enero de 2012) no se ha recibido nueva información acerca del proceso, por lo que entendemos que los órganos competentes de la administración del Estado ya no tienen nuevas observaciones.

Por tanto, considerando el compromiso indicado y que se requiere de su validación antes de que el proyecto comience la operación de la planta concentradora, solicitamos a usted validar los antecedentes entregados.

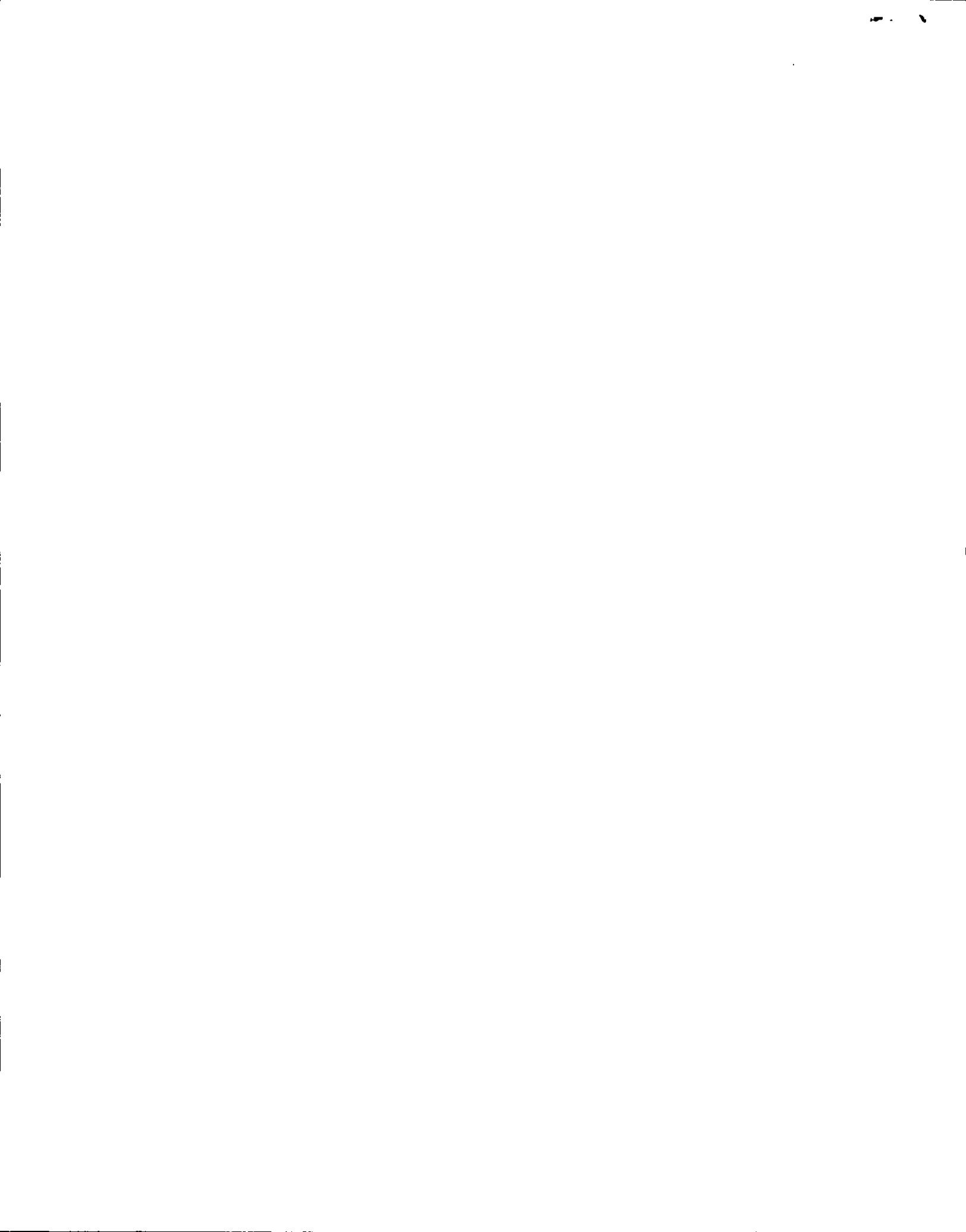
Sin otro particular, saluda atentamente a usted,



**Nelson Pizarro Contador**  
**Representante Legal**  
**SCM Minera Lumina Copper Chile**



cc. Archivo





ORD.: N° **294**

ANT.: Ord. DGA N° 212 de 30 de Marzo de 2012.  
Ord. SEA N° 074 de 09 de Marzo 2012.

MAT.: Solicita pronunciamiento.

COPIAPO, **02 OCT. 2013**

**DE: SRA. OLIVIA PEREIRA VALDÉS**  
**DIRECTORA REGIONAL SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL,**  
**REGIÓN DE ATACAMA**

**A: SR. ANTONIO VARGAS RIQUELME**  
**DIRECTOR REGIONAL DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, REGIÓN DE ATACAMA**

Por este intermedio, en relación a los informes denominados "Estudios Hidrogeológicos Complementarios – Control Infiltraciones – Depósito de Lamas Quebrada La Brea", Revisión A y "Estudios Hidrogeológicos Complementarios – Control Infiltraciones – Depósito de Arenas Quebrada Casetones", Revisión A, asociados al "Proyecto Caserones", RCA N° 13/2010, me permito reiterar a Ud. la solicitud de pronunciamiento respectiva, en un plazo no mayor al día 10 de octubre de 2013.

Sin otro particular le saluda atentamente a Ud.

  
  
**OLIVIA PEREIRA VALDÉS**  
**DIRECTORA REGIONAL**  
**SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL**  
**REGIÓN DE ATACAMA**

VOP/vop

Distribución:

- Sr. Director Regional DGA, Región de Atacama.
- Cc.
- Expediente proyecto "Proyecto Caserones"
- Archivo.



ORD.: N° 752.-

**ANT.** : Ord. SEA Atacama N°294, de 2 de octubre de 2013; Ord. D.G.A. Atacama N°212, de 30 de marzo de 2012; Ord. SEA Atacama N°74, de 9 de marzo de 2012.

**MAT.** : Pronunciamiento N°3 sobre Informes Complementarios sobre la hidrogeología de la Quebrada Caserones y La Brea, asociados al proyecto denominado *Proyecto Caserones*.

SERVICIO DE EVALUACION  
AMBIENTAL DE ATACAMA

FECHA 21 OCT 2013 3430

ep - VOP

COPIAPÓ, 18 OCT 2013

**DE: DIRECTOR REGIONAL D.G.A. REGIÓN DE ATACAMA**

**A : DIRECTORA REGIONAL SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL  
REGIÓN DE ATACAMA**

Junto con saludarle, en relación a los antecedentes adjuntos a su Ord. SEA Atacama N°74/2012 indicado en el **ANT.**, a través del cual Ud. requirió a este Servicio un pronunciamiento respecto de las respuestas que el Titular del proyecto denominado *Proyecto Caserones*, aprobado ambientalmente mediante RCA COREMA Atacama N° 13/2010, presentó a las observaciones emanadas por parte de este Órgano de la Administración del Estado mediante el Ord. D.G.A. Atacama N°762, de 22 de noviembre de 2011, relacionadas por cierto con lo expresado en el Ord. D.G.A. Atacama N°759, de 4 de noviembre de 2010, todos referidos a la revisión de los documentos: *Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control de Filtraciones Depósito de Lamas Quebrada La Brea (SRK Consulting, Enero 2011)*, y *Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control de Filtraciones Depósito de Arenas Quebrada Caserones (SRK Consulting, Enero 2011)*, y sus actualizaciones, cumpla con informar a Ud. lo siguiente:

1) Sobre los alcances específicos formulados a los ya citados estudios hidrogeológicos, en su versión *Revisión A*, en relación al depósito de lamas, se tiene la solicitud al Titular de presentar una descripción detallada de las obras de captación y conducción de todo el sistema asociado a la barrera hidráulica, y su correspondiente programa de mantención, incluida la caracterización de emplazamiento del muro cortafuga. Al respecto, en el numeral 4.3.1 del documento denominado *Plan de Seguimiento - Proyecto Caserones*, sobre la caracterización de la respectiva zanja cortafuga, el Titular señala que (Textual) "*En Anexo C1 se adjunta Memoria Técnica y plano 3549-664-OC-PLA-029 con la ubicación en planta de la zanja cortafuga*". No obstante ello, cabe mencionar que, dichos antecedentes no han sido acompañados por el Titular en su presentación. Asimismo, cabe señalar que, en el mismo numeral, se presenta la *Figura N° 4.6.1, Plano Planta Zanja Cortafuga Depósito Lamas*, la cual se muestra en un bajo nivel de resolución y en un formato reducido, impidiendo así su correcta visualización. Sobre lo anterior, se solicita al Titular acompañar los antecedentes faltantes, con su respectivo detalle descriptivo y set de planos correspondientes, los que deben ser presentados en un formato de Impresión A3 y en alta resolución, todo lo cual permita ilustrar cabalmente los detalles de configuración y funcionamiento del sistema en cuestión en su conjunto, ello en cuanto a los componentes que lo conforman, el dimensionamiento de sus partes, así como su conectividad, entre otros aspectos.

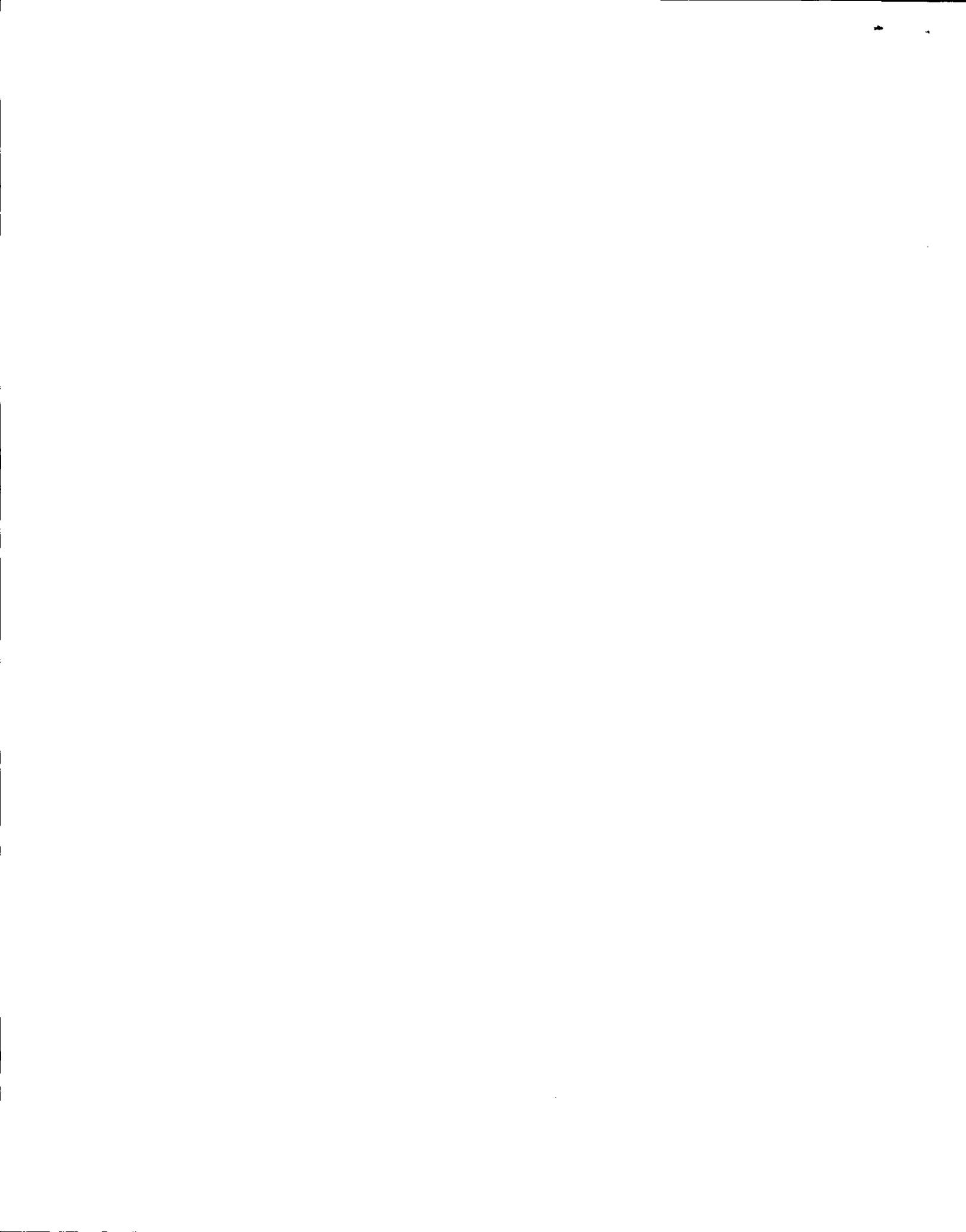


2) A su vez, se reitera al Titular la siguiente observación planteada en el Ord. D.G.A. N°762/2011, toda vez que, conforme a los antecedentes aportados en esta Presentación, no es posible advertir una respuesta al respecto, correspondiendo la observación como sigue (Textual) "..., se solicita al titular que, con los antecedentes recabados y analizados en el presente Estudio, describa de manera más explícita cómo evoluciona una eventual traza contaminante en términos del tiempo en que ésta permanece en el medio acuífero y cómo además se relacionan los actuales resultados obtenidos de la simulación de transporte de contaminante con los presentados durante el proceso de evaluación ambiental, de manera de mejor sustentar las conclusiones del presente estudio que dicen relación con que ante un episodio de infiltración simulada durante 1 a 3 años, el bombeo en la barrera hidráulica permite cumplir el objetivo de mantener las condiciones naturales del sistema, y que una barrera conformada por dos pozos de extracción permite cumplir con el objetivo de cero contaminación.". En relación a ello, cabe precisar que, el único antecedente aportado por el Titular sobre la materia corresponde nuevamente al documento denominado *Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control de Filtraciones Depósito de Lamas Quebrada La Brea Revisión A*, el que justamente se refiere a las observaciones planteadas en el Ord. D.G.A. N°762/2011. Misma situación se tiene sobre la misma materia, pero referido al depósito de arenas. Se solicita al Titular responder ambos requerimientos.

3) Del mismo modo, y en relación al depósito de arenas, se tiene que, el Titular no ha dado respuesta a la siguiente observación del Ord. D.G.A. N°762/2011 (Textual) "...se solicita al titular que justifique la gran diferencia de resultados observados entre los presentados durante el proceso de evaluación ambiental y los que ahora se presentan, es decir, de 28 a 2 litros por segundo como caudal de extracción a remediar, así como el número de pozos de remediación de 5 a 2.". Se requiere al Titular responder la observación en cuestión.

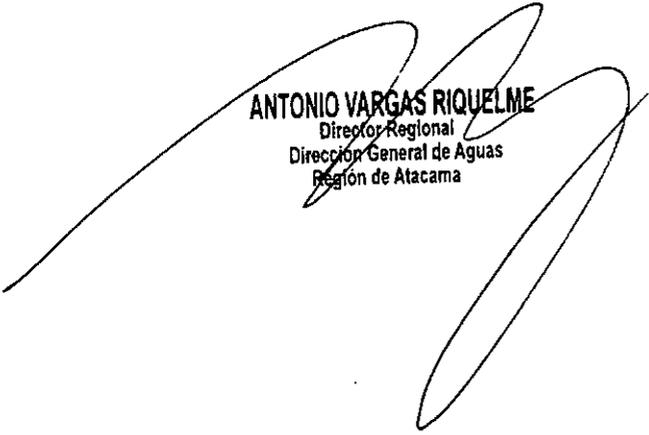
4) Sobre el asunto, resulta conveniente mencionar que, mediante Carta MLCC 132/2012, de 30 de noviembre 2012, el Titular del proyecto en cuestión presentó ante esta Dirección para su revisión el documento denominado *Plan de Monitoreo del Recurso Hídrico Proyecto Caserones (Noviembre 2012)*, referido éste al denominado *Plan de Monitoreo Robusto* que establece el Considerando N°12 numeral 9 de la precitada RCA.

5) Así, en relación al precitado *Plan de Monitoreo del Recurso Hídrico Proyecto Caserones*, por intermedio del Ord. D.G.A. Atacama N°470, de 11 de julio de 2013, este Servicio se pronunció con observaciones, las que apuntan tanto a aspectos de calidad como de cantidad de recursos hídricos asociados al área de influencia de la mencionada iniciativa minera, siendo por cierto esas materias observadas relacionadas directamente con los planteamientos expresados por esta Dirección a los señalados estudios hidrogeológicos.



6) Siguiendo ese orden de ideas, se solicita entonces al Titular complementar las indicaciones faltantes que han sido precisadas en el presente Acto, ello en consideración de las observaciones expresadas por este Servicio en el ya citado Ord. D.G.A. N°470/2013.

Saluda atentamente a Ud.,



**ANTONIO VARGAS RIQUELME**  
Director Regional  
Dirección General de Aguas  
Región de Atacama



AVR/JP/PA  
**DISTRIBUCIÓN:**

- Destinatario
- Archivo Unidad de Fiscalización y Medio Ambiente D.G.A. Región de Atacama
- Archivo E.I.A Proyecto Caserones, Unidad de Fiscalización y Medio Ambiente D.G.A. Región de Atacama
- Archivo Oficina de Partes D.G.A. Región de Atacama

N° de Proceso SSD: 7195195 -/

Santiago, 25 de octubre de 2013  
MLCC 135/2013.

A Exp-10

Señora  
Olivia Pereira  
Directora Regional  
Servicio de Evaluación Ambiental  
Región de Atacama  
Presente

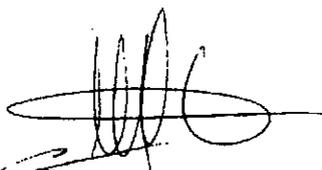
Ant.: Carta N° 603 del 18 de julio 2013 del SEA Región de Atacama

Ref.: Respuesta a Ord. DGA Atacama N° 470/13 respecto al Plan de Monitoreo – Parte Calidad.

De mi consideración:

Adjunto a la presenta le hacemos llegar las respuestas al Ord. DGA Atacama N° 470/13 relacionadas al aspecto Calidad de Aguas del plan de monitoreo de aguas del proyecto Caserones, también llamado Plan de Monitoreo Robusto.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,



**Nelson Pizarro Contador**  
**Representante Legal**  
**SCM Minera Lumina Copper Chile**

HP/sb

cc. Sr. Antonio Vargas, Director Regional DGA Atacama.  
Archivo

# **Respuesta al Ordinario DGA Atacama N° 470/13 respecto al Plan de Monitoreo CALIDAD Proyecto Caserones**

**Informe Preparado para**

**SCM Minera Lumina Copper Chile**

**Informe Preparado por**



SRK Consulting (Chile) S.A.  
02-2161-09  
Octubre2013

# **Respuesta al Ordinario DGA Atacama N° 470/13 respecto al Plan de Monitoreo CALIDAD**

## **Proyecto Caserones**

### **SRK Consulting (Chile) S.A.**

Av. Vitacura 2939, Piso 5  
Las Condes - Santiago  
Chile

e-mail: [santiago@srk.cl](mailto:santiago@srk.cl)  
website: [www.srk.cl](http://www.srk.cl)

Tel: +(56-2) 2489 0800  
Fax: +(56-2) 2489 0801

**Número Proyecto SRK 02-2161-09**

**Octubre 2013**

#### **Compilado por:**

Álvaro San Martín  
Senior Engineer (Hydrogeology)

Email: [asanmartin@srk.cl](mailto:asanmartin@srk.cl)

#### **Autores:**

A San Martín, O Suzuki, B Labarca

#### **Revisado por:**

Osamu Suzuki  
Principal Hydraulic Engineer  
(Hydrogeology)

## Tabla de Contenidos

<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>3</b>
1.1	Objetivo General .....	3
<b>2</b>	<b>Respuestas Sobre Calidad de Recursos Hídricos .....</b>	<b>4</b>

## Lista de Tablas

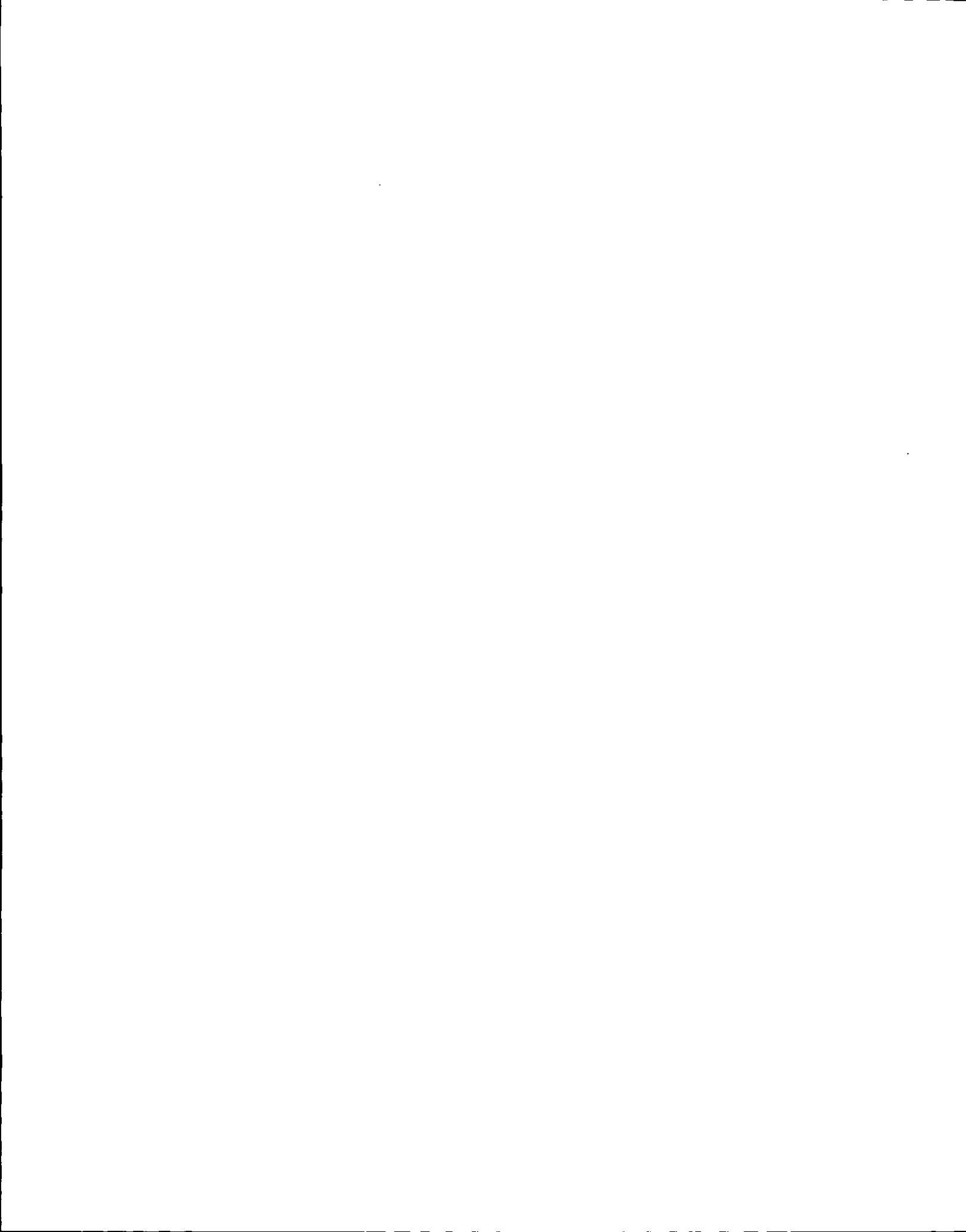
Tabla 2-1:	Puntos de monitoreo de calidad de agua superficial según PM .....	5
Tabla 2-2:	Puntos de Monitoreo de Calidad de Agua Subterránea según PM .....	6
Tabla 2-3:	Parámetros analizados según PM .....	6
Tabla 2-4:	Tabla Umbrales de Cumplimiento Máximo y Umbrales de Alerta Temprana en quebrada Caserones .....	17
Tabla 2-5:	Tabla Umbrales de Cumplimiento Máximo y Umbrales de Alerta Temprana en La Brea .....	18
Tabla 2-6:	Tabla Umbrales de Cumplimiento Máximo y Umbrales de Alerta Temprana en zona Relleno Sanitario .....	19
Tabla 2-7:	Puntos de Control asociados al Plan de Alerta Temprana/Remediación y otros puntos de monitoreo .....	23
Tabla 2-8:	Resumen caudales PoRe, derechos solicitados y caudales por quebrada .....	35

## Lista de Figuras

Figura 1:	Ubicación Puntos Plan de Monitoreo Calidad de Aguas Superficiales, Mina Caserones .....	8
Figura 2:	Ubicación Puntos Plan de Monitoreo Calidad de Aguas Subterráneas, Mina Caserones .....	10
Figura 3:	Ubicación Puntos Control Hidrogeológico Aguas abajo del Depósito de Arenas en quebrada Caserones .....	15
Figura 4:	Ubicación Puntos Control Hidrogeológico aguas abajo del Depósito de Lamas en quebrada La Brea .....	16
Figura 5:	Ubicación Puntos de Plan de Alerta Temprana y Plan de Remediación .....	24
Figura 6:	Flujograma de Metodología de Cumplimiento de Calidad .....	27
Figura 7:	Detalle de obras de recirculación de aguas de los Depósitos de Relaves .....	31

## Apéndices

Apéndice A: Determinación de Umbrales de Cumplimiento



# 1 Introducción

El proyecto Caserones, de SCM Minera Lumina Copper Chile (MLCC), fue 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.

En noviembre del 2012, MLCC hizo llegar a la autoridad ambiental el Plan de Monitoreo del Recurso Hídrico del Proyecto Caserones en donde se expuso la forma en que la minera controlaría la variable cantidad y calidad de agua donde se desarrolla el proyecto.

Mediante el Ordinario DGA Atacama N° 470/13 del 11 de julio de 2013, la autoridad expone algunas inquietudes y solicita aclarar algunas temas respecto al Plan de Monitoreo planteado.

MLCC ha solicitado a SRK Consulting (Chile) que realice los estudios necesarios para dar respuesta al Ordinario N° 470/13, documento que se identificará a continuación como Plan de Monitoreo Robusto referido a la disponibilidad y calidad del recurso hídrico.

El presente reporte conserva la estructura establecida en el ordinario antes citado en donde se plantean 16 preguntas referidas a la variable calidad de los recursos hídricos. En el cuerpo de este reporte se hace referencia a un apéndice en donde se presentan algunos temas técnicos específicos que ha sido necesario desarrollar para dar una respuesta concluyente a cada pregunta.

## 1.1 Objetivo General

El objetivo del presente documento es dar respuesta a las inquietudes referentes al monitoreo de los recursos hídricos expuestas en el Ordinario DGA Atacama N° 470/13 para la variable calidad de agua, y que constituirán parte del denominado Plan de Monitoreo Robusto (PMR).

## 2 Respuestas Sobre Calidad de Recursos Hídricos

a) En el numeral 2.1 del Plan, el Titular indica que (Textual) "...anteponiéndose a la ocurrencia de eventos que se escapen a todas las medidas de control mencionadas, MLCC considera como obras de contingencia la construcción de pozos de monitoreo para controlar la calidad de las aguas que escurren subterráneamente en dirección aguas abajo de cada depósito y la construcción de una barrera hidráulica conformada por una batería de pozos que se activará con ocasión a dicha contingencia. Esto permitirá la captura de las aguas que pudieran tener consecuencias ambientales adversas en términos de la calidad de las aguas subterráneas aguas abajo del proyecto."

Al respecto, y sin perjuicio de lo indicado en la Tabla N°3 del Plan, sobre puntos de monitoreo de calidad de aguas superficiales, en donde el Titular se remite a identificar una serie de puntos de control, sin luego acompañar una descripción de cómo se integra éste monitoreo al Plan, se solicita al Titular describir y detallar dentro de su Plan cómo incorporará el monitoreo de calidad de aguas superficiales con motivo de la ocurrencia de algún incidente que altere la calidad de los recursos hídricos dada la operación del depósito de lamas y/o el depósito de arenas, pues el seguimiento de calidad de aguas propuesto por el Titular se circunscribe sólo a la calidad de las aguas subterráneas.

### **Respuesta:**

Dentro del Plan de Monitoreo de Calidad de Agua (PM), MLCC cuenta con 29 puntos de agua superficial (Tabla 2-1) y 22 puntos para las aguas subterráneas (Tabla 2-2), en donde se controlan los parámetros de la norma NCh 1333 para riego en forma trimestral (Tabla 2-3) y en algunos puntos se agrega análisis bacteriológico y parámetros in situ.

Por otro lado, existe una serie de puntos de control hidrogeológico que revisten especial interés pues cumplen funciones de control específico de las aguas subterráneas dentro de la red, ya sea como pozos para activar alertas, pozos para evaluar la eficiencia de la barrera de remediación, pozos de remediación pozos de observación y otros que controlan los rellenos sanitarios.

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 o incidente particular, lo que será tratado de acuerdo los Planes de Contingencia que SCM Minera Lumina Copper (MLCC) cuenta para estos efectos.

Tabla 2-1: Puntos de monitoreo de calidad de agua superficial según PM.

ESTACIONES DE CONTROL AGUA SUPERFICIAL		Análisis NCh 1333	Análisis Bacteriológico
LM-05	Río Ramadillas aguas arriba confl. Río Vizcachas	✓	✓
LM-06	Río Vizcachas de Pulido aguas arriba de río Ramadillas	✓	
LM-07	Río Pulido aguas abajo de confl. Río Ramadillas	✓	
LM-10	Río Ramadillas aguas arriba de confl. Qda. La Brea	✓	
LM-10A	Río Ramadillas aguas arriba de confl. Qda. La Brea	✓	
LM-17	Río Pulido aguas abajo de Río De Montosa	✓	
LM-21	Quebrada Caserones aguas arriba confl. Río Ramadillas	✓	
LM-22	Río Pulido aguas arriba de confl con río Del Potro	✓	✓
LM-23	Río Ramadillas antes Junta de Quebrada Caserones	✓	
LM-23A	Río Ramadillas antes Junta de Quebrada Caserones	✓	
LM-24	Canal Mal Paso en Bocatoma	✓	
LM-25	Río Ramadillas aguas abajo Qda. Caserones	✓	
LM-25A	Río Ramadillas aguas abajo Qda. Caserones	✓	
LM-26	Qda. La Brea aguas abajo Muro Depósito Lamas	✓	
LM-27	Río Ramadillas aguas abajo confl. Qda. La Brea	✓	
LM-28	Río Ramadillas aguas abajo Relleno Sanitario	✓	✓
LM-29	Interceptor A1, Deposito Lamas	✓	
LM-30	Interceptor A2 Deposito Lamas	✓	
LM-31	Interceptor B, Deposito Lamas	✓	
LM-32	Interceptor C, Deposito Lamas	✓	
LM-33	Interceptor D1, Deposito Lamas	✓	
LM-34	Interceptor D2, Deposito Lamas	✓	
LM-35	Descarga Norte Interceptores Depósito de Lamas	✓	
LM-36	Descarga Sur Interceptores Depósito de Lamas	✓	
LM-37	Interceptor Derrame, Depósito Arenas	✓	
LM-38	Interceptor Glaciar Caserones, Depósito Arenas	✓	
LM-39	Interceptor Angelica, Deposito Arenas	✓	
LM-40	Descarga Norte, Depósito Arenas	✓	
LM-41	Descarga Sur, Depósito Arenas	✓	



Tabla 2-2: Puntos de Monitoreo de Calidad de Agua Subterránea según PM.

ESTACION DE CONTROL AGUA SUBTERRANEA		Análisis NCh 1333	Análisis Bacteriológico
RE-3	Pozo Río Escondido o Fundo El Fuerte N° 3 (Parronal)	✓	
CCh-4	Pozo Carrizalillo Chico N° 4	✓	
CCh-5	Pozo Carrizalillo Chico N° 5	✓	
WE-01	Pozo Exploración Ramadillas Alto (ex WE-RM-3)	✓	
WE-02	Pozo Exploración Ramadillas Medio (ex WE-RM-2)	✓	✓
WE-03	Pozo Exploración Ramadillas Bajo (ex WE-RM-1)	✓	✓
WE-04	Pozo Exploración Pulido N° 1 (ex WE-PL-1)	✓	
WE-09	Pozo Relleno Sanitario	✓	
P-3 TR	Pozo N° 3 Tranque Relave	✓	
P-4 TR	Pozo N° 4 Tranque Relave	✓	
DA-02	Pozo Deposito de Arenas	✓	
PMRS-01	Pozo Relleno Sanitario	✓	
PMRS-02	Pozo Relleno Sanitario	✓	
PZL-1	Pozo o Zanja Lastre	✓	
DAM-1	Pozo Quebrada Angélica o Pozo Monitoreo a.arr Dep. Arenas	✓	
DAM-2 o PBC-08	Pozo Monitoreo alerta temprana a.abajo Depósito Arenas	✓	
PBC-06	Pozo Ramadillas aguas abajo Qda. Caserones	✓	
POB-06B	Pozo Ramadillas aguas abajo Qda. La Brea	✓	
PBC-07	Pozo Quebrada Caserones Ag. Ab. Barrera Remediación	✓	
BRW-01	Pozo Remediación Sector La Brea	✓	
BRW-02	Pozo Remediación Sector La Brea	✓	
CRW-01	Pozo Remediación Sector Caserones	✓	

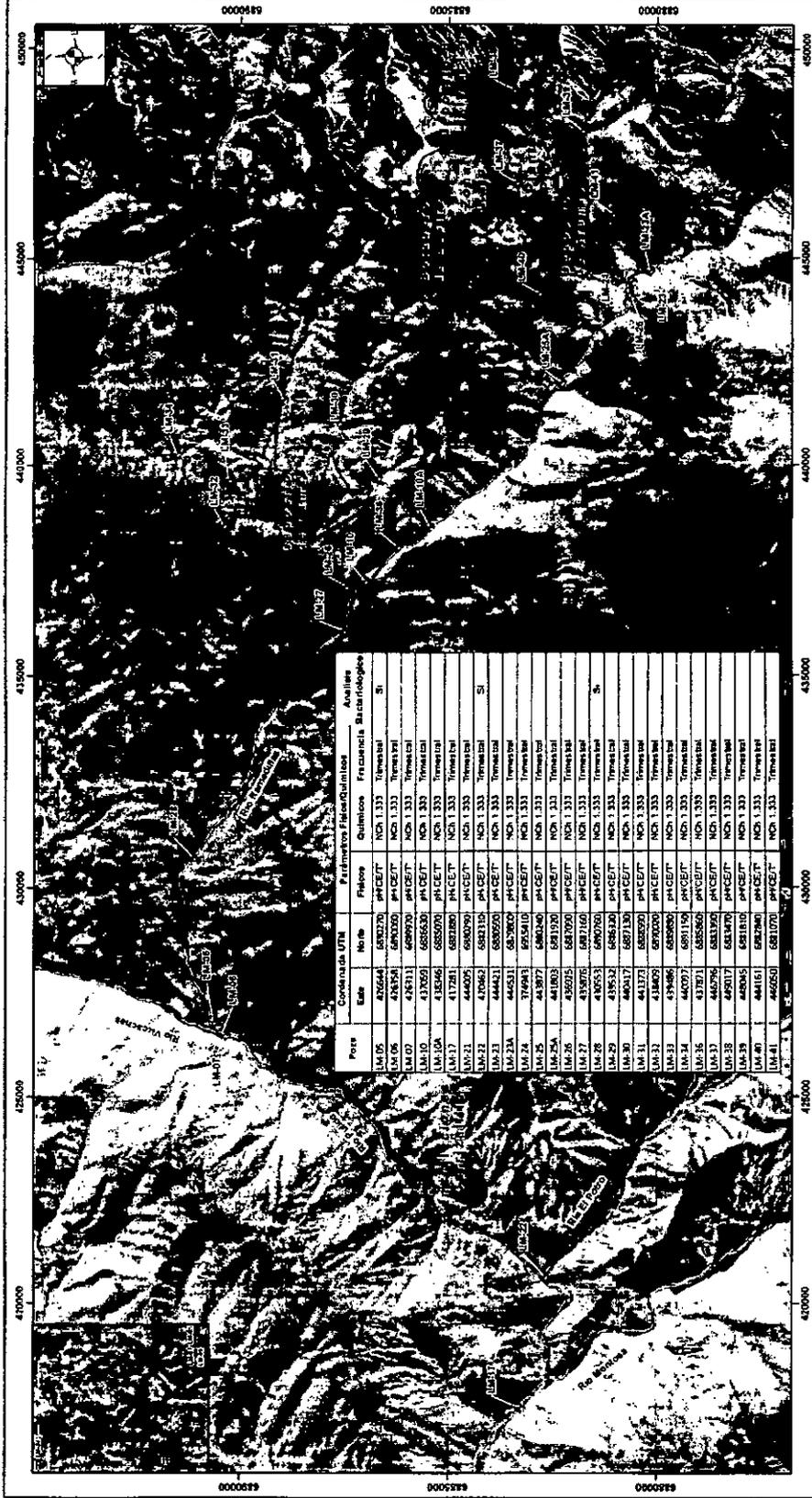
Tabla 2-3: Parámetros analizados según PM.

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

*b) Por su parte, sobre los puntos de monitoreo a que se refiere la Tabla N°3, se solicita al Titular presentar un plano de localización de éstos, en un soporte de visualización y resolución óptimo, vinculando las correspondientes obras o zonas potencialmente susceptibles de alterar la calidad de los recursos hídricos presentes en el área de influencia del Proyecto, precisando además en el mismo, la frecuencia de medición y los parámetros de monitoreo contemplados para cada uno de los puntos de seguimiento.*

**Respuesta:**

Acogiendo lo solicitado, se ha confeccionado un plano ( ) con la ubicación de estos puntos y en donde se adjunta una leyenda que contiene el listado de todos los puntos de monitoreo para las aguas superficiales, con su coordenada, los parámetros a medir y la frecuencia de monitoreo.



Punto	Coordenada UTM		Nota	Ferdinando Falcón Quiroz		Avallera	
	Este	Norte		Quilómetros	Frecuencia	Bacteriología	S.
UM 05	426644	630270	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 06	428758	630300	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 07	428111	630970	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 10	432025	630530	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 10A	432466	630570	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 17	417281	630280	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 21	444025	630790	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 22	427062	630315	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 23	444431	630550	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 23A	446531	630800	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 24	376943	629410	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 25	443977	630240	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 25A	441803	630370	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 26	435025	630700	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 27	433875	630710	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 28	430533	630700	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 29	433532	630320	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 30	440177	630715	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 31	441371	630570	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 32	433400	630700	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 33	433486	630800	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 34	440077	630150	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 35	433721	630560	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 37	445796	630370	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 38	430177	630470	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 39	448045	630810	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 40	444151	630740	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	
UM 41	445550	630700	PRCEJ7	NCh 1.333	Trimestral	S.	

**Leyenda**  
 Estaciones de Monitoreo Calidad Superficial  
 Puntos de monitoreo  
 Quebradas  
 Ríos  
 Infraestructura Proyecto

**SRK CONSULTING**

0 1,000 2,000 4,000 m

MLCC Plan de Monitoreo Robusto  
 Acuífero Copalpo

Proyección UTM 19S  
 DATUM PSAD56

Puntos de Monitoreo  
 Caserones Superficial

Nº Proyecto 02-2016-09  
 Fecha Octubre 2013  
 REV A  
 Nº Hoja 1  
 Hoja 1

Figura 1: Ubicación Puntos Plan de Monitoreo Calidad de Aguas Superficiales, Mina Caserones.

c) Asimismo, en relación a lo mostrado en la Tabla N°4 del Plan, sobre puntos de monitoreo de calidad de aguas subterráneas, se requiere también al Titular que presente un plano con las mismas características indicadas en la letra c) anterior.

**Respuesta:**

Acogiendo lo solicitado, MLCC ha confeccionado un plano en la Figura 2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** en donde se adjunta una leyenda que contiene el listado de todos los puntos de monitoreo declarados en la Tabla N°4 del PM para las aguas subterráneas, con su coordenada, los parámetros a medir y la frecuencia de monitoreo.



d) *Del mismo modo, respecto de los correspondientes análisis de muestras de agua en laboratorio que el Titular debe realizar con motivo de la implementación del Plan, se hace presente que, para dichos efectos debe considerar un laboratorio que cuente con la respectiva acreditación en el Sistema Nacional de Acreditación del INN.*

**Respuesta:**

Se acepta la observación y se aclara que, a la fecha, el laboratorio empleado es DICTUC el que se encuentra certificado por la NCh-ISO 17025 para análisis físico-químico y microbiológico de aguas, según convenio INN-SISS.

*En el numeral 2.3.4 del Plan, el Titular señala que (Textual) "Durante la fase de operación, se continuará con el monitoreo mensual durante los 5 primeros años, luego de lo cual se evaluará, en conjunto con la autoridad, la frecuencia con la cual se seguirán realizando las mediciones. Todas estas mediciones, así como el monitoreo en línea de pH, temperatura, conductividad y sólidos disueltos, serán incorporadas a una página web de acceso público". Al respecto, cabe hacer notar al Titular que, la reportabilidad de la información que pretende recabarse sobre calidad de aguas debe corresponder a un proceso ágil y actualizado, sobre todo si la propuesta del Titular es proporcionar accesibilidad pública mediante un sitio web. Por lo tanto, el Titular deberá mantener los correspondientes registros de calidad de aguas en el portal web destinado para tales efectos en plazos razonables respecto de las frecuencias de muestreo y análisis establecidos en su Plan, evitando así el desfase de información. Además, deberá procurar la implementación oportuna de todos los protocolos que permitan contar en su debido momento con la totalidad de los datos estimados de recolectar. Asimismo, sobre la continuidad de la frecuencia mensual para análisis de laboratorio, se hace presente que, la decisión de mantener o no dicha frecuencia no es una facultad que recaiga en el propio Titular, pues ello corresponde a una materia que debe ser resuelta por la correspondiente autoridad ambiental. Así, mientras no se establezca un cambio debidamente formalizado por la autoridad competente, dicha frecuencia mantendrá su continuidad en los términos originalmente autorizados.*

**Respuesta:**

MLCC se encuentra implementando el diseño del sistema de monitoreo de calidad del proyecto que incluye el monitoreo en línea, flujómetros en pozos de remediación, etc. y tal como se indica, se comprometió el monitoreo en línea para los parámetros de pH, conductividad, T° y sólidos disueltos totales, además de los resultados de calidad de aguas enviados a laboratorio según la frecuencia comprometida.

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 en forma expedita a la información levantada referente a la calidad y nivel en los puntos monitoreados.

Tal como se cita en el numeral 2.3.4 del Plan de Monitoreo (PM), luego de 5 años de operación, se revisará la frecuencia de monitoreo en conjunto con la autoridad. MLCC reconoce que la definición de la frecuencia es materia de la autoridad ambiental y mientras no se defina un cambio tanto en frecuencia, ubicación de puntos y parámetros a analizar, el sistema de monitoreo permanecerá inalterado respecto a lo comprometido previamente.

e) Por su parte, también en el numeral 2.3.4 del Plan, el Titular indica que (Textual) "Con relación a los umbrales que gatillarían eventuales acciones de remediación, éstos corresponden a que en los pozos de detección o de alerta temprana (aguas abajo de la zanja cortafuga), ocurra lo siguiente: Caso 1. Para parámetros cuya línea de base sea menor a lo establecido en la NCh 1.333, la concentración sea mayor al límite establecido en dicha norma; y Caso 2. Para parámetros cuya línea de base sea mayor a lo establecido en la NCh 1.333, la concentración sea mayor a dos desviaciones estándar sobre el promedio de los valores de línea de base."

Sobre lo expresado por el Titular en relación a los umbrales de activación que gatillarán la acción de remediación, se desprende que, el Plan vincula estos límites con los valores establecidos en la Línea Base respecto de la componente ambiental de hidroquímica y con los valores establecidos en la Norma Chilena N°1.333, que establece requisitos de calidad de agua para distintos usos, en este caso riego. No obstante ello, se hace notar que, el Titular no acompaña al Plan la definición de los valores de Línea Base asociados a cada uno de los puntos de monitoreo calificados con el objetivo de alerta temprana, ni menos indica cómo se determinó dicha condición base (Período de registros disponibles; Universo de datos disponibles; A qué puntos de monitoreo corresponde; Si los registros se asocian o no a períodos estacionales del año; A qué profundidad fueron tomadas las muestras y de qué zona acuífera; Cuál es el grado de representatividad de las muestras; Cuál es la metodología de cálculo para la determinación de la línea base de cada parámetro; etc.). Atendido lo anterior, se hace presente que, el Titular debe definir umbrales respecto de la condición base, siendo posible el uso de normas, como la utilizada por el Titular, de manera únicamente referencial, pero no como la definición de un umbral en particular, ello a excepción de contar con una fundada justificación técnica para su utilización. A su vez, debe fundamentar en detalle cómo fue determinada la condición base que pretende utilizar en su Plan, y qué nivel de representatividad se asocia a cada punto, estableciendo además la variabilidad natural que experimenta la calidad de las aguas en los puntos considerados como representativos del área de influencia del Proyecto. Así entonces, el Titular debe contemplar el criterio de activación del plan de remediación asociado directamente a la superación del umbral de línea base establecido para cada parámetro.

#### **Respuesta:**

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 a la fecha, 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 remediar 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 activará el **Plan de Remediación (PR)** establecido en la RCA.

En el **Apéndice A**, se encuentra el memo técnico "Definición de Umbrales de Cumplimiento para Calidad de Agua Subterránea Mina Caserones" en donde se detalla la metodología empleada en la definición de los Umbrales de Referencia Máximo URM y Umbrales de Alerta Temprana UAT para cada parámetro medido. A continuación se resumen los aspectos relevantes de dicho documento.



La calidad de agua es controlada en varios pozos del proyecto, sin embargo, para definir un Umbral de Referencia Máximo (URM) se han considerado aquellos pozos que representen el comportamiento de cada una de las quebradas involucradas.

El proyecto puede ser zonificado en 3 zonas que podrían ser susceptibles de mostrar cambios asociados con la calidad de las aguas. : Quebrada Caserones (mina, planta y depósito de arenas), Quebrada La Brea (botadero y depósito de lamas) y Quebrada Ramadillas (relleno sanitario). Con este concepto a continuación se formulan 3 Planes de Alerta Temprana (ver pregunta g) en donde es necesario definir Umbrales de Referencia Máximos que permitirían activar planes de manejo (Remediación). Para ello se ha utilizado información de calidad medida en distintos puntos de control según se detalla a continuación:

**Caserones:** Existen 8 puntos de control en las inmediaciones de la junta entre la quebrada Caserones y el río Ramadillas (ver Figura 3). Se trabajó con los pozos definidos como de Alerta Temprana, que corresponden al PBC-08 y CRW-01, los cuales cuentan con mediciones desde marzo 2011 a mayo 2013 y enero 2012 a mayo 2013, respectivamente.

**La Brea:** Existen 8 puntos en torno a la confluencia entre la quebrada La Brea y la el río Ramadillas los que se pueden apreciar en la Figura 4. Se trabajó con los pozos definidos como de Alerta Temprana, que corresponden al BRW-01 y BRW-02, los cuales cuentan con mediciones desde enero 2012 a mayo 2013.

**Zona Relleno Sanitario:** Existen 2 puntos de control ubicados aguas abajo del relleno sanitario, el PMRS-1 y PMRS-2. En todas las mediciones realizadas se ha encontrado al pozo PMRS-1 seco, por lo que se trabajó solo con el pozo PMRS-2 que fue definido como el pozo de Alerta Temprana (más detalle ver descripción del plan de monitoreo en pregunta siguiente).

Se analizaron los datos para los pozos escogidos. Lo primero que se realizó fue validar la confiabilidad de la información 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 Rango Intercuartil (para más detalle ver apéndice A). Los valores outliers fueron eliminados del registro.

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:

$$\text{Umbral Máximo} = \text{Promedio} + 2 * \text{Desviación Típica}$$

Se escogió esta fórmula teniendo en cuenta que, en una distribución normal, el intervalo comprendido por el valor de la media más/menos dos veces la desviación standard (típica) incluye sobre el 95% de los valores.

Se calcularon los umbrales máximos para todos los pozos indicados previamente. Se escogieron los valores máximos obtenidos entre los pozos para cada una de las zonas analizadas.

Los umbrales de alerta 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% del valor correspondiente al umbral máximo de referencia establecido con los datos medidos a la fecha. Así, el umbral de alerta a proponer será menor a la concentración de Zona de Latencia.

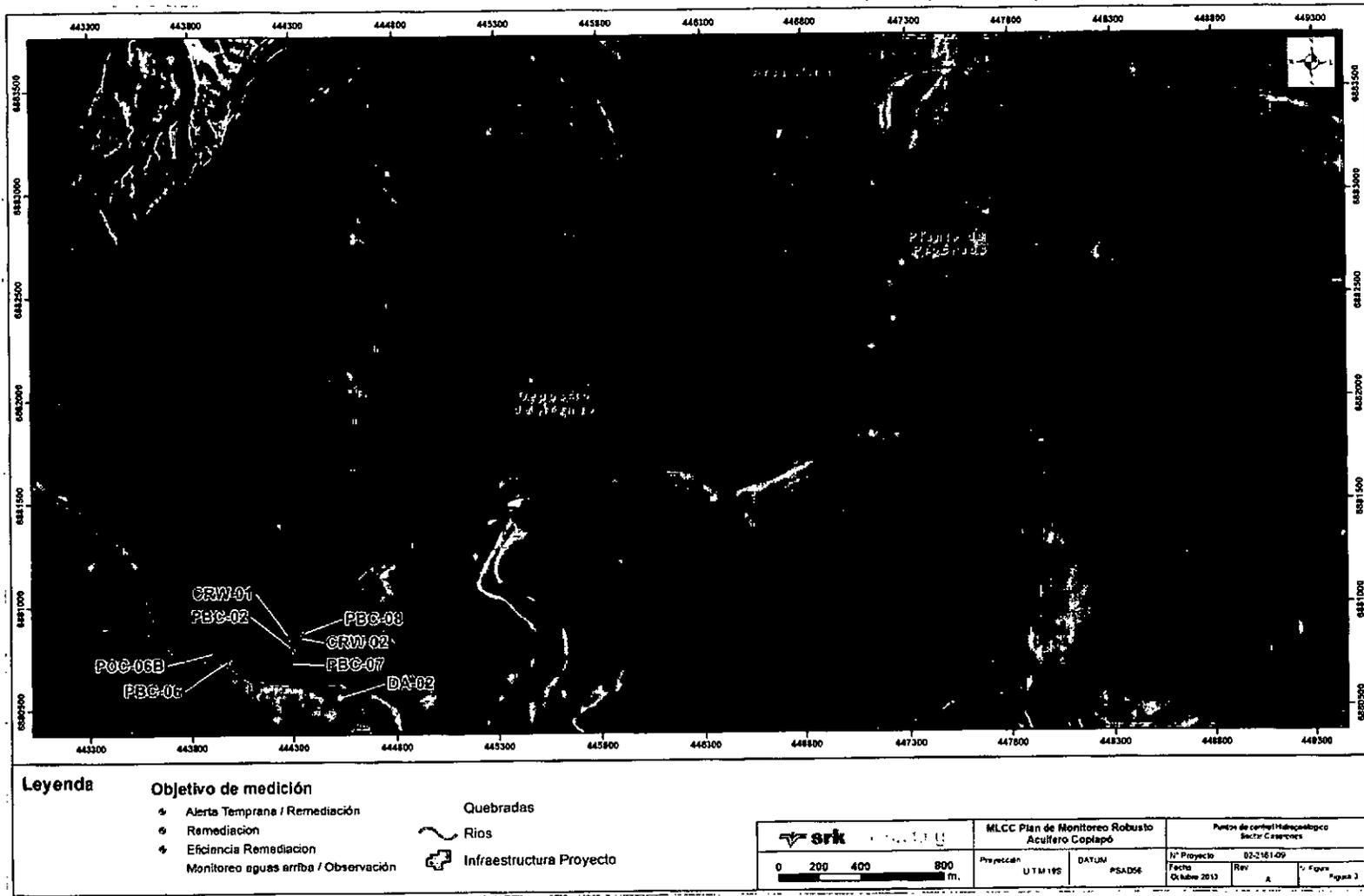
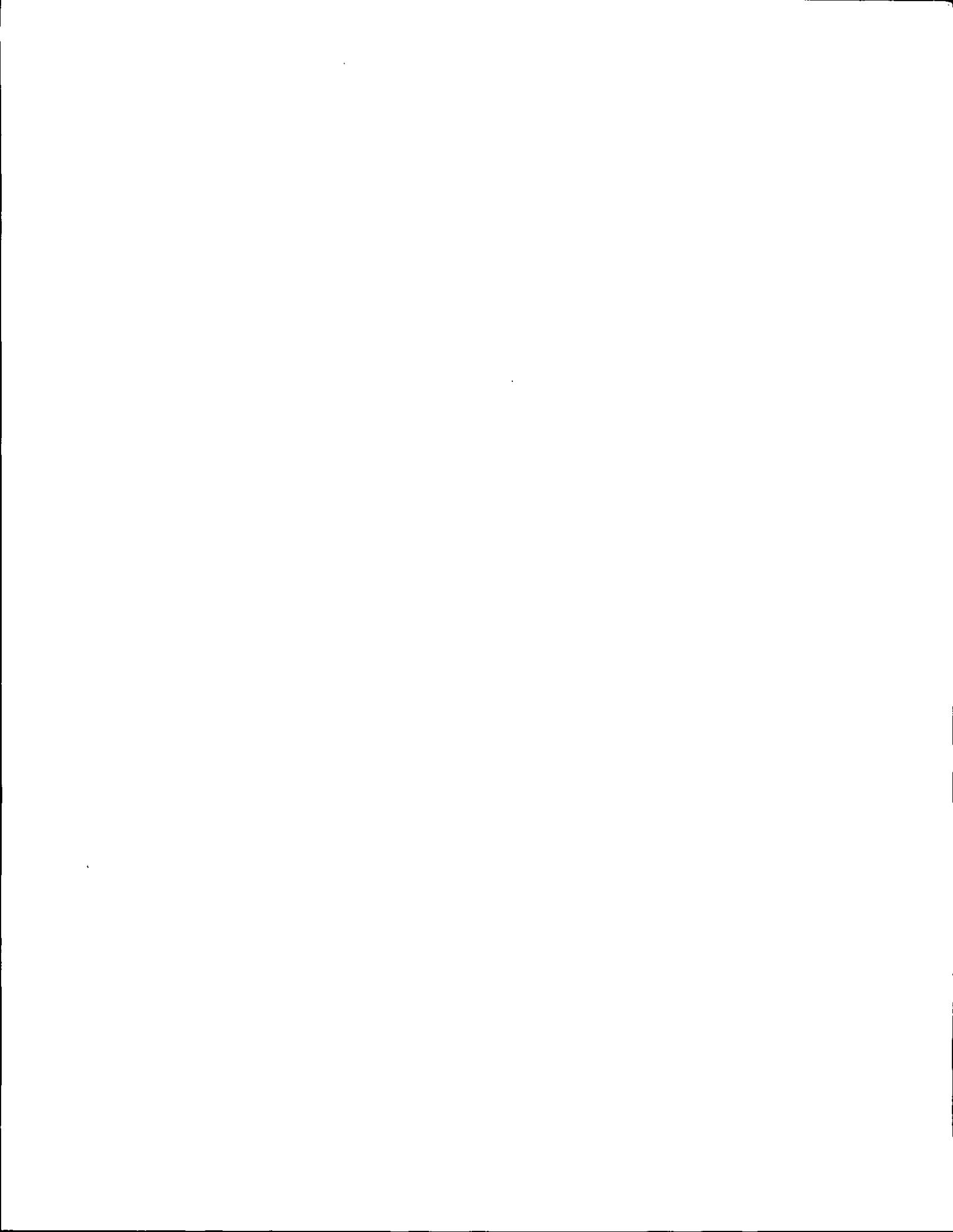


Figura 3: Ubicación Puntos Control Hidrogeológico Aguas abajo del Depósito de Arenas en quebrada Caserones.



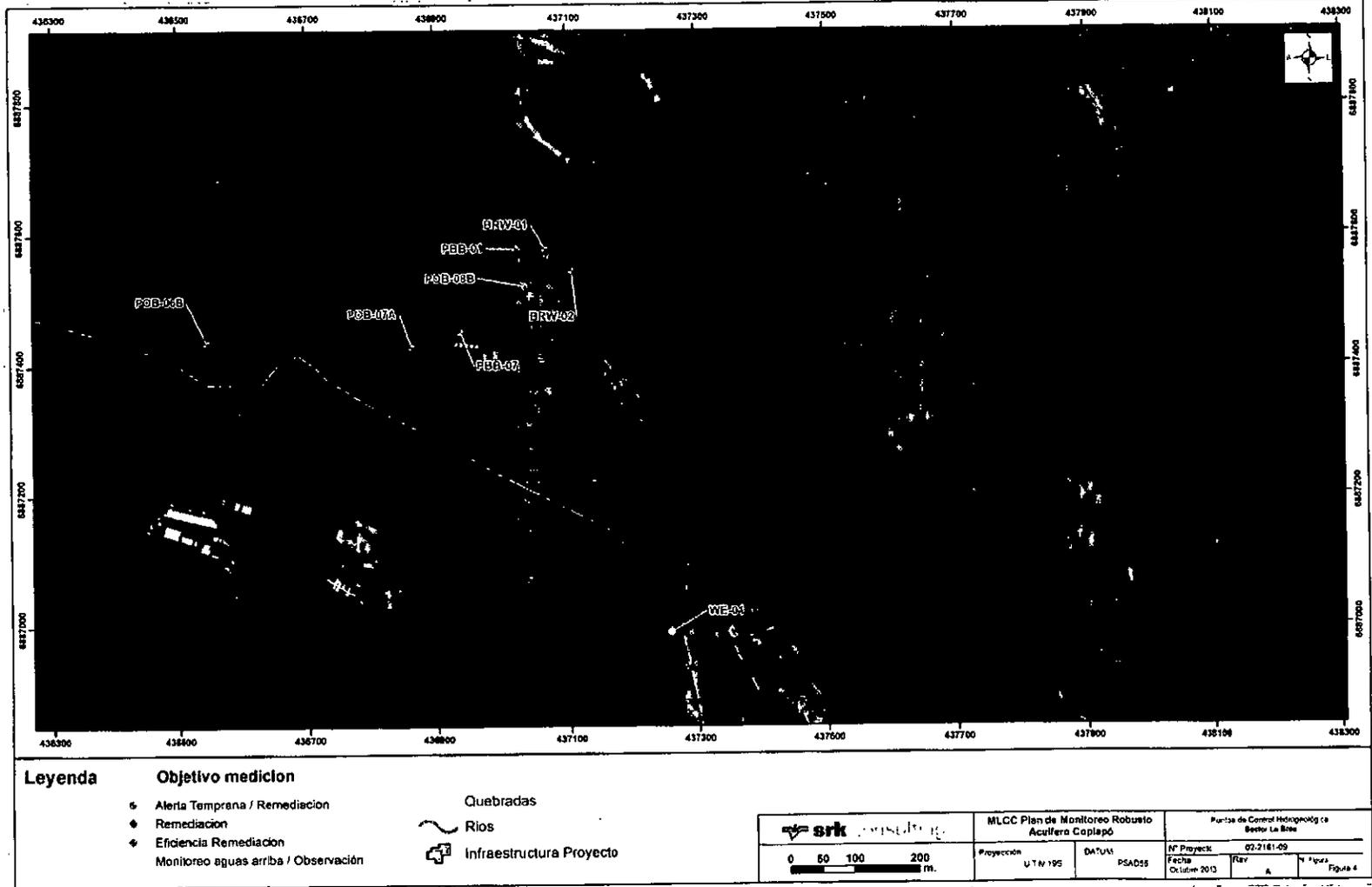


Figura 4: Ubicación Puntos Control Hidrogeológico aguas abajo del Depósito de Lamas en quebrada La Brea.

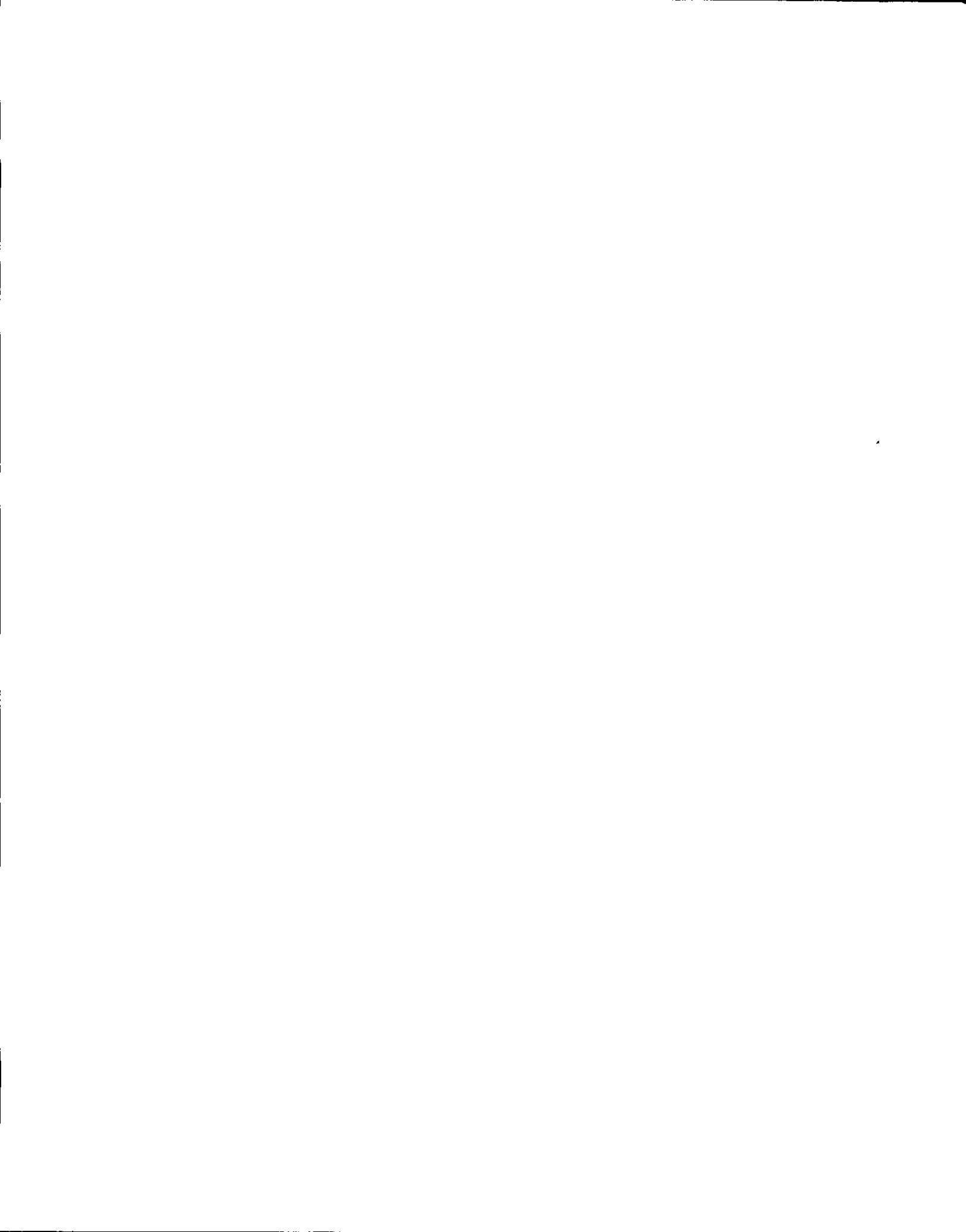


Con estos criterios se ha definido un Umbral de Referencia Máximo (URM) y Umbral de Alerta Temprana (UAT) para cada uno de los parámetros establecidos en la norma NCh 1333 para la quebrada Caserones, la quebrada La Brea, y la zona del Relleno Sanitario en forma independiente, cuyos valores se presentan en las Tabla 2-4, Tabla 2-5 y Tabla 2-6.

**Tabla 2-4: Tabla Umbrales de Cumplimiento Máximo y Umbrales de Alerta Temprana en quebrada Caserones.**

Elemento	Unidad	Límite Máximo Norma 1,333	Umbral Máximo	Umbral Alerta
aluminio	mg/l	5	2,7	2,2
arsénico	mg/l	0,1	0,003	0,002
bario	mg/l	4	0,02	0,02
berilio	mg/l	0,1	0,01*	0,01*
boro	mg/l	0,75	0,01*	0,01*
cadmio	mg/l	0,01	0,02	0,02
cianuro	mg/l	0,2	0,05*	0,05*
cloruro	mg/l	200	20	16
cobalto	mg/l	0,05	0,07	0,05
cobre	mg/l	0,2	5,4	4,3
cromo	mg/l	0,1	0,07	0,05
fluoruro	mg/l	1	2,0	1,6
hierro	mg/l	5	50	40
litio	mg/l	2,5	0,07	0,06
manganeso	mg/l	0,2	3,0	2,4
mercurio	mg/l	0,001	0,001*	0,001*
molibdeno	mg/l	0,01	0,01*	0,01*
níquel	mg/l	0,2	0,08	0,06
plata	mg/l	0,2	0,01	0,01
plomo	mg/l	5	0,02	0,01
selenio	mg/l	0,02	0,004*	0,004*
sodio porcentual	%	35	13	10
sulfato	mg/l	250	725	580
vanadio	mg/l	0,1	0,03	0,02
zinc	mg/l	2	1,5	1,2
ph		5,5-9	5,9	4,7
Alc Total	mg/l	20	16	13
CE	umho/cm	750	1248	998
SDT	mg/l	500	1006	805

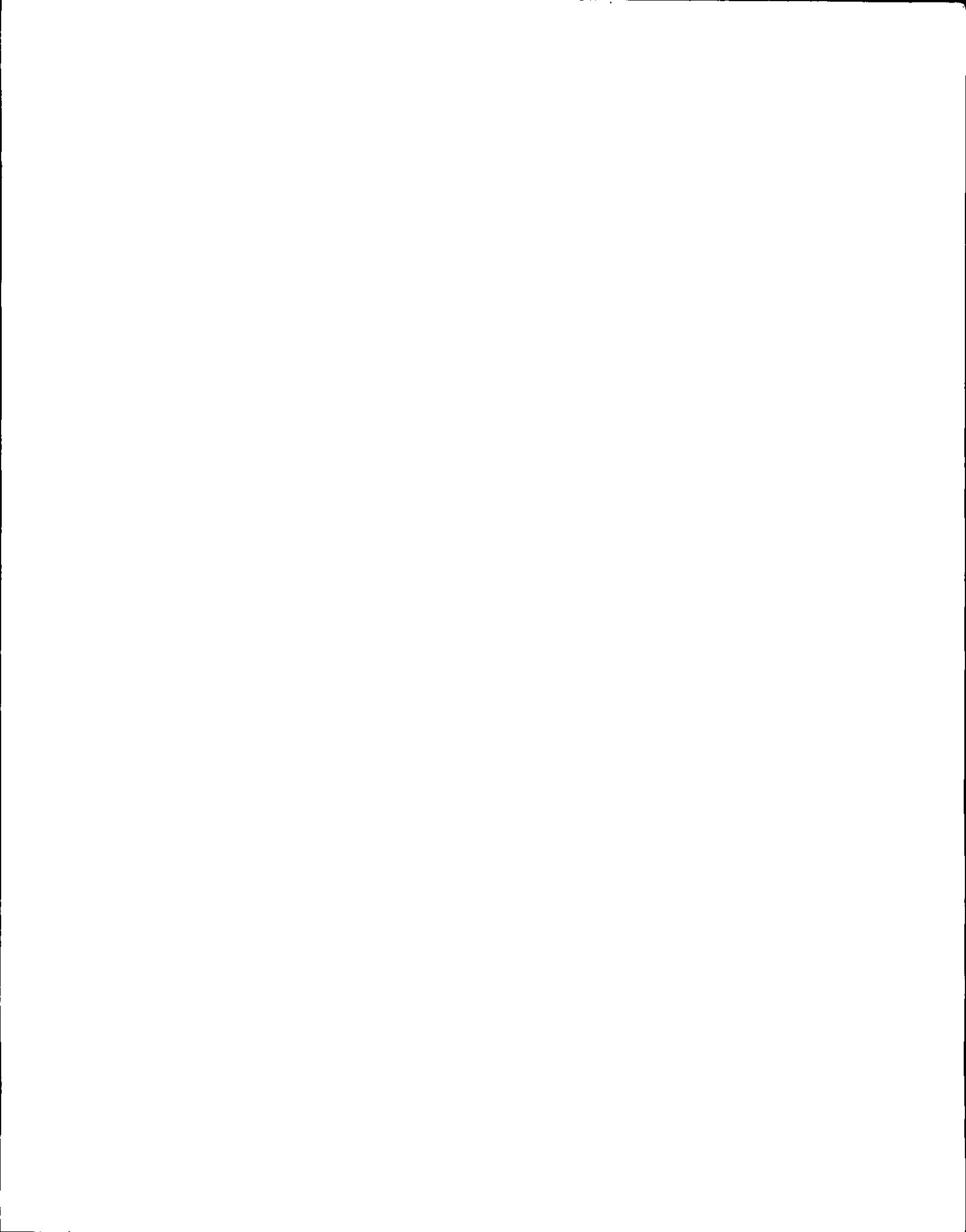
\*Corresponden al límite de detección.



**Tabla 2-5: Tabla Umbrales de Cumplimiento Máximo y Umbrales de Alerta Temprana en La Brea**

Elemento	Unidad	Límite Máximo Norma 1,333	Umbral Máximo	Umbral Alerta
aluminio	mg/l	5	0,3	0,3
arsénico	mg/l	0,1	0,005	0,004
bario	mg/l	4	0,04	0,03
berilio	mg/l	0,1	0,01*	0,01*
boro	mg/l	0,75	0,08	0,06
cadmio	mg/l	0,01	0,002*	0,002*
cianuro	mg/l	0,2	0,05*	0,05*
cloruro	mg/l	200	23	18
cobalto	mg/l	0,05	0,01*	0,01*
cobre	mg/l	0,2	0,04	0,03
cromo	mg/l	0,1	0,04	0,03
fluoruro	mg/l	1	0,8	0,7
hierro	mg/l	5	24	20
litio	mg/l	2,5	0,05	0,04
manganeso	mg/l	0,2	0,6	0,5
mercurio	mg/l	0,001	0,001*	0,001*
molibdeno	mg/l	0,01	0,01*	0,01*
níquel	mg/l	0,2	0,005	0,004
plata	mg/l	0,2	0,01*	0,01*
plomo	mg/l	5	0,002	0,002
selenio	mg/l	0,02	0,004*	0,004*
sodio porcentual	%	35	24	19
sulfato	mg/l	250	334	267
vanadio	mg/l	0,1	0,03	0,02
zinc	mg/l	2	3,0	2,4
ph		5,5-9	6,6	5,3
Alc Total	mg/l	20	145	116
CE	umho/cm	750	742	593
SDT	mg/l	500	632	505

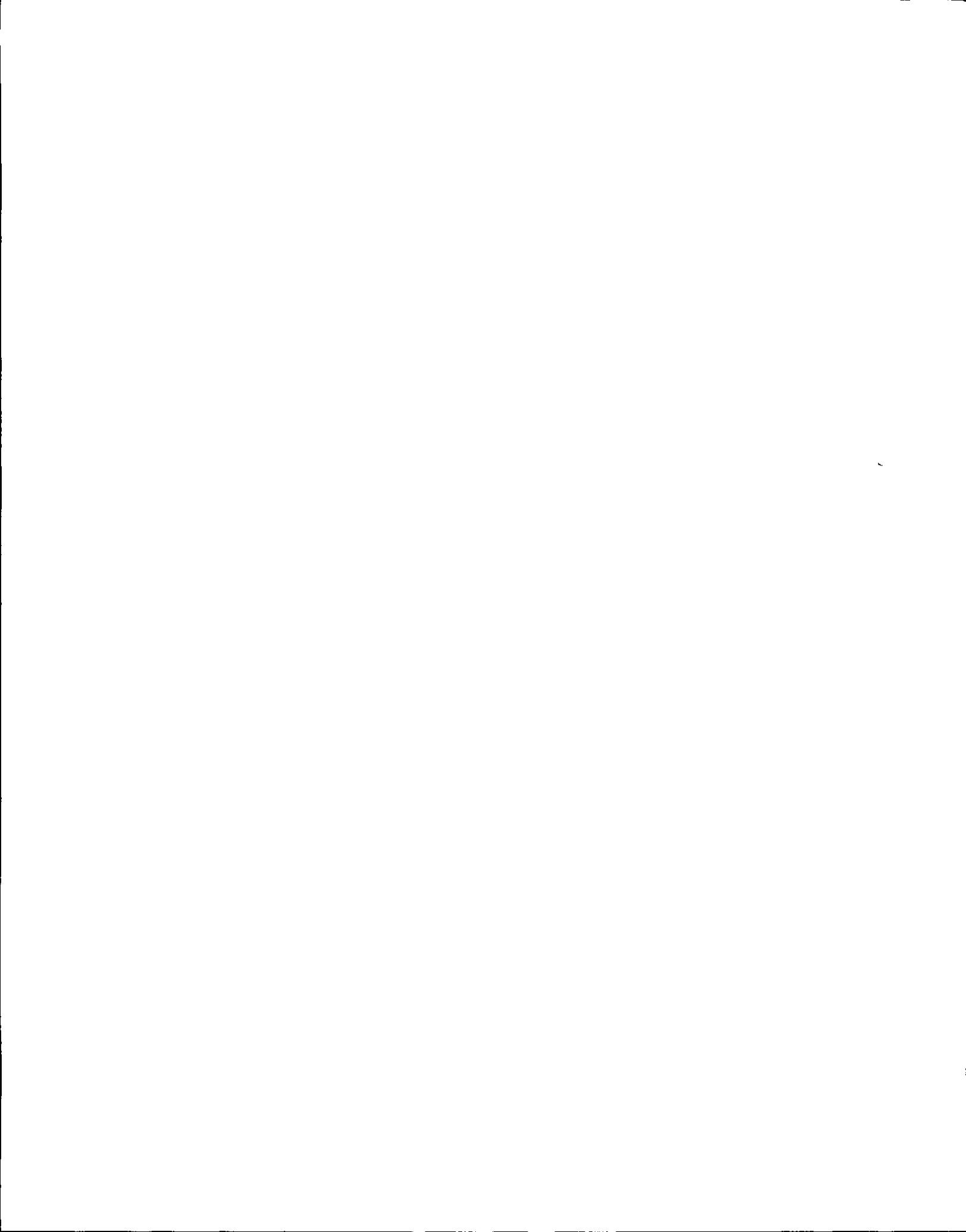
\*Corresponden al límite de detección.



**Tabla 2-6: Tabla Umbrales de Cumplimiento Máximo y Umbrales de Alerta Temprana en zona Relleno Sanitario.**

Elemento	Unidad	Límite Máximo Norma 1,333	Umbral Máximo	Umbral Alerta
aluminio	mg/l	5	3,1	2,5
arsénico	mg/l	0,1	0,003	0,002
bario	mg/l	4	0,02	0,02
berilio	mg/l	0,1	0,01*	0,01*
boro	mg/l	0,75	0,1	0,1
cadmio	mg/l	0,01	0,002*	0,002*
cianuro	mg/l	0,2	0,05*	0,05*
cloruro	mg/l	200	33	27
cobalto	mg/l	0,05	0,01*	0,01*
cobre	mg/l	0,2	0,04	0,03
cromo	mg/l	0,1	0,01	0,01
fluoruro	mg/l	1	0,9	0,7
hierro	mg/l	5	7,9	6,3
litio	mg/l	2,5	0,04	0,03
manganeso	mg/l	0,2	0,24	0,19
mercurio	mg/l	0,001	0,001*	0,001*
molibdeno	mg/l	0,01	0,01*	0,01*
níquel	mg/l	0,2	0,01	0,008
plata	mg/l	0,2	0,01*	0,01*
plomo	mg/l	5	0,003	0,002
selenio	mg/l	0,02	0,004*	0,004*
sodio porcentual	%	35	39	31
sulfato	mg/l	250	237	189
vanadio	mg/l	0,1	0,04	0,03
zinc	mg/l	2	0,1	0,1
ph		5,5-9	8,3	6,6
Alc Total	mg/l	20	136	108
CE	umho/cm	750	639	512
SDT	mg/l	500	550	440

\*Corresponden al límite de detección.



f) Sobre dichos umbrales, el Titular no especifica qué parámetros en particular serán utilizados como herramienta de decisión para activar la acción de remediación. Así, el Plan se remite a mencionar sólo una serie de parámetros físico-químicos para los efectos de iniciar la acción de remediación, no precisando si esa activación dependerá de la variación fuera del rango aceptable de al menos uno de dichos parámetros, o bien, supondrá la desviación de cada uno de ellos. Por lo tanto, atendido a que el Titular en su determinación de umbrales de activación debe utilizar como criterio valores de base de calidad de aguas, tal como se indica en la letra h) anterior, incorporando por cierto en dicha condición base su variabilidad natural, se concluye entonces que, cualquier variación que ocurra en alguno de los parámetros tendrá como principal fuente de perturbación las actividades del Proyecto. De esta forma, se hace presente que, la superación de al menos uno de los umbrales definidos para cualquiera de los parámetros indicadores de calidad de aguas debe activar la acción de remediación.

**Respuesta:**

Tomando en consideración lo expuesto por la Autoridad, MLCC ha reformulado su Plan de Alerta Temprana, distinguiendo 4 zonas del proyecto:

- 1 **PAT Caserones:** Incluye monitoreo y acciones respecto a imprevistos asociadas con la Mina, Planta y Depósito de Arenas.
- 2 **PAT La Brea Baja:** Incluye monitoreo y acciones respecto a potenciales imprevistos asociados con el Depósito de Lamas.
- 3 **PAT La Brea Alta:** Incluye monitoreo y acciones respecto a imprevistos asociados con el Botadero de Lastre.
- 4 **PAT Ramadillas:** Incluye monitoreo y acciones respecto a imprevistos asociados con el Relleno Sanitario.

A continuación se describen cada uno de los PAT. Los PAT Caserones y La Brea Baja se describirán en forma conjunta dado que su funcionamiento es el mismo.

## 1. PLAN DE ALERTA TEMPRANA QUEBRADA CASERONES Y PLAN DE ALERTA TEMPRANA QUEBRADA LA BREA BAJA

### 1.1 Descripción conceptual del plan de alerta temprana quebradas Caserones y La Brea.

En términos generales, el sistema de control de la calidad en cada depósito consiste en 2 pozos ubicados agua abajo de la zanja cortafuga respectiva identificados como **Pozos de Alerta Temprana (PoAT)**, cuyo monitoreo es en línea para los parámetros pH, T°, conductividad eléctrica y TDS, y mensual para los parámetros establecidos en la norma NCh 1333.

En términos conceptuales, el PAT consiste en que, en caso de detectarse cambios en la calidad de las aguas subterráneas, se activará la **Metodología de Cumplimiento**, que corresponde a una secuencia de acciones a tomar por parte de la minera de modo de controlar la situación anómala evidenciada en los **Pozos de Alerta Temprana**. En caso que la calidad empeore sobrepasando los umbrales de referencia máximos definidos, entonces como medida final se activará el **Plan de Remediación**. Una vez recuperada la condición química basal se dará término al **Plan de Remediación** entrando a operar en régimen normal hasta que nuevamente se evidencie una nueva anomalía físico-química en los **Pozos de Alerta Temprana**.

## 1.2 Puntos de control y acción en PAT

En la Tabla 2-7 se listan los puntos claves que forman parte del Plan de Alerta Temprana y Plan de Remediación destacando la nomenclatura genérica y su correlación con pozos construidos para tales efectos. La ubicación de estos pozos claves se encuentra en la Figura 5. Se identifican 5 grupos de pozos cuyas funciones se describen a continuación:

- i) **Pozos de Alerta Temprana (PoAT):** Corresponden a 2 pozos en cada quebrada ubicados inmediatamente agua abajo de cada zanja cortafuga y que son controlados en línea para el pH, T°, CE y TDS, y mensualmente para los parámetros establecidos en la NCh 1333, además de los parámetros in situ. Estos pozos son claves en el sistema de monitoreo de calidad, pues sobre ellos es que se aplica la metodología de cumplimiento. Son puntos indicadores para activar o desactivar el **Plan de Remediación**.
- ii) **Pozos de Medición de la Eficiencia de Remediación (PoEf):** Estos pozos tienen el objetivo de monitorear la calidad y nivel de las zonas entorno a los pozos de bombeo 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. La frecuencia de medición de parámetros de calidad será trimestral para NCh 1333 en el caso pasivo. Si el plan de remediación estuviese activo se medirán además los parámetros sobrepasados con frecuencia mensual. Además, cuando el Plan de Remediación se encuentre activo en estos pozos se medirá nivel en forma semanal.
- iii) **Pozos de Remediación (PoRe):** Son 5 pozos en cada quebrada (La Brea y Caserones) que están habilitados para bombear y que serán activados en forma secuencial según lo que se establezca en la **Metodología de Cumplimiento** asociada con el **Plan de Remediación**, para extraer las potenciales aguas subterráneas contaminadas que no son captadas por cada zanja cortafuga. Cuando estos pozos estén activos se monitorearán niveles con frecuencia semanal. La frecuencia de medición de parámetros de calidad será trimestral para NCh 1333 en el caso pasivo. Si estuviesen activos se medirá además los parámetros sobrepasados con frecuencia mensual.
- iv) **Pozos Monitoreo Aguas Arriba de los depósitos de arena y lamas:** Estos pozos se ubican aguas arriba de los depósitos de arenas y lamas, y su función es monitorear la calidad de las aguas inmediatamente aguas abajo de otras obras mineras como botaderos, pilas, etc. Se medirá trimestralmente el nivel, pH, CE, T° y parámetros de la norma NCh 1333 además de los parámetros in situ al momento de la toma de muestras.
- v) **Pozos de Observación (PoOb):** Son pozos ubicados estratégicamente y que controlan nivel y calidad asociados con otras obras de infraestructura el proyecto. Permiten corroborar que las medidas empleadas para control de infiltraciones son efectivas. Todos ellos se ubican en la quebrada Ramadillas y se miden en forma mensual el nivel y la calidad NCh 1333 trimestralmente.

Cabe señalar que la frecuencia de monitoreo de parámetros de calidad en forma mensual y trimestral está sustentada en los cálculos de tiempo de viaje de las partículas desde la zanja

cortafugas a los distintos puntos del Plan de Alerta Temprana/Remediación dentro de las quebradas La Brea y Caserones, a través de los modelos numéricos presentados con anterioridad (SRK 2011).

De esta forma, con los parámetros hidráulicos calibrados y geometría del modelo, es posible obtener un valor estimado del tiempo de viaje de las partículas que cruzan la sección desde la zanja cortafugas en la quebrada, hasta el último punto de monitoreo en confluencia con el río Ramadillas, cuyos valores considerando un medio de baja conductividad para el estrato 2 están dentro del orden de 3 años en el caso de la quebrada La Brea y del orden de 10 años en la quebrada Caserones.

Tabla 2-7: Puntos de Control asociados al Plan de Alerta Temprana/Remediación y otros puntos de monitoreo.

N°	Id según su función	Punto Monitoreo	Objetivo de la Medición	Ubicación	Parámetros	Frecuencia	
						Normal	Alerta/Remediación
1	PMB-02	BRW-01	Alerta Temprana	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	pH/T*/CE/TDS NCh 1.333	En Línea Mensual	En Línea Mensual
2	PMB-03	BRW-02	Alerta Temprana	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	pH/T*/CE/TDS NCh 1.333	En Línea Mensual	En Línea Mensual
3	PMC-02	PBC-08	Alerta Temprana	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	pH/T*/CE/TDS NCh 1.333	En Línea Mensual	En Línea Mensual
4	PMC-03	CRW-01	Alerta Temprana	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	pH/T*/CE/TDS NCh 1.333	En Línea Mensual	En Línea Mensual
5	PMB-01	PMB-01	Monitoreo Aguas arriba	Quebrada La Brea (aguas arriba Deposito Lamas)	Nivel pH/T*/CE/TDS NCh 1.333	Mensual Trimestral Trimestral	Mensual Trimestral Trimestral
6	PMC-04	LXM-1	Monitoreo Aguas arriba Dep. Lixiviación	Quebrada Caserones (aguas arriba Dep. Lixiviación)	Nivel pH/T*/CE/TDS NCh 1.333	Mensual Trimestral Trimestral	Mensual Trimestral Trimestral
7	PMC-01	LXM-2	Monitoreo Aguas abajo Dep. Lixiviación	Quebrada Caserones (aguas arriba Deposito Arenas)	Nivel pH/T*/CE/TDS NCh 1.333	Mensual Trimestral Trimestral	Mensual Trimestral Trimestral
8	PMB-04	POB-06B	Eficiencia Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	Nivel pH/T*/CE/TDS NCh 1.333	Mensual Trimestral Trimestral	Semanal Trimestral Trimestral (mensual para parámetros alterados)
9	PMB-05	PBB-07	Eficiencia Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	Nivel pH/T*/CE/TDS NCh 1.333	Mensual Trimestral Trimestral	Semanal Trimestral Trimestral (mensual para parámetros alterados)
10	PMC-05	POC-06B	Eficiencia Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	Nivel pH/T*/CE/TDS NCh 1.333	Mensual Trimestral Trimestral	Semanal Trimestral Trimestral (mensual para parámetros alterados)
11	PMC-06	PBC-07	Eficiencia Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	Nivel pH/T*/CE/TDS NCh 1.333	Mensual Trimestral Trimestral	Semanal Trimestral Trimestral (mensual para parámetros alterados)
12	PRB-01	BRW-01	Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	Nivel	Mensual	Semanal
13	PRB-02	BRW-02	Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	Nivel	Mensual	Semanal
14	PRB-03	PBB-01	Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	Nivel	Mensual	Semanal
15	PRB-04	POB-08B	Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	Nivel	Mensual	Semanal
16	PRB-05	POB-07A	Remediación	Quebrada La Brea (Deposito Lamas)	Nivel	Mensual	Semanal
17	PRC-01	PBC-08	Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	Nivel	Mensual	Semanal
18	PRC-02	CRW-01	Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	Nivel	Mensual	Semanal
19	PRC-03	CRW-02	Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	Nivel	Mensual	Semanal
20	PRC-04	PBC-02	Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	Nivel	Mensual	Semanal
21	PRC-05	PBC-06	Remediación	Quebrada Caserones (Deposito Arenas)	Nivel	Mensual	Semanal
22	DA-02	DA-02	Observación	Quebrada Ramadillas (aguas arriba de la Quebrada Caserones)	Nivel NCh 1.333	Mensual Mensual	Mensual Mensual
23	WE-01	WE-01	Observación	Quebrada Ramadillas (aguas arriba de la Quebrada La Brea)	Nivel NCh 1.333	Mensual Mensual	Mensual Mensual
24	WE-02	WE-02	Observación (PMD)	Quebrada Ramadillas (aguas abajo de Quebrada La Brea y aguas arriba del Relleno Sanitario)	Nivel NCh 1.333	Mensual Mensual	Mensual Mensual
26	WE-03	WE-03	Observación (PMD)	Quebrada Ramadillas (antes de confluencia con Río Vízcachas)	Nivel NCh 1.333	Mensual Mensual	Mensual Mensual
27	PMRS-1	PMRS-1	Relleno Sanitario	Quebrada Ramadillas (entorno a Relleno Sanitario)	Nivel NCh 1.333	Mensual Mensual	Mensual Mensual
28	PMRS-2	PMRS-2	Alerta Temprana Relleno Sanitario	Quebrada Ramadillas (entorno a Relleno Sanitario)	Nivel NCh 1.333	Mensual Mensual	Mensual Mensual



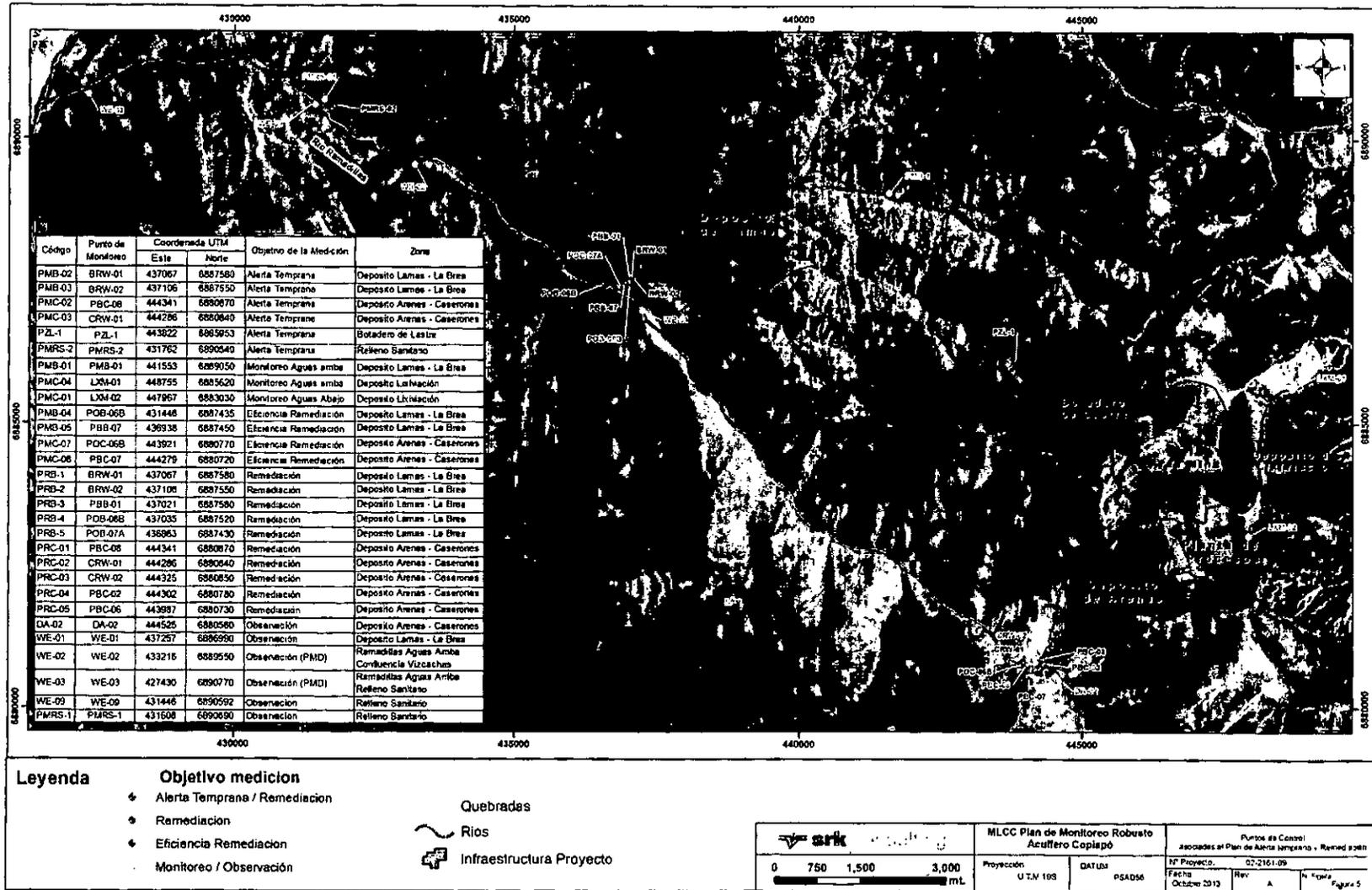


Figura 5: Ubicación Puntos de Plan de Alerta Temprana y Plan de Remediación.

### 1.3 Metodología de cumplimiento

MLCC ha confeccionado una metodología de cumplimiento para la variable calidad de agua que se formula en etapas y que ha sido representado a través de un flujograma que se detalla más adelante.

#### i. Definición de Umbrales

En las tablas 2-4 a la 2-6 se han definido los **Umbrales de Referencia Máximo (URM)** para cada uno de los parámetros establecidos en la norma NCh 1333. Sin embargo, dada la gran variabilidad de éstos detectada en el análisis del registro de datos monitoreados, MLCC propone que antes de activar el Plan de Remediación comprometido se establezca un procedimiento intermedio que permitan tomar acciones preventivas, para lo cual plantea definir un **Umbral de Alerta Temprana (UAT)** para cada parámetro a analizar.

Este **Umbral de Alerta Temprana (UAT)** se determinó 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 contaminantes en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la respectiva norma de calidad ambiental", que en este caso es el valor definido como **Umbral de Referencia Máximo (URM)**.

#### ii. Estados de Control de Calidad

Para clarificar los distintos estados de situación en que se podría encontrar al proyecto respecto del cumplimiento de calidad medido en cualquiera de los pozos definidos como de Alerta Temprana se define:

- **Estado Caso Base:** Situación en donde la concentración de cada parámetro de calidad establecido según la norma NCh 1333 (Pi) se mantienen bajo el Umbral de Alerta Temprana (UAT). Se aceptará dentro de esta categoría que uno o máximo dos parámetros sobrepasen el UAT, de acuerdo a lo explicado en el memo técnico "Definición de Umbrales de Cumplimiento para Calidad de Agua Subterránea Mina Caserones" (ver Apéndice A).
- **Estado de Alerta:** Situación en donde 3 o más parámetros de la NCh 1333 (Pi) se encuentran por sobre el UAT pero por debajo de URM.
- **Estado Remediación Activa:** Cuando 3 o más parámetros se encuentran por sobre el URM y los pozos de remediación están bombeando y actuando como barrera hidráulica. En caso que los parámetros vuelvan a valores bajo el URM, entonces se vuelve al Estado Caso Base o Estado de Alerta según sea el caso.

#### iii. Flujograma

Para describir cómo se enfrentará el cumplimiento de los compromisos de calidad establecidos se elaboró un flujograma de decisiones, que se presenta en la Figura 6, que corresponde a un diagrama explicativo, con condiciones y acciones, que indican los pasos a seguir dependiendo de las concentraciones medidas en los puntos definidos como **Pozos de Alerta Temprana** para cada depósito.

A continuación se describe cada una de las etapas del flujograma:

**Etapa 1 Condición Base** corresponde a la situación inicial en donde se miden los parámetros según lo que se establece en la tabla 2-7 del presente reporte. Si se detecta en cualquier PoAT que 3 o más parámetros se encuentran por sobre el UAT definido, se debe activar la Etapa 2. En caso contrario se continúa en condición base.

**Etapa 2 Condición de Alerta:** corresponde a la situación en que, en cualquiera de los PoAT, al menos 3 parámetros (concentraciones) monitoreados en uno de los PoAT ha sobrepasado su UAT. En este caso se comenzará una investigación para descartar que esta anomalía sea endosable a la actividad minera o esté relacionada con el régimen hidrológico acontecido. Se generará un informe extraordinario en que se mostrara 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), de modo de analizar si la anomalía es puntual o corresponde a un aumento general en la zona.

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 fuente 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.

El objetivo de estas acciones es evitar llegar a sobrepasar los URM, lo que activaría el plan de remediación.

Mientras se realizan estas investigaciones, se continuará monitoreando los PoAT de forma mensual. Si al menos 3 parámetros sobrepasan el URM se activa la Etapa 3.

**Etapa 3 Activación de Plan de Remediación:** corresponde a una situación en la que, en cualquiera de los PoAT, tres o más parámetros superan su URM. En esta etapa se activa el **Plan de Remediación** poniendo en marcha los pozos de remediación (PoRe) ubicados aguas abajo de la zanja cortafuga asegurando la extracción del total del caudal pasante contaminado presente en las quebradas.

La activación de la barrera de pozos de remediación tiene por objetivo extraer el agua subterránea contaminada desde el caudal pasante y almacenamiento 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 más cercano a la confluencia entre las quebradas y el río Ramadillas actúa sólo como respaldo a la red en caso de detectarse que el evento de contaminación persiste en el pozo de eficiencia aguas arriba. En los pozos de eficiencia de remediación se realizarán medidas semanales del nivel. Mientras que en las mediciones de calidad se analizará la variación de los parámetros con anomalía química mensualmente, y en forma trimestral se realizará un análisis completo de NCh 1333.

En los PoAT, que en esta etapa actúan como pozos de remediación, se continuará midiendo calidad en forma mensual. Cuando el número de parámetros con concentraciones anómalas bajen de 3 respecto de su URM, se detendrá el plan de remediación y se retornará a la Etapa 2 o 1, según corresponda.

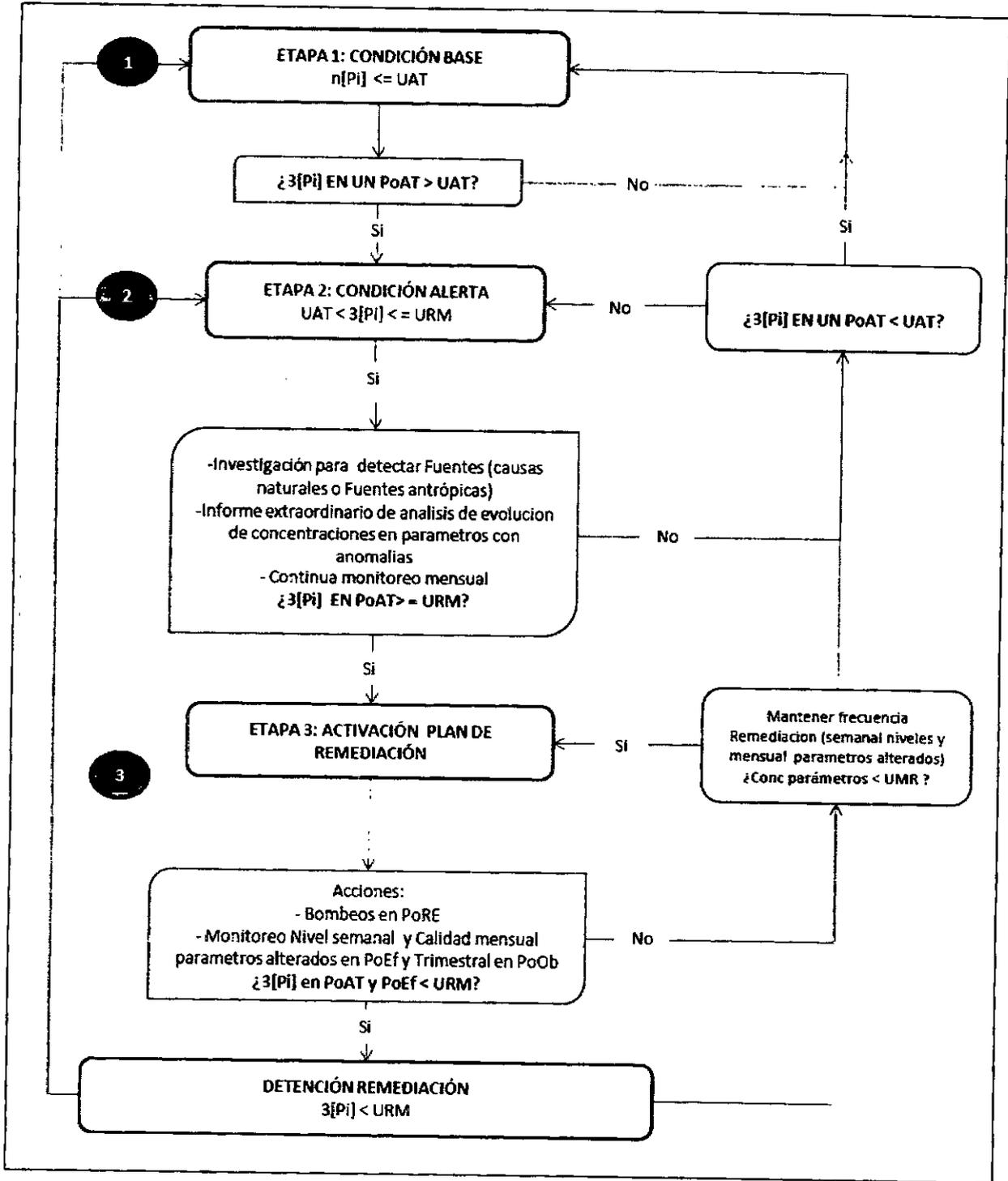
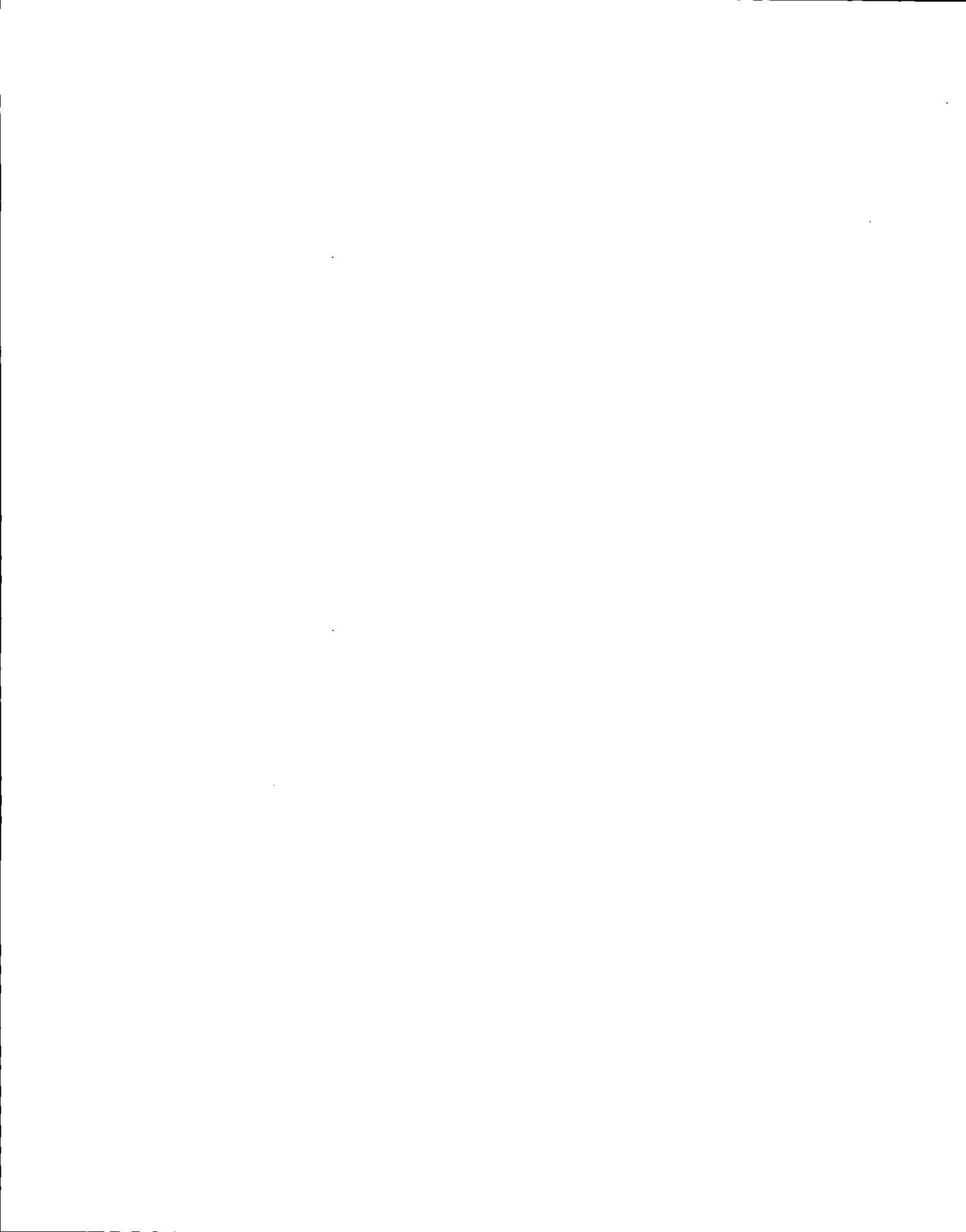


Figura 6: Flujograma de Metodología de Cumplimiento de Calidad.



## 2. PLAN DE ALERTA TEMPRANA QUEBRADA LA BREA ALTA ZONA DEPÓSITO DE LASTRE.

Se ha definido un plan de alerta temprana para controlar las posibles infiltraciones desde el botadero de lastre..

La zona aguas abajo del depósito de lastre presenta un estrechamiento hidrogeológico en donde existen indicios de que no hay agua en forma permanente. Allí está construido un muro cortafuga que atraviesa el relleno y llega a roca.

Inmediatamente aguas arriba se definió un pozo de alerta temprana (PZL-1, ver **Figura 5**) en el cual, en caso de que presente agua alguna vez, se medirá el pH. Si el pH es menor al mínimo establecido en la NCh 1333 de 5,5 se procederá a activar el Plan de Remediación.

El Plan de Remediación consiste en una barrera pasiva que disminuirá el pH del agua proveniente del botadero. El agua interceptada por el muro corta fuga será conducida gravitacionalmente por un medio alcalinizante (canal de mezcla), de modo de aumentar lo más posible su pH. El desvío llega hasta un sistema de abatimiento de sedimentos, en el cual se extraerán los sólidos, para finalmente ser devuelto a la quebrada La Brea.

## 3. PLAN DE ALERTA TEMPRANA RAMADILLAS ZONA RELLENO SANITARIO

Para controlar posibles infiltraciones desde el relleno sanitario existe una membrana de HDEP en la base del mismo la que cuenta con un sistema de drenes que permite la evacuación de las aguas percoladas en exceso.

Adicionalmente se definió un plan de alerta temprana para detectar cualquier anomalía en la calidad del agua, mediante un pozo de alerta temprana, ubicada aguas abajo del relleno, denominado PMRS-2. En este pozo se medirá calidad según NCh 1333 en forma mensual.

El Plan de remediación se activara en el caso que al menos 3 parámetros medidos de calidad sobrepasen los umbrales definidos para el pozo de alerta temprana (ver tabla 2-6).

El Plan de remediación consiste en una recirculación de las aguas mediante el bombeo desde cualquiera de los dos pozos existentes y construidos para dicho fin. El agua extraída será recirculada como riego en su superficie, con el objetivo de evaporar el agua con calidad alterada. El plan de remediación se va a detener cuando los parámetros alterados bajen su concentraciones por bajo los umbrales máximos.

*g) Asimismo, también en el numeral 2.3.4, el Titular señala que (Textual) "Una variación de ellos fuera del rango aceptable predefinido inicia un proceso de análisis extraordinario de la calidad de agua en los pozos de monitoreo involucrados, y el inicio de la extracción de agua desde el sistema de remediación.". Sobre lo señalado, y atendido a que el Titular tiene conocimiento claro del área de estudio y de las interacciones que ahí ocurren, resulta entonces relevante conocer en detalle, y en esta instancia, en qué consistirá el citado análisis extraordinario de calidad de aguas. Sin perjuicio de ello, se hace notar que, dicha evaluación debe corresponder a una que determine a nivel de conclusión sobre cuáles serían las causas y fuentes del eventual incidente que genere una variación en la calidad de los recursos hídricos presentes en el área de influencia del Proyecto, debiendo el respectivo informe ser reportado con suma inmediatez a la autoridad ambiental luego de ocurrido el suceso de*

*perturbación en la calidad de las aguas, presentando una descripción en detalle y todos aquellos antecedentes vinculados al eventual incidente.*

**Respuesta:**

En la respuesta de la pregunta g) se describe con detalle el mecanismo de activación y desactivación del Pla de Remediación.

En la Etapa 2 definida como Condición de Alerta, MLCC realizará una investigación para determinar la fuente de origen. Este reporte será entregado a la autoridad ambiental en forma oportuna.

Se analizará en detalle el régimen hidrológico y la calidad de las aguas en la zona de afectación y con ello distinguir si la anomalía es endosable a un evento natural o es generada por la actividad minera. Luego se describirán los trabajos de inspección de obras asociadas con el control de infiltraciones, entregando los detalle y el diagnóstico de esta situación. Se incluirán también las medidas inmediatas a tomar por parte de la minera para manejar la contingencia puntual.

*h) Respecto del sistema de remediación propuesto en el Plan, se hace presente que, el Titular en cada uno de los pozos de remediación debe habilitar un sistema de medición de flujos, ello para los efectos de contar con una medida cierta del volumen de aguas subterráneas calificado como aguas contactadas que eventualmente deberán extraerse y disponerse para su uso en el proceso minero. A su vez, se hace notar sobre dicho sistema que, éste deberá corresponder a uno que asegure su inviolabilidad y con ello cualquier alteración en su registro de datos. Por su parte, el Titular debe también contemplar la realización oportuna de los programas de mantención que sean necesarios de practicar al total del equipamiento dispuesto en cada uno de los pozos que conforman el Plan, asegurando así, su funcionamiento en todo momento. Así entonces, en el evento que el Titular requiera activar su sistema de remediación con motivo de la detección de una alteración en la calidad de las aguas, debe efectuar una serie de acciones tendientes a recabar antecedentes sobre el incidente en cuestión, las que al menos deberán corresponder a las siguientes: Monitoreo continuo de calidad de agua en pozos eficiencia-remediación, pozos de remediación y descarga del volumen evacuado desde pozos de remediación, contemplando frecuencia horaria para cada uno de los parámetros físico-químico y frecuencia diaria para el muestreo de análisis químico; Monitoreo multinivel de calidad de aguas en cada uno de los pozos que componen el sistema de remediación; Monitoreo continuo de los volúmenes de aguas contactadas extraídas desde los pozos de remediación, registrando además los ritmos detallados de explotación de dichos pozos. Se hace presente sobre la materia que, las acciones antes indicadas deben mantenerse mientras se mantenga activado el sistema de remediación.*

**Respuesta:**

Efectivamente los pozos de remediación contarán con un sistema de control de flujo que permitan medir con exactitud el caudal que se extrae durante el período de activación del plan de remediación.

Acogiendo lo solicitado por la autoridad, una vez implementado los sistemas de monitoreo de flujo se le hará llegar a la autoridad un plan de mantención de estos equipos con el fin de garantizar continuidad, confiabilidad, exactitud y precisión.

Respecto del monitoreo continuo de calidad, al que hace referencia la autoridad, se debe tener en consideración que no es posible controlar a nivel diario ni horario la calidad del agua pues no existen equipos para determinar concentraciones de todos los elementos en línea. Por otro lado la capacidad de respuesta de los laboratorios de terceros que realizan estos análisis toma del orden de 10-20 días como mínimo en entregar los resultados, razón por la cual MLCC se compromete a un monitoreo periódico, de acuerdo a lo presentado en la tabla 2-7 de este documento.

El laboratorio será externo a MLCC para asegurar la imparcialidad en los resultados obtenidos.

*i) Sobre las obras asociadas a la activación del sistema de remediación, cabe señalar que, previo a cualquier disposición de material en los depósitos mineros proyectados, ya sea en la Quebrada La Brea o en la Quebrada Caserones, el Titular debe contar con la habilitación completa y operativa de cada una de las obras asociadas a dicho sistema. Asimismo, sobre el envío de aguas contactadas desde los pozos de remediación, el Titular no precisa el destino de esas aguas, señalando solo que serán utilizadas en el proceso minero. Por lo tanto, se solicita al Titular especificar dicho aspecto, acompañando además, un plano que detalle ese envío (Origen - Destino).*

**Respuesta:**

Dentro de los compromisos adquiridos ante la activación del sistema de remediación, MLCC cuenta con la habilitación completa y operativa de obras asociadas a dicho sistema, las cuales contemplan el bombeo desde los pozos de remediación (PoRe) bajo la zanja cortafugas, cuya agua extraída será dispuesta en una piscina de acumulación y posteriormente impulsada a la sentina de bombeo ubicada en los puntos de descarga del sistema de drenaje de los depósitos de lamas y arenas, para luego ser transportados por un sistema de tubería hasta llegar a la piscina de aguas recuperadas en el sector de la planta de procesos.

La Figura 7 muestra los puntos de monitoreo y bombeo asociados al plan de remediación, junto con el sistema de recuperación de aguas e instalaciones del proyecto, que ilustra el transporte de aguas al sector de la planta.

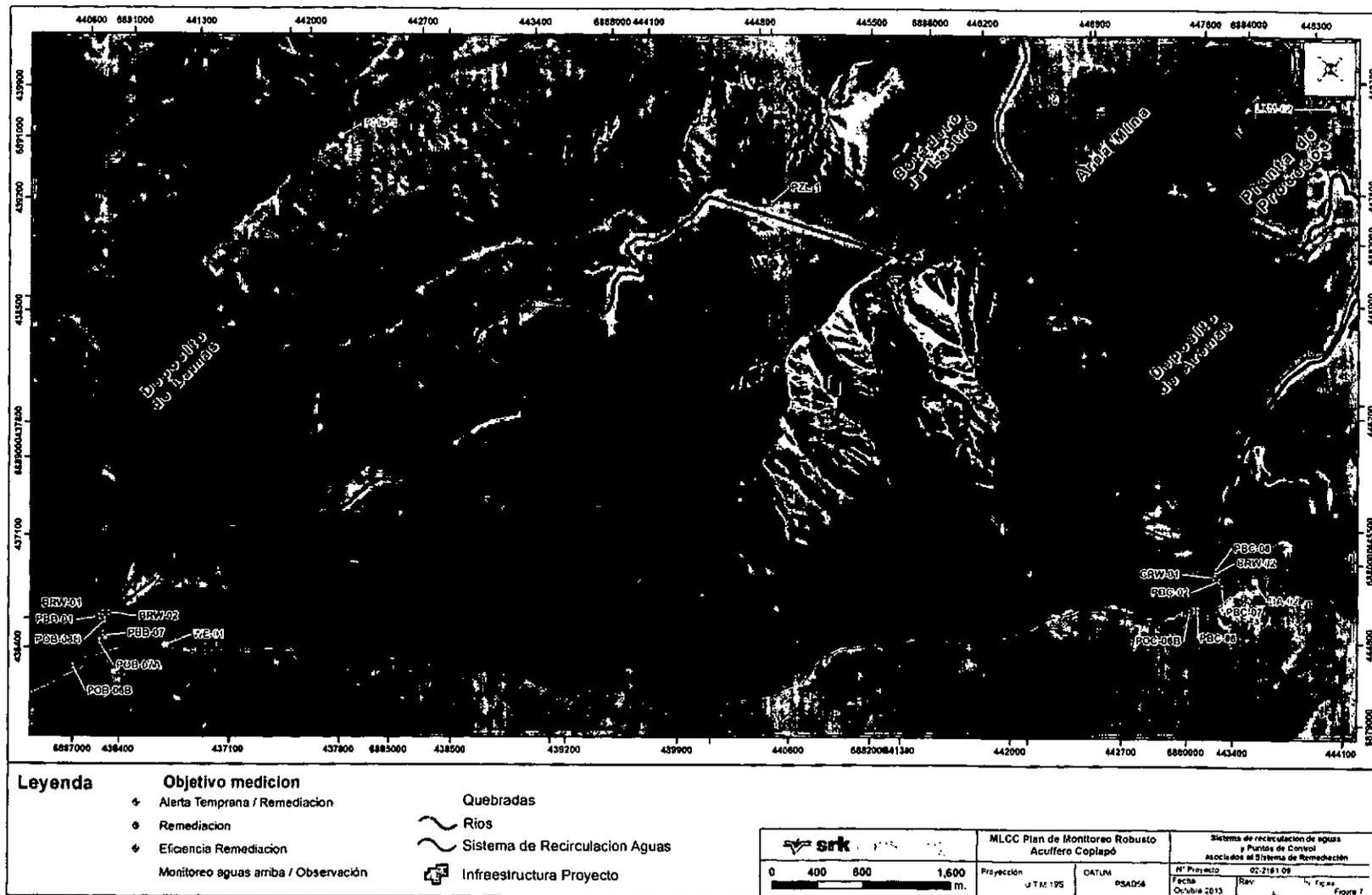


Figura 7: Detalle de obras de recirculaci3n de aguas de los Dep3sitos de Relaves.

j) *Por su parte, respecto de los pozos calificados como pozos de Aguas Arriba y pozos de Alerta Temprana, y durante la operación del Proyecto, el Titular debe considerar en éstos el monitoreo multinivel de calidad de aguas, ello para los efectos de contar con la habilidad y flexibilidad suficiente de muestrear y hacer pruebas a profundidades discretas dentro de la zona acuífera tanto aguas arriba como aguas abajo de la fuente potencial de alteración de la calidad de aguas subterráneas, contemplando para ambos tipos de pozos la misma frecuencia de monitoreo (mensual) y los mismos parámetros de seguimiento. Lo anterior, resulta aplicable tanto para la Quebrada La Brea como para la Quebrada Caserones.*

**Respuesta:**

Para el caso de los pozos de alerta temprana PoAt ubicados inmediatamente aguas abajo de la zanja cortafuga, MLCC considera que no es necesario tener un sistema de control múltiple, pues las aguas subterráneas que fluyen por los rellenos sedimentarios serán capturados por la misma zanja cortafuga diseñada para dichos efectos. Para determinar su calidad se puede tomar muestras de agua directamente en la piscina de acumulación dispuesta para almacenar y recircularlas a proceso.

El diseño de los pozos de monitoreo aguas arriba no considerará habilitaciones multinivel, puesto que los flujos que circulen por el sedimento (gravas) serán captados íntegramente por la zanja cortafugas y en caso que estos drenen serán captados por el depósito de relaves. En tanto que los flujos que escurran en forma más profunda serán detectados, y de ser necesario captados, por los pozos ubicados aguas debajo de la zanja cortafugas.

En el caso de los PoAt el monitoreo es mensual de acuerdo a la metodología de cumplimiento antes descrita. Sin embargo para los pozos de monitoreo aguas arriba se considera que la frecuencia trimestral es adecuada, puesto en dirección aguas abajo se encuentran los depósitos de relaves como una segunda instancia de control de las potenciales filtraciones provenientes del botadero, las pilas o la planta de procesos.

k) *Asimismo, en base a las predicciones de la modelación de transporte de carga contaminante presentada en los informes denominados Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control de Filtraciones Depósito de Lamas Quebrada La Brea Revisión A (SRK Consulting, Enero 2011), y Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control de Filtraciones Depósito de Arenas Quebrada Caserones Revisión A (SRK Consulting, Enero 2011), y en virtud de la información de calidad de agua que se registre con motivo de una eventual activación del sistema de remediación, el Titular debe evaluar si las concentraciones medidas en los respectivos puntos de control son coincidentes o no con las predicciones establecidas en dicha modelación. A su vez, el Titular debe proceder además con la actualización de la herramienta predictiva de modelación en caso que corresponda, utilizándola como apoyo en el análisis de la evolución de la eventual pluma contaminante.*

**Respuesta:**

Efectivamente los estudios citados presentan un modelo de transporte de contaminantes simulando la eventualidad de infiltración considerando que debajo de la zanja cortafuga, además del flujo natural, pase 1 l/s con una concentración de contaminantes de 1 gr/l. Esto se formula como un escenario impuesto sobre el modelo de flujo, es decir se ingresa un flujo de agua a una concentración unitaria.

Este modelo no está formulado para determinar la magnitud de infiltración, si no que para simular el transporte de contaminante frente a un pulso de ingreso dado como input al modelo.

Por otro lado los resultados obtenidos para esta simulación unitaria, permiten obtener concentraciones en forma indirecta, distribuyendo la concentración resultante de acuerdo con los valores máximos obtenidos de las aguas resultantes en las pruebas piloto realizadas para los relaves.

En este contexto es que el modelo no sirve para simular concentraciones específicas de ciertas especies, sino que sólo determinar la distribución de la pluma en los escenarios de concentración unitaria y para ciertos escenarios de flujo. El modelo tampoco permite determinar las infiltraciones bajo los relaves.

Tomando en consideración lo antes expuesto MLCC utilizará este modelo como herramienta de sensibilización frente a ciertos escenarios de infiltraciones y concentraciones a la luz de lo que se detecte durante la operación de estas obras.

*l) Por otra parte, en relación a la desactivación del sistema de remediación, en el numeral 2.3.4 del Plan, el Titular señala que (Textual) "El bombeo desde los pozos de remediación se detiene cuando en los pozos de detección (aguas abajo de la zanja) ocurra lo siguiente: Caso 1. Para parámetros cuya línea de base es menor al respectivo límite establecido en la NCh 1.333 (para riego): Concentración menor o igual al límite establecido en dicha norma, durante 4 meses consecutivos de monitoreo. Caso 2. Para parámetros cuya línea de base es mayor al respectivo límite establecido en la NCh 1.333 (para riego): Concentración menor o igual al promedio de línea de base, durante 4 meses consecutivos de monitoreo." Sobre ello, cabe señalar que, el criterio de 4 meses consecutivos expuesto por el Titular como criterio para el cese de la explotación de los pozos de remediación, no se encuentra acreditado en el Plan en estudio, por cuanto no se acompaña ninguna justificación técnica que sustente haber definido ese periodo de tiempo. Por lo tanto, se solicita al Titular que refine su propuesta en este aspecto, en el sentido de proponer un análisis más detallado y justificado sobre cómo pretende abordar la evolución de un eventual evento de activación del sistema de remediación, estableciendo en particular, un criterio de desactivación con suficiente justificación técnica. Recordar al respecto que, dicha desactivación debe responder a la completa verificación y recuperación de la condición base asociada a cada uno de los parámetros de calidad de aguas que han sido definidos para monitorear los efectos de las instalaciones mineras sobre la calidad de los recursos hídricos presentes en el área de influencia directa del Proyecto.*

**Respuesta:**

Ver respuesta g) anterior, en DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL DEL PLAN DE ALERTA TEMPRANA (PAT).

*m) Del mismo modo, también en el numeral 2.3.4, el Titular señala que (Textual) "...se estima que el sistema de remediación contará con una capacidad de bombeo de un total de 28 y 6 l/s en los sectores La Brea y Caserones, respectivamente.". Al respecto, cabe hacer notar que, conforme a lo establecido en los informes individualizados en letra n) anterior, los que fueran presentados por el mismo Titular con posterioridad a la RCA en atención al cumplimiento de un compromiso establecido en la citada Resolución, en estos se determinan valores de flujo subterráneo pasante para cada una de las Quebradas (La Brea y Caserones) que no guardan relación con los valores de caudales indicados por el Titular en el presente Plan como capacidad de bombeo de remediación, siendo estos últimos mayores. Atendida la relevancia de este aspecto, se solicita al Titular aclare en virtud de la información técnica disponible cuál será finalmente la capacidad total de bombeo habilitada en los pozos de*

*remediación, tanto para el sistema que se habilitará en el Quebrada La Brea como para el que se dispondrá en la Quebrada Caserones, la cual necesariamente debe corresponder a un valor del orden del flujo pasante subterráneo presente en la zona acuífera de interés.*

**Respuesta:**

La estimación de los caudales pasantes presentada en el EIA se realizó con la información disponible en ese momento. Sin embargo, posteriormente a la obtención de la RCA se llevó a cabo la campaña de perforación de los pozos comprometidos, junto con la ejecución de pruebas hidráulicas para determinar la transividad y coeficiente de almacenamiento del medio. Con esto se pudo precisar el caudal estimado con anterioridad, además de demostrar numéricamente que con esos caudales se intercepta la potencial pluma contaminante. Es por ello que esta diferencia se puede interpretar con discrepancia, sin embargo, MLCC considera que esto se debe a una precisión justificada con mayor cantidad de información.

Así en los informes "Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control de Filtraciones Depósito de Lamas Quebrada La Brea Revisión A (SRK Consulting, Enero 2011), y Estudios Hidrogeológicos Complementarios Control de Filtraciones Depósito de Arenas Quebrada Caserones Revisión A (SRK Consulting, Enero 2011)", se estimaron los valores de flujo pasante para el sector de la Brea del orden de 12 l/s en la cabecera de la Quebrada La Brea y del orden de 14 l/s en el punto de entrada del río Ramadillas, mientras que en el sector de Caserones los flujos pasantes son del orden de entre 3 y 4 l/s en la cabecera de la Quebrada Caserones y del orden de 16 l/s en el punto de entrada del río Ramadillas..

Luego mediante las pruebas de bombeo realizadas (SRK 2010,2011) se deprimió el nivel subterráneo extrayendo un caudal a tasa constante que sirvió para establecer la capacidad de bombeo para cada pozo. Estos antecedentes permitieron solicitar de traslado de derechos ante la DGA, para asegurar la autorización del caudal extraído ante eventos que activen el sistema de remediación.

Los caudales totales solicitados guardan relación con las pruebas simultaneas realizadas en los pozos de la quebrada La Brea (13.3 l/s) y la quebrada Caserones (2 l/s), considerando también los bombeos de remediación simulados en el modelo numérico (SRK2011) con caudales de 12 l/s en la quebrada La Brea y 2 l/s en la quebrada Caserones, los que están dentro del orden de los caudales pasantes estimados en ambas quebradas.

En el caso de la quebrada La Brea, la activación de la primera barrera de pozos en situación de remediación permite extraer el caudal pasante, sin embargo, se solicita un caudal de derecho relativamente mayor debido por un lado a que los pozos en principio extraen el agua del flujo pasante sumado al agua desde almacenamiento que cruza la sección, cuyos caudales de extracción van disminuyendo hasta estabilizarse en el tiempo; por otro lado, debe considerarse los efectos por la variabilidad del año hidrológico y régimen estacional.

En el caso de la quebrada Caserones, el caudal por flujo pasante es mayor a los derechos solicitados. Sin embargo, se estimó que la mayor parte del flujo pasante corresponde al estrato más permeable (estrato 1) el cual se mantendrá prácticamente seco tras la construcción de la Zanja Cortafugas.

La Tabla 2-8 resume la información de los pozos asociados al sistema de remediación por quebrada, con los valores de pruebas de bombeo realizadas, simulación numérica, caudales pasantes y solicitud de derechos a la DGA (este último de acuerdo a lo establecido en el Plan de Monitoreo).

**Tabla 2-8: Resumen caudales PoRe, derechos solicitados y caudales por quebrada.**

N°	Pozo	Caudal (l/s)					Sector
		Capacidad de Bombeo	Prueba Simultanea	Simulación Numérica	Caudal Pasante	Solicitud derechos	
1	BRW-1	10			11.5	6	Quebrada La Brea
2	PBB-1	18				6	Quebrada La Brea
3	BRW-2	1				1	Quebrada La Brea
4	POB-08 B	3				2	Quebrada La Brea
5	POB-07 A	14			14*	13	Confluencia Qda La Brea - Ramadillas
	<b>TOTAL</b>		<b>13.3</b>	<b>12</b>	<b>25.5</b>	<b>28</b>	
6	CRW-1	0.3			3 a 4 l/s	0.3	Quebrada Caserones
7	CRW-2	0.6				0.5	Quebrada Caserones
8	PBC-8	1.1				0.7	Quebrada Caserones
9	PBC-2	1.5				1	Quebrada Caserones
10	PBC-6	4			16*	3.5	Confluencia Qda Caserones - Ramadillas
	<b>TOTAL</b>		<b>2</b>	<b>2</b>	<b>19 a 20 L/s</b>	<b>6</b>	

Nota: \* Caudales pasantes punto de entrada Ramadillas

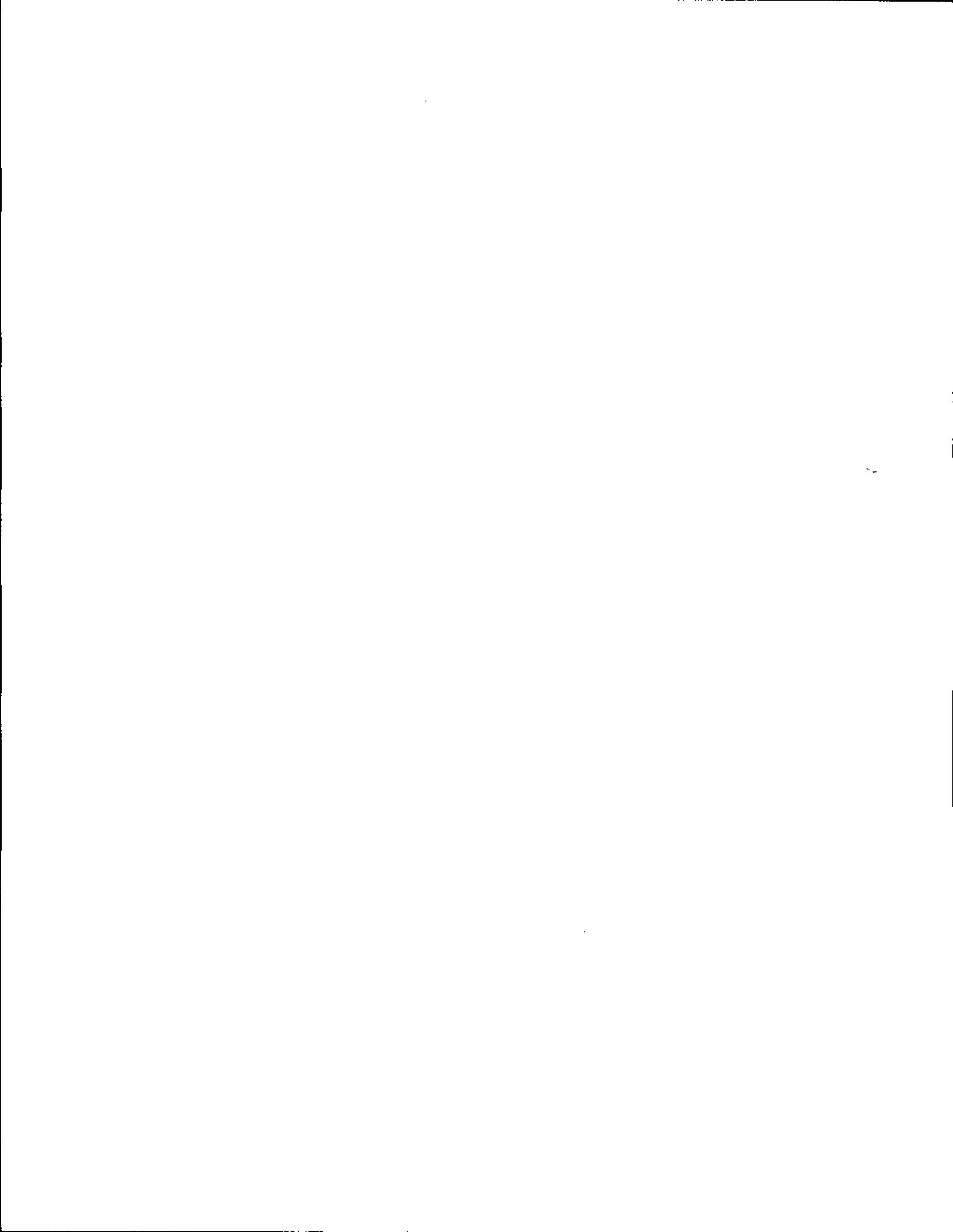
n) Sobre los pozos de remediación, cabe hacer presente que, el Titular debe utilizar dichas captaciones sólo en el evento que se haya detectado una alteración en la calidad de los recursos presentes en el área de influencia, es decir, con fines de remediación, y en ningún caso, con el objetivo de abastecer recursos hídricos frescos al proceso minero o alguna labor asociada a la faena minera en cuestión.

**Respuesta:**

Parte de la metodología de cumplimiento consiste en mantener a la autoridad informada de los datos medidos en terreno así como de las acciones que se llevarán a cabo frente a cada situación asociada con anomalías en la calidad de las aguas en el área minera.

En este sentido, MLCC establece que el plan de remediación será activado cuando se verifique que en cualquiera de los pozos de alerta temprana PoAT, los umbrales de referencia máximos URM han sido superados en a lo menos tres parámetros monitoreados, medida que por cierto será reportada a la autoridad.

o) En relación al monitoreo de largo plazo en zonas aculferas no inmediatamente aguas abajo de las instalaciones del Proyecto (Aguas abajo del Río Ramadillas por el Río Pulido), el Titular debe considerar puntos de monitoreo representativos en dichas zonas para los efectos de evaluar en el tiempo una eventual alteración de la calidad de los recursos hídricos subterráneos con motivo de la



*operación del Proyecto. Por lo anterior, se solicita al Titular incorporar este aspecto en el presente Plan.*

**Respuesta:**

Se encuentran incorporados. MLCC cuenta con puntos de monitoreo de calidad de agua subterránea, representativos de las zonas acuíferas aguas abajo del río Ramadillas por el Río Pulido. Entre ellos está el punto WE-04 ubicado en el Río Pulido, bajo la confluencia del Río Vizcachas y Río Ramadillas; y los puntos CCh-4 y CCh-5 ubicado en el Río Pulido aguas abajo de la confluencia con el Río Montosa, tal como se pueden observar en la Figura 2.



## **Preparado por**

---

Beatriz Labarca

Principal Hydrogeologist

Jefe Área Hidrogeología

## **Revisado por**

---

Osamu Suzuki

Principal Hydraulic Engineer (Hydrogeology)

Todos los datos utilizados como material principal, además del texto, tablas, figuras y adjuntos de este documento han sido revisados y preparados conforme a los estándares profesionales de ingeniería y medio ambiente normalmente aceptados.

## Apéndices

## **Apéndice A: Determinación de Umbrales de Cumplimiento**

# 1 Introducción

El Proyecto Minero "Caserones" fue aprobado ambientalmente con RCA N° 13/10 en el año 2010. En dicho documento, la minera ha comprometido 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.

En noviembre del 2012, MLCC hizo llegar a la autoridad ambiental el Plan de Monitoreo del Recurso Hídrico del Proyecto Caserones en donde se expuso la forma en que la minera controlaría la variable cantidad y calidad de agua donde se desarrolla el proyecto.

Mediante el Ordinario DGA Atacama N° 470/13, del 11 de julio de 2013, la autoridad expone algunas inquietudes y solicita aclarar algunas temas respecto al Plan de Monitoreo planteado.

Con el fin de responder a estas inquietudes es que MLCC ha solicitado a SRK Consulting (Chile) que realice los estudios necesarios para dar respuesta al Ordinario N° 470/13. El presente Memo forma parte de estos estudios, y muestra los resultados obtenidos en el análisis de la información hidroquímica existente hasta la fecha.

El objetivo principal de este estudio es caracterizar cuantitativamente la componente de calidad del recurso hídrico subterráneo en el área de estudio, para el periodo de Línea Base. Esta caracterización se realizará para los elementos mencionados en la Norma Chilena N°1.333, que establece requisitos de calidad de agua para distintos usos, en este caso riego. Se trabajó con estos elementos debido a que en el Plan de Monitoreo del Recurso Hídrico del Proyecto Caserones, MLCC expresa que la alteración de estos elementos gatillarían eventuales acciones de Remediación. La Tabla 1.1 muestra cuales son los parámetros analizados.

El área de estudio se divide en tres sectores: Quebrada La Brea, Quebrada Caserones y la zona del Relleno Sanitario.

Tabla 1-1 Parámetros Analizados NCh 1.333 Agua para Diferentes Usos.

Parámetros NCh1333	Unidad	Parámetros NCh1333	Unidad	Parámetros Anexos	Unidad
Aluminio Total	mg/L	Manganeso Total	mg/L	<i>Metales Totales</i>	
Arsénico Total	mg/L	Mercurio Total	mg/L	Calcio Total	mg/L
Bario Total	mg/L	Molibdeno Total	mg/L	Potasio Total	mg/L
Berilio Total	mg/L	Níquel Total	mg/L	Magnesio Total	mg/L
Boro Total	mg/L	pH		Sodio Total	mg/L
Cadmio Total	mg/L	Plata Total	mg/L	<i>Parámetros Físico Químicos</i>	
Cianuro Total	mg/L	Plomo Total	mg/L	Bicarbonato	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Cloruro	mg/L	Absorción*	mg/L	Carbonato	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Cobalto Total	mg/L	Selenio Total	mg/L	Sólidos Suspendidos	mg/L
Cobre Total	mg/L	Sodio Porcentual	%	<i>Parámetros Inorgánicos</i>	
Conductividad	μS/cm	Sulfato	mg/L	Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Cromo Total	mg/L	Vanadio Total	mg/L	Nitrito	mg/L
Hierro Total	mg/L	Zinc Total	mg/L	Nitrato	mg/L
Fluoruro	mg/L				
Litio Total	mg/L				

## 2 Metodología de Trabajo

En el análisis y caracterización de calidad de las aguas se consideró la información disponible para la zona, proveniente de 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, se realizaron cálculos para validar estos resultados, se analizaron las concentraciones de los elementos mayores, menores y traza para observar variaciones en las concentraciones, y se compararon dichas concentraciones con la Norma Chilena de Calidad de agua para diferentes usos (NCh. 1.333).

En base a las inquietudes de la autoridad expuestas en el Ordinario DGA Atacama N° 470/13, se definió como zonas críticas donde se necesita contar con una caracterización Hidroquímica a los puntos definidos como de Alerta Temprana, que corresponden a los puntos BRW-01 y BRW-02, en la Quebrada La Brea; a los puntos CRW-01 y PBC-08 en la Quebrada Caserones; y al punto PMRS-2 en la zona aguas abajo del Relleno Sanitario.

### 2.1 Análisis de los Datos

Se analizaron los datos para los pozos escogidos cuya información en extenso se encuentra en el Anexo A. 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).

#### Rango Intercuartil (RIC)

Esta técnica 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  $Q1 - 1,5 \cdot RIC$  o sobre  $Q3 + 1,5 \cdot RIC$  pueden ser considerados como outliers suaves, en tanto aquellos valores bajo  $Q1 - 3,0 \cdot RIC$  o sobre  $Q3 + 1,5 \cdot RIC$  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 2.1 muestra un box-plot, que permite ilustrar gráficamente los outliers por el método descrito.

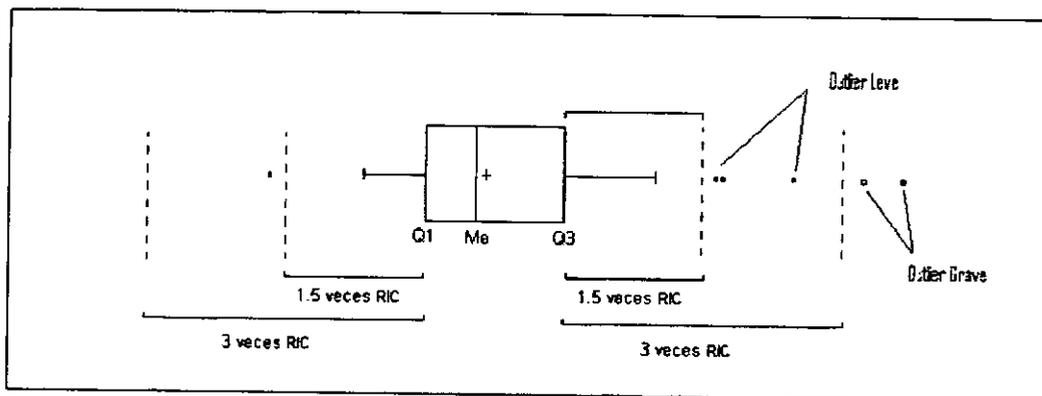


Figura 2-1 Box-Plot con valores outliers leves y extremos

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.

## 2.2 Definición Umbrales Máximos

Para obtener los umbrales máximos, 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:

$$\text{Umbral Máximo} = \text{Promedio} + 2 * \text{Desviación Típica}$$

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 95% 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:

$$Z = \frac{X - \text{promedio}}{\text{desviación}}$$

Donde Z corresponde a la variable aleatoria normal, X es el valor real medido, y el promedio y desviación son de los datos reales.

Este procedimiento se realizó para cada uno de los puntos seleccionados. Para obtener un solo valor umbral por parámetro para cada cuenca se escogió el valor mayor de los obtenidos, para las zonas que cuentan con 2 pozos de alerta temprana a los que se les aplicó la metodología (quebrada Caserones y La Brea).

## 2.3 Definición Umbrales Alerta

Los umbrales de alerta 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 prevenir alcanzar el umbral máximo de referencia (UMR) en la determinación del umbral de alerta de cada parámetro, se considera como referencia un techo límite igual al 80% del valor correspondiente al umbral máximo. Así, el umbral de alerta a proponer será menor a la concentración de Zona de Latencia.

### 3 Umbrales Máximos y de Alerta en Quebrada Caserones

Empleando la metodología descrita en la sección 3, se obtienen los umbrales máximos y los umbrales de alerta en Quebrada Caserones, los que se muestran en las Tablas 3.1.

Tabla 3-3-1 Umbrales Máximos de Referencia y Umbrales de Alerta en Quebrada Caserones

Elemento	Unidad	Límite Máximo Norma 1333	Umbral Máximo	Umbral Alerta
aluminio	mg/l	5	2,719	2,175
arsénico	mg/l	0,1	0,003	0,002
bario	mg/l	4	0,024	0,019
berilio	mg/l	0,1	0,010*	0,010*
boro	mg/l	0,75	0,010*	0,010*
cadmio	mg/l	0,01	0,021	0,017
cianuro	mg/l	0,2	0,050*	0,050*
cloruro	mg/l	200	20,222	16,177
cobalto	mg/l	0,05	0,067	0,054
cobre	mg/l	0,2	5,404	4,323
cromo	mg/l	0,1	0,068	0,055
fluoruro	mg/l	1	1,970	1,576
hierro	mg/l	5	49,829	39,863
litio	mg/l	2,5	0,072	0,058
manganeso	mg/l	0,2	3,025	2,420
mercurio	mg/l	0,001	0,001*	0,001*
molibdeno	mg/l	0,01	0,010*	0,010*
níquel	mg/l	0,2	0,079	0,063
plata	mg/l	0,2	0,015	0,012
plomo	mg/l	5	0,018	0,014
selenio	mg/l	0,02	0,004*	0,004*
sodio porcentual	%	35	12,609	10,088
sulfato	mg/l	250	724,745	579,796
vanadio	mg/l	0,1	0,026	0,021
zinc	mg/l	2	1,460	1,168
ph		5,5-9	5,870	4,696
Alc Total	mg/l	20	16,276	13,021
CE	umho/cm	750	1247,743	998,194
SDT	mg/l	500	1006,255	805,004

\*Corresponden al límite de detección

## 4 Umbrales Máximos y de Alerta en Quebrada La Brea

Empleando la metodología descrita en la sección anterior, se obtienen los umbrales máximos y los umbrales de alerta en los pozos de la Quebrada La Brea, los que se muestran en las **Tablas 3.1**

**Tabla 4-4-1 Umbrales Máximos de Referencia y Umbrales de Alerta en Quebrada La Brea**

Elemento	Unidad	Límite Máximo Norma 1,333	Umbral Máximo	Umbral Alerta
aluminio	mg/l	5	0,338	0,270
arsénico	mg/l	0,1	0,005	0,004
bario	mg/l	4	0,041	0,033
berilio	mg/l	0,1	0,010*	0,010*
boro	mg/l	0,75	0,080	0,064
cadmio	mg/l	0,01	0,002*	0,002*
cianuro	mg/l	0,2	0,050*	0,050*
cloruro	mg/l	200	22,696	18,157
cobalto	mg/l	0,05	0,010*	0,010*
cobre	mg/l	0,2	0,035	0,028
cromo	mg/l	0,1	0,040	0,032
fluoruro	mg/l	1	0,825	0,660
hierro	mg/l	5	24,427	19,542
litio	mg/l	2,5	0,048	0,038
manganeso	mg/l	0,2	0,570	0,456
mercurio	mg/l	0,001	0,001*	0,001*
molibdeno	mg/l	0,01	0,010*	0,010*
níquel	mg/l	0,2	0,005	0,004
plata	mg/l	0,2	0,010*	0,010*
plomo	mg/l	5	0,002	0,002
selenio	mg/l	0,02	0,004*	0,004*
sodio porcentual	%	35	23,613	18,890
sulfato	mg/l	250	333,777	267,021
vanadio	mg/l	0,1	0,030	0,024
zinc	mg/l	2	2,951	2,361
ph		5,5-9	6,570	5,256
Alc Total	mg/l	20	145,006	116,004
CE	umho/cm	750	741,605	593,284
SDT	mg/l	500	631,686	505,349

\*Corresponden al límite de detección

## 5 Umbrales Máximos y de Alerta en Relleno Sanitario

Empleando la metodología descrita en la sección anterior, se obtienen los umbrales máximos y los umbrales de alerta en el pozo del sector Relleno Sanitario, los que se muestran en las Tablas 5.1

Tabla 5-5-1 Umbrales Máximos de Referencia y Umbrales de Alerta en Relleno Sanitario

Elemento	Unidad	Límite Máximo Norma 1,333	Umbral Máximo	Umbral Alerta
aluminio	mg/l	5	3,114	2,491
arsénico	mg/l	0,1	0,003	0,002
bario	mg/l	4	0,021	0,017
berilio	mg/l	0,1	0,010*	0,010*
boro	mg/l	0,75	0,140	0,112
cadmio	mg/l	0,01	0,002*	0,002*
cianuro	mg/l	0,2	0,050*	0,050*
cloruro	mg/l	200	33,319	26,655
cobalto	mg/l	0,05	0,010*	0,010*
cobre	mg/l	0,2	0,036	0,029
cromo	mg/l	0,1	0,008	0,007
fluoruro	mg/l	1	0,935	0,748
hierro	mg/l	5	7,856	6,285
litio	mg/l	2,5	0,035	0,028
manganeso	mg/l	0,2	0,241	0,193
mercurio	mg/l	0,001	0,001*	0,001*
molibdeno	mg/l	0,01	0,010*	0,010*
níquel	mg/l	0,2	0,010	0,008
plata	mg/l	0,2	0,010*	0,010*
plomo	mg/l	5	0,003	0,002
selenio	mg/l	0,02	0,004*	0,004*
sodio porcentual	%	35	39,039	31,231
sulfato	mg/l	250	236,581	189,265
vanadio	mg/l	0,1	0,043	0,034
zinc	mg/l	2	0,127	0,102
ph		5,5-9	8,285	6,628
Alc Total	mg/l	20	135,540	108,432
CE	umho/cm	750	639,427	511,541
SDT	mg/l	500	550,001	440,001

\*Corresponden al límite de detección

## 6 Definición Número de Parámetros que Activan la Remediación

Como esta descrito en el Plan de Monitoreo del Recurso Hídrico del Proyecto Caserones desarrollado por MLCC, en caso de que la concentración de algún parámetro supere la concentración indicada en la Norma Chilena 1.333, o supere el umbral máximo definido, en caso que este sea superior al valor de la norma, se va a activar un plan de remediación cuyo objetivo es asegurar que no se va a generar un evento de contaminación aguas abajo de los pozos de remediación.

En base al análisis de outliers realizado, se decidió determinar un número mínimo de parámetros que deberán superar la norma o el umbral para activar el sistema de remediación. Esto se realizó para evitar que un solo parámetro active la remediación, ya que existe una alta probabilidad de que si un solo parámetro excede la norma o el umbral, se trate tal vez de un valor atípico, o de una medición errónea, en caso que se exceda solo en una muestra.

Para determinar este número mínimo, se calculó el número de outliers presentes en una misma muestra, para todos los parámetros indicados en la Tabla 1.1. Se calculó un promedio de los valores por pozo, obteniendo un valor de 3.

En consecuencia, para activar la remediación, es necesario que al menos 3 parámetros sobrepasen la norma NCh 1.333 o el umbral máximo definido.

## 7 Limitaciones

Los valores umbrales obtenidos son considerando la información existente para la zona. Esta estadística no es la más óptima para esta clase de análisis, debido a que para formular una línea base que represente mejor a la realidad se necesita tener mediciones de, en lo posible, más de 10 años. En este caso, el punto que contaba con mayor cantidad de mediciones realizadas no sobrepasaba los 4 años. La mayoría de los datos contaba con 1 o 2 años, e incluso hay puntos que cuentan solo con meses de medición en periodo de Línea Base.

## **ANEXO A: Datos Calidad de Agua en Pozos de Alerta Temprana**

Punto	Fecha Muestreo	Nivel	Temperatura	Apariencia	Turbidez	Alcalinidad Total	CE	Color verdadero
		m	°C		UNT	mg/L CaCO3	mmhos	Pt-Co
BRW-01	17-01-2012	25,1	15,7	S/Turbia	47,7	16,67	822	2,5
BRW-01	22-02-2012	26,69	16,5	S/Turbia	30,4	27,18	834	2,5
BRW-01	13-03-2012	27,39	18,9	S/Turbia	22,5	25,93	819	2,5
BRW-01	11-04-2012	28,45	15,4	S/Turbia	28,9	48,71	745	2,5
BRW-01	09-05-2012	29,26	14,8	S/Turbia	38,1	53,95	765	2,5
BRW-01	14-06-2012	30,25	14,9	S/Turbia	156	72,01	786	2,5
BRW-01	11-07-2012	30,72	14,5	S/Turbia	60	80,86	790	3
BRW-01	09-08-2012	30,83	15,4	S/Turbia	55	97,5	798	2,5
BRW-01	05-09-2012	30,19	15,3	S/Turbia	55	66,61	735	2,5
BRW-01	09-10-2012	29,31	15,5	Semi Turbia	100	77,78	730	2,5
BRW-01	13-11-2012	28,95	17,9	Semi Turbia	60	53,92	733	2,5
BRW-01	11-12-2012	29,39	17,5	Semi Turbia	60	48,71	749	2,5
BRW-01	08-01-2013	29,82	17,5	Clara	50	48,55	767	2,5
BRW-01	12-02-2013	30,43	15,8	Clara	34	50,21	737	2,5
BRW-01	12-03-2013	31,02	15,8	Clara	70	106,87	816	2,5
BRW-01	10-04-2013	31,68	14,8	Clara	32	56,4	795	2,5
BRW-01	14-05-2013	32,39	13,9	Clara	90	131,73	850	2,5
BRW-01	10-10-2012				90	71,03		2,5
BRW-01	11-06-2013	32,54	15,1	Clara	40	143,57	920	8
BRW-02	17-01-2012	30,27	17,9	S/Turbia	110	18,89	895	7,5
BRW-02	22-02-2012	31,33	19,4	S/Turbia	143	57,61	966	2,5
BRW-02	13-03-2012	32,15	17,3	S/Turbia	118	111,48	866	2,5
BRW-02	11-04-2012	33,24	15,7	S/Turbia	167	164,15	913	2,5
BRW-02	09-05-2012	33,65	15,3	S/Turbia	85,5	159,61	917	2,5
BRW-02	14-06-2012	34,59	15,2	S/Turbia	239	156,73	898	2,5
BRW-02	11-07-2012	35,07	14,3	S/Turbia	330	153,22	906	3
BRW-02	09-08-2012	35,22	15,6	S/Turbia	60	165,17	903	2,5
BRW-02	05-09-2012	35,18	15,7	S/Turbia	130	169,26	905	2,5
BRW-02	09-10-2012	35,44	14,9	Semi Turbia	210	164,88	916	2,5
BRW-02	13-11-2012	34,95	17,8	Semi Turbia	80	157,62	919	2,5
BRW-02	11-12-2012	34,46	16,9	Semi Turbia	120	159,91	915	2,5
BRW-02	08-01-2013	34,8	18,8	Turbia	190	139,46	913	2,5
BRW-02	12-02-2013	33,92	15,3	Turbia	240	149,13	926	2,5
BRW-02	12-03-2013	34,56	16,7	Turbia	20	133,55	917	2,5
BRW-02	10-04-2013	35,43	15,2	Turbia	13	126,79	916	2,5
BRW-02	14-05-2013	36,05	14,8	Turbia	18	147,14	876	2,5
BRW-02	11-06-2013	35,79	15,5	Turbia	50	150,39	860	8
CRW-01	17-01-2012	23,63	10	Clara	32,7	13,33	942	2,5
CRW-01	21-02-2012	25,4	10,2	S/Turbia	38,1	19,57	1076	2,5
CRW-01	10-04-2012	26,3	8,6	S/Turbia	26,8	13,77	884	2,5
CRW-01	10-05-2012	26,55	9,7	S/Turbia	36,7	16,86	874	2,5
CRW-01	13-06-2012	30,25	8,5	S/Turbia	68,4	13,77	892	2,5
CRW-01	10-07-2012	24,53	9	S/Turbia	20	8,51	868	3
CRW-01	07-08-2012	24,42	8,1	S/Turbia	33	11,47	827	2,5

Punto	Fecha Muestreo	Nivel	Temperatura	Apariencia	Turbidez	Alcalinidad Total	CE	Color verdadero
		m	°C		UNT	mg/L CaCO <sub>3</sub>	mmhos	Pt-Co
CRW-01	04-09-2012	23,62	10	S/Turbia	120	3,28	815	2,5
CRW-01	09-10-2012	19,02	8,5	Semi turbia	100	10,37	751	2,5
CRW-01	12-11-2012	21,18	11,5	Semi Turbia	80	7,26	780	2,5
CRW-01	10-12-2012	21,63	11,2	Semi Turbia	90	6,35	806	2,5
CRW-01	07-01-2013	21,75	10,5	Clara	600	7,23	850	25
CRW-01	12-02-2013	21,39	11,2	Clara	38	9,54	749	2,5
CRW-01	12-03-2013	21,69	10,2	Clara	50	1,31	826	2,5
CRW-01	09-04-2013	21,75	10	Clara	80	1,93	838	2,5
CRW-01	14-05-2013	22,95	8,6	Clara	55	0,2	841	2,5
CRW-01	12-06-2013	23,15	9,3	Clara	77	1,33	830	8
PBC-08	17-03-2011	26,06		clara	136	0,01		7,5
PBC-08	26-04-2011	26,92	10,5	S/Turbia	140	12,73	1017	7,5
PBC-08	27-05-2011	27,07	9,7	S/Turbia	308	0,01	1297	15
PBC-08	21-06-2011	16,46	8,4	S/Turbia	122	0,01	1359	7,5
PBC-08	20-07-2011	26,6	9,2	S/Turbia	191	0,01	1341	7,5
PBC-08	20-08-2011	26,78	15,5	S/Turbia	176	0,01	1332	2,5
PBC-08	01-09-2011	26,56	8,5	S/Turbia	132	0,01	1679	2,5
PBC-08	01-10-2011	26,41	10,6	S/Turbia	157	0,01	1726	7,5
PBC-08	15-11-2011	26,67	10,7	S/Turbia	140	0,01	1787	2,5
PBC-08	15-12-2011	26,13	11,7	S/Turbia	192	0,01	1792	2,5
PBC-08	17-01-2012	25,62	10,7	S/Turbia	128	0,01	1772	2,5
PBC-08	21-02-2012	26,43	12,4	S/Turbia	241	0,01	1797	2,5
PBC-08	15-03-2012	26,57	12,8	S/Turbia	177	0,01	1440	2,5
PBC-08	10-04-2012	26,66	9,8	S/Turbia	174	0,01	1478	2,5
PBC-08	10-05-2012	26,7	9,9	S/Turbia	97,6	0,01	1426	2,5
PBC-08	13-06-2012	26,63	9,4	S/Turbia	180	0,01	1464	2,5
PBC-08	10-07-2012	26,3	8,6	S/Turbia	130	0,01	1456	3
PBC-08	07-08-2012	26,28	9	S/Turbia	180	3,44	1458	2,5
PBC-08	04-09-2012	26,27	11,4	Semi Turbia	240	0,01	1446	2,5
PBC-08	09-10-2012	22,16	10,5	Semi Turbia	180	4,15	1502	2,5
PBC-08	12-11-2012	23,44	11,9	Semi Turbia	150	0,01	1471	2,5
PBC-08	10-12-2012	23,85	12,2	Clara	140	0,01	1477	2,5
PBC-08	07-01-2013	23,85	14,1	Clara	150	0,01	1506	15
PBC-08	12-02-2013	23,79	12	Semi Turbia	110	1,93	1495	2,5
PBC-08	12-03-2013	23,84	10,5	Semi Turbia	130	0,01	1537	2,5
PBC-08	09-04-2013	23,87	10,4	Semi Turbia	140	0,01	1546	2,5
PBC-08	14-05-2013	24,54	9,1		60	0,2	1542	2,5
PBC-08	12-06-2013	24,65	9,9	Semi Turbia	220	0,01	1536	8
PMRS-2	11-05-2010	66,07	18,5	S/Turbia	1478	190,1	590	15
PMRS-2	22-06-2010	66,23	19	S/Turbia	1106	131,5	492	210
PMRS-2	20-07-2010	66,27	17,1	S/Turbia	418	152,39	489	2,5
PMRS-2	17-08-2010	66,29	18,8	S/Turbia	107	126,14	494	15
PMRS-2	24-09-2010	66,3	18,7	S/Turbia	55,4	106,11	492	2,5
PMRS-2	19-10-2010	66,35	18,8	S/Turbia	143	137,86	493	7,5

Punto	Fecha Muestreo	Nivel	Temperatura	Apariencia	Turbidez	Alcalinidad Total	CE	Color verdadero
		m	°C		UNT	mg/L CaCO3	mmhos	Pt-Co
PMRS-2	17-11-2010	66,3	19,7	S/Turbia	236	127,5	495	15
PMRS-2	14-12-2010	66,27	20,5	S/Turbia	110	129,61	492	7,5
PMRS-2	12-01-2011	66,26	21,5	S/Turbia	35,6	121,64	495	7,5
PMRS-2	17-02-2011	66,3	19	S/Turbia	51,4	122,82	493	7,5
PMRS-2	17-03-2011	66,29	17,9	S/Turbia	172	121,9	496	7,5
PMRS-2	27-04-2011	66,28	19	S/Turbia	177	131,9	499	7,5
PMRS-2	24-05-2011	66,78	17,3	S/Turbia	271	122,37	508	15
PMRS-2	22-06-2011	66,29	17,9	S/Turbia	198	126,76	513	7,5
PMRS-2	13-07-2011	66,26	19,1	S/Turbia	141	122,36	498	15
PMRS-2	10-08-2011	66,29	17,2	S/Turbia	97,2	121,8	508	2,5
PMRS-2	18-01-2012	66,27	20,3	S/Turbia	77,1	118,88	668	2,5
PMRS-2	14-03-2012	65,78	20,5	S/Turbia	356	116,14	562	2,5
PMRS-2	12-04-2012	66,28	17,8	S/Turbia	185	122,31	576	2,5
PMRS-2	11-05-2012	66,27	19,8	S/Turbia	278	120,27	556	2,5
PMRS-2	14-06-2012	66,29	18,6	S/Turbia	143	112,25	570	2,5
PMRS-2	12-07-2012	66,29	17,6	S/Turbia	270	115,6	565	3
PMRS-2	09-08-2012	66,27	19,9	S/Turbia	110	119,29	602	2,5
PMRS-2	06-09-2012	66,32	19	S/Turbia	150	122,3	559	2,5
PMRS-2	10-10-2012	66,92	19,4	Semi Turbia	110	104,74	606	2,5
PMRS-2	14-11-2012	66,45	21,6	Semi Turbia	320	110,96	613	2,5
PMRS-2	12-12-2012	66,39	20,8	Semi Turbia	70	113,31	598	2,5
PMRS-2	10-01-2013	67,1	23,3	Semi Turbia	90	102,12	596	2,5
PMRS-2	14-02-2013	67,98	21	Semi Turbia	220	91,07	569	2,5
PMRS-2	12-03-2013	66,36	20,3	Semi Turbia	60	118,47	568	2,5
PMRS-2	11-04-2013	66,33	19,7	Semi Turbia	240	108,42	555	2,5
PMRS-2	17-05-2013	66,32	17,1	Semi Turbia	35	120,13	562	2,5
PMRS-2	12-06-2013	66,29	19,4	Semi Turbia	19	112,72	564	8



Punto	Fecha Muestreo	Dureza Total	pH	STD	STS	Cl	F	SO4	Olor	Sabor
		mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		
BRW-01	17-01-2012	322	7,36	416	25	15,5	0,2	333,2	No Cumple	No apta para análisis
BRW-01	22-02-2012	274	7,23	542	15	15,9	0,4	286,6	Inodora	No apta para análisis
BRW-01	13-03-2012	265	7,75	560	35	15,5	0,4	305,7	Inodora	No apta para análisis
BRW-01	11-04-2012	284	8,17	576	31	17,4	0,05	327	No Cumple	No apta para análisis
BRW-01	09-05-2012	336	9,24	604	45	18,8	0,9	333,6	No Cumple	No apta para análisis
BRW-01	14-06-2012	331	7,63	638	130	25,5	0,4	341,5	Inodora	No apta para análisis
BRW-01	11-07-2012	359	7,67	672	23	20	0,7	322,8	No Cumple	No apta para análisis
BRW-01	09-08-2012	361	7,96	676	25	21,2	0,6	323,9	Inodora	No apta para análisis
BRW-01	05-09-2012	307	7,58	598	27	19	0,5	323,6	No Cumple	No apta para análisis
BRW-01	09-10-2012	341	7,33	572	137	25,5	0,2	328,9	Inodora	No apta para el análisis
BRW-01	13-11-2012	325	7,74	614	33	21,7	0,2	352,8	Inodora	No apta para el análisis
BRW-01	11-12-2012	284	7,85	546	30	16,7	0,3	289,5	Inodora	No apta para el análisis
BRW-01	08-01-2013	341	8,05	580	25	44,6	0,2	301,9	Inodora	No apta para el análisis
BRW-01	12-02-2013	290	8	478	5	17,4	0,2	280,3	Inodora	Inspida
BRW-01	12-03-2013	396	7,9	614	5	25,5	0,5	339,9	No Cumple	No apta para el análisis
BRW-01	10-04-2013	392	7,86	622	25	23,7	0,4	389,4	Inodora	No apta para el análisis
BRW-01	14-05-2013	404	7,55	711	53	21	0,4	360,9	Inodora	No apta para el análisis
BRW-01	10-10-2012	331		574	138	24,7	0,2	323,7	Inodora	No apta para el análisis
BRW-01	11-06-2013	430	7,86	762	5	27,5	0,7	335,2	Inodora	No apta para análisis
BRW-02	17-01-2012	306	7,41	428	48	17,6	0,6	308,6	No Cumple	No apta para análisis
BRW-02	22-02-2012	313	7,29	612	26	17,9	0,8	288	Inodora	No apta para análisis
BRW-02	13-03-2012	357	7,58	688	25	17,7	0,6	324,4	Inodora	No apta para análisis
BRW-02	11-04-2012	398	8,01	732	437	17,8	0,1	313,8	Inodora	No apta para análisis
BRW-02	09-05-2012	456	8,76	724	275	22,3	0,6	437,5	Inodora	No apta para análisis
BRW-02	14-06-2012	425	7,62	744	144	21,7	0,6	321,1	Inodora	No apta para análisis
BRW-02	11-07-2012	467	7,61	758	112	18	0,9	380,4	Inodora	No apta para análisis
BRW-02	09-08-2012	409	7,73	748	329	17,4	0,7	337,1	Inodora	No apta para análisis
BRW-02	05-09-2012	484	7,49	748	105	18,2	0,8	384,9	Inodora	No apta para análisis
BRW-02	09-10-2012	449	7,53	764	79	21,4	0,3	361,3	Inodora	No apta para el análisis
BRW-02	13-11-2012	503	7,37	766	106	18,5	0,3	405,5	Inodora	No apta para el análisis
BRW-02	11-12-2012	418	7,41	758	88	18,4	0,3	350,2	Inodora	No apta para el análisis
BRW-02	08-01-2013	484	7,59	754	123	35,2	0,2	371,8	Inodora	No Apta para el análisis
BRW-02	12-02-2013	442	7,72	704	159	19,5	0,3	354,4	Inodora	Inspida
BRW-02	12-03-2013	492	7,57	782	29	35,8	0,6	409,7	Inodora	Inspida
BRW-02	10-04-2013	443	7,43	718	57	15,8	0,8	372,6	Inodora	Inspida
BRW-02	14-05-2013	405	7,58	712	11	17	0,6	330,6	Inodora	Inspida
BRW-02	11-06-2013	376	7,62	724	16	15,8	0,8	319,9	Inodora	No apta para análisis
CRW-01	17-01-2012	408	6,78	454	37	19,9	0,2	382	No Cumple	No apta para análisis
CRW-01	21-02-2012	393	8,22	672	11	14,9	0,4	404,7	Inodora	No apta para análisis
CRW-01	10-04-2012	469	6,9	676	22	17,2	0,1	443,6	No cumple	No apta para análisis
CRW-01	10-05-2012	353	7,28	692	28	12,2	0,6	351,3	No cumple	No apta para análisis
CRW-01	13-06-2012	397	6,79	716	56	17,6	0,6	383,8	Inodora	No apta para análisis
CRW-01	10-07-2012	418	6,57	696	4	17,1	0,7	439,6	Inodora	No apta para análisis
CRW-01	07-08-2012	405	7,15	672	36	14,5	0,7	381,9	No Cumple	No apta para análisis
CRW-01	04-09-2012	349	5,96	578	48	18	0,5	341	No Cumple	No apta para análisis

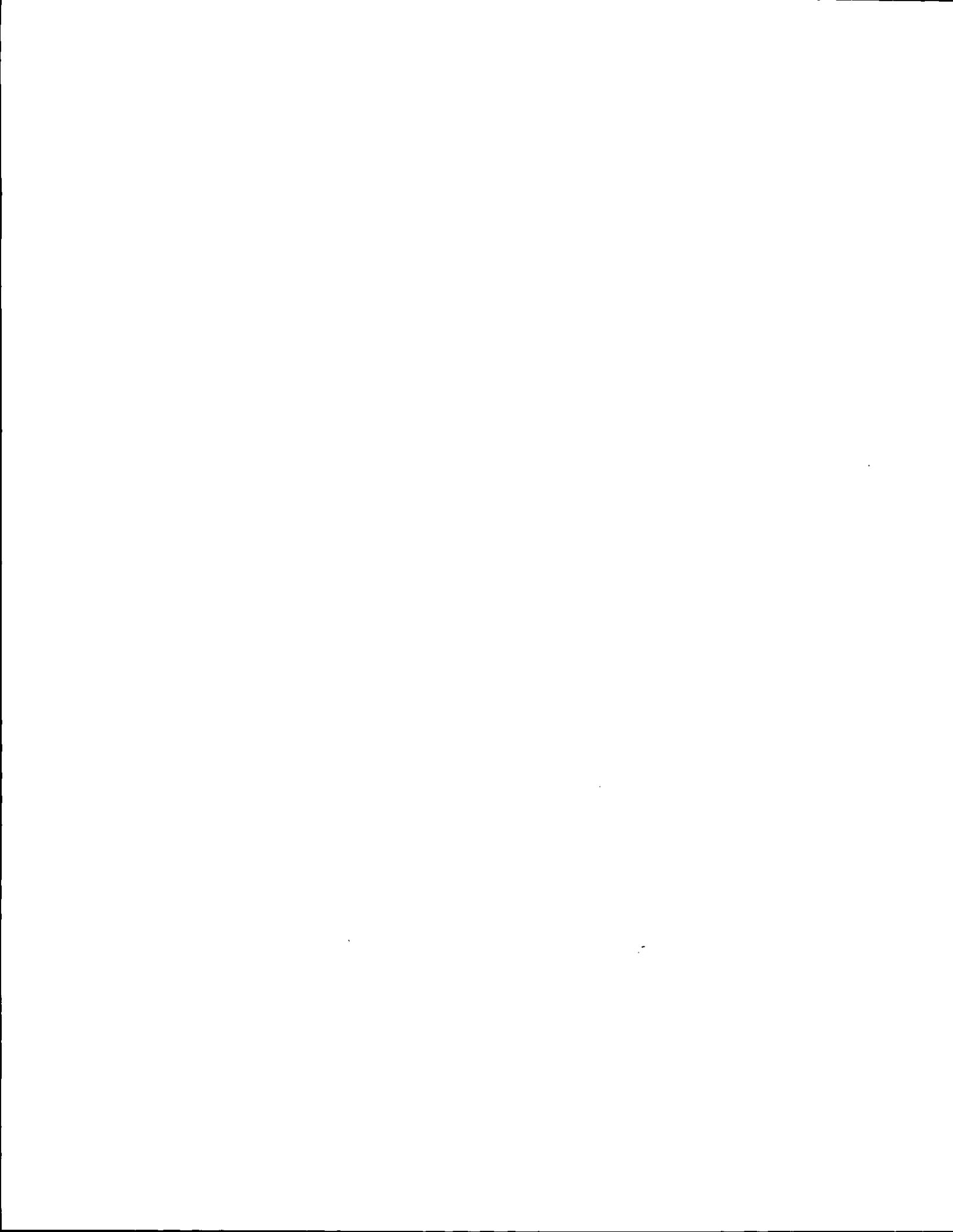
Punto	Fecha Muestreo	Dureza Total	pH	STD	STS	Cl	F	SO4	Olor	Sabor
		mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		
CRW-01	09-10-2012	403	6,81	586	49	32,3	0,1	364,1	Inodora	No apta para el análisis
CRW-01	12-11-2012	428	6,76	648	44	22,9	0,2	413	Inodora	No apta para el análisis
CRW-01	10-12-2012	431	6,56	688	103	18,4	0,2	405,9	Inodora	No apta para el análisis
CRW-01	07-01-2013	385	6,9	600	22	36,4	0,2	330,2	Inodora	No apta para el análisis
CRW-01	12-02-2013	349	6,61	512	67	21,5	0,2	320	Inodora	Insípida
CRW-01	12-03-2013	391	7,27	614	11	35,6	0,4	391,8	Inodora	No apta para el análisis
CRW-01	09-04-2013	372	5,7	652	27	21,7	0,4	386,7	Inodora	No apta para el análisis
CRW-01	14-05-2013	388	6,29	626	22	24,5	0,4	358,4	Inodora	No apta para el análisis
CRW-01	12-06-2013	297	6,53	550	19	15,3	0,6	343,8	Inodora	No apta para el análisis
PBC-08	17-03-2011	652		1340	55	7,4	2,3	679	Inodora	No Cumple
PBC-08	26-04-2011	520	6,7	990	42	6,2	1,5	545,2	Inodora	Insípida
PBC-08	27-05-2011	692,6	7,28	1118	98	8	2,1	719,8	Inodora	No Cumple
PBC-08	21-06-2011	617	6,8	1148	48	9,1	1,4	684,5	Inodora	No apta
PBC-08	20-07-2011	700	7,03	1384	129	6,8	0,5	827,5	Inodora	No apta
PBC-08	20-08-2011	815	7,19	1092	57	12,8	0,9	840,4	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	01-09-2011	716	6,51	1065	0,5	8,1	0,1	630,2	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	01-10-2011	293	6,27	1110	55	7,7	0,7	890,5	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	15-11-2011	617	5,86	1042	39	5,39	0,9	635,3	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	15-12-2011	678	6,26	1112	184	5,9	0,4	685,1	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	17-01-2012	778	5,95	900	97	5,7	0,6	819,2	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	21-02-2012	673	6,13	1112	119	6,5	4,3	768	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	15-03-2012	765	6,37	1120	78	6,3	0,9	862,3	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	10-04-2012	769	6,39	652	125	25,6	0,4	373,4	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	10-05-2012	632	6,54	1170	154	76,8	1,8	645,3	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	13-06-2012	753	6,44	1188	76	12,6	1	763,3	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	10-07-2012	739	6,04	1200	32	4,8	0,9	731,7	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	07-08-2012	724	6,54	1198	197	6,6	0,9	712,7	No cumple	No apta para Análisis
PBC-08	04-09-2012	613	6,41	1180	118	3,7	1	663,6	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	09-10-2012	804	6,62	1146	325	6,1	0,2	800,8	Inodora	No apta para Análisis
PBC-08	12-11-2012	744	6,64	1180	72	1	1,8	856	Inodora	No apta para el análisis
PBC-08	10-12-2012	763	6,52	1210	133	9,9	2	800,3	Inodora	No apta para el análisis
PBC-08	07-01-2013	702	5,98	1190	83	86,2	2,6	583	Inodora	No apta para el análisis
PBC-08	12-02-2013	748	6,07	1268	52	6,7	3,1	785,2	Inodora	Insípida
PBC-08	12-03-2013	763	7,58	1170	5	3,4	1,4	750,1	Inodora	No apta para el análisis
PBC-08	09-04-2013	687	6,65	1240	33	6,7	1	727	Inodora	No apta para el análisis
PBC-08	14-05-2013	661	6,31	1180	62	4,8	1,5	657,9	Inodora	No apta para el análisis
PBC-08	12-06-2013	585	6,74	1192	53	10	1,8	697	Inodora	No apta para el análisis
PMRS-2	11-05-2010	346	7,66	354	446	15,44	0,5	141,2	Inodora	Insípida
PMRS-2	22-06-2010	233	8,07	370	2024	19	0,5	142,21	No Cumple	No Cumple
PMRS-2	20-07-2010	216	7,7	362	694	17,75	0,4	133,6	Inodora	Insípida
PMRS-2	17-08-2010	189	7,96	360	726	13,3	0,6	110,5	Inodora	Insípida
PMRS-2	24-09-2010	229	7,98	530	18	20	0,6	148,8	Inodora	Insípida
PMRS-2	19-10-2010	184	7,95	425	147	14,9	0,4	133,3	Inodora	Insípida
PMRS-2	17-11-2010	172	8,01	432	281	26,9	0,5	132,4	Inodora	Insípida
PMRS-2	14-12-2010	159	8,07	378	95	13,3	0,8	143,2	Inodora	Insípida

Punto	Fecha Muestreo	Dureza Total	pH	STD	STS	Cl	F	SO4	Olor	Sabor
		mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		
PMRS-2	12-01-2011	216	8,03	402	262	12,7	0,6	169,6	Inodora	Insípida
PMRS-2	17-02-2011	184	7,49	300	94	38	0,4	143,6	Inodora	Insípida
PMRS-2	17-03-2011	240	7,96	452	93	41	0,5	157,8	Inodora	Insípida
PMRS-2	27-04-2011	196	7,76	372	83	11,4	0,5	126,9	Inodora	Insípida
PMRS-2	24-05-2011	316,1	7,85	439	1039	69,2	0,6	145,4	Inodora	Insípida
PMRS-2	22-06-2011	195,7	7,91	450	144	66,4	0,3	107,3	Inodora	No apta para análisis
PMRS-2	13-07-2011	230	8,04	455	145	20,7	0,1	192,9	No Cumple	No apta para análisis
PMRS-2	10-08-2011	224	8,15	382	323	21,7	0,1	166,6	Inodora	No apta para análisis
PMRS-2	18-01-2012	222	8,17	398	18	22,4	0,5	179,4	Inodora	No apta para análisis
PMRS-2	14-03-2012	259	7,95	442	0,5	20,9	0,7	195,1	Inodora	No apta para análisis
PMRS-2	12-04-2012	255	8,11	418	427	23,8	0,2	207,8	No cumple	No apta para análisis
PMRS-2	11-05-2012	195	8,02	428	373	17,4	0,9	172,7	Inodora	No apta para análisis
PMRS-2	14-06-2012	209	8,17	468	494	22	0,6	153,1	Inodora	No apta para análisis
PMRS-2	12-07-2012	254	7,88	470	290	28,5	0,6	229	Inodora	No apta para análisis
PMRS-2	09-08-2012	205	7,98	484	279	20,8	0,7	157,9	No cumple	No apta para análisis
PMRS-2	06-09-2012	240	7,72	548	360	25,7	0,8	224,8	Inodora	No apta para análisis
PMRS-2	10-10-2012	210	8,11	488	254	19,7	0,4	203,7	Inodora	No apta para el análisis
PMRS-2	14-11-2012	253	8,05	508	688	30,7	0,4	200,4	Inodora	No apta para el análisis
PMRS-2	12-12-2012	261	7,84	526	252	31,4	0,5	232	Inodora	No apta para el análisis
PMRS-2	10-01-2013	246	7,82	502	209	28	0,6	193,8	Inodora	No apta para el análisis
PMRS-2	14-02-2013	204	8,14	428	193	23,6	0,2	190,1	Inodora	No apta para análisis
PMRS-2	12-03-2013	240	7,8	488	60	24,2	0,7	213,4	Inodora	No apta para el análisis
PMRS-2	11-04-2013	205	8,05	442	104	24,8	0,7	175	Inodora	No apta para el análisis
PMRS-2	17-05-2013	204	8,38	432	66	19,4	0,8	179,4	Inodora	No apta para el análisis
PMRS-2	12-06-2013	187	7,91	448	48	17,6	0,8	182,7	Inodora	No apta para el análisis

Punto	Fecha Muestreo	N-NO2	N-NO3	Cr+6	Amoniaco	Cianuro	Compuestos Fenolicos	Cromo Total	Hierro Total	Hg
		mg/L	mg/L	mg/L	mg N-NH <sub>3</sub> /l	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
BRW-01	17-01-2012	0,25	0,25	0,005	0,19	0,025	0,0005	0,005	14,3	0,0005
BRW-01	22-02-2012	0,25	1,5	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	8,35	0,0005
BRW-01	13-03-2012	0,25	0,25	0,005	0,22	0,025	0,0005	0,005	7,03	0,0005
BRW-01	11-04-2012	0,25	0,25	0,005	0,06	0,025	0,0005	0,06	2,5	0,0005
BRW-01	09-05-2012	0,25	2	0,005	0,06	0,025	0,0005	0,005	3,74	0,0005
BRW-01	14-06-2012	0,25	1,4	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	17,3	0,0005
BRW-01	11-07-2012	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,01	9,64	0,0005
BRW-01	09-08-2012	0,05	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	6,83	0,0005
BRW-01	05-09-2012	0,025	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	9,76	0,0005
BRW-01	09-10-2012	0,025	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,02	14,4	0,0005
BRW-01	13-11-2012	0,12	0,8	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	10,8	0,0005
BRW-01	11-12-2012	0,25	0,6	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	9,05	0,0005
BRW-01	08-01-2013	0,25	5	0,005	0,45	0,025	0,0005	0,005	0,05	0,0005
BRW-01	12-02-2013	0,25	5,5	0,005	0,08	0,025	0,0005	0,005	7,19	0,0005
BRW-01	12-03-2013	0,25	1,6	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,01	5,25	0,0005
BRW-01	10-04-2013	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,03	11,3	0,0005
BRW-01	14-05-2013	0,25	1,4	0,005	0,06	0,025	0,0005	0,02	16,7	0,0005
BRW-01	10-10-2012	0,025	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,02	14,6	0,0005
BRW-01	11-06-2013	0,25	4	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,02	10,9	0,0005
BRW-02	17-01-2012	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,04	22,2	0,0005
BRW-02	22-02-2012	0,25	1,7	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	12,1	0,0005
BRW-02	13-03-2012	0,25	1,7	0,005	0,06	0,025	0,0005	0,005	8,17	0,0005
BRW-02	11-04-2012	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,02	12,5	0,0005
BRW-02	09-05-2012	0,25	2	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,05	16,7	0,0005
BRW-02	14-06-2012	0,25	1,9	0,005	0,14	0,025	0,0005	0,02	37,9	0,0005
BRW-02	11-07-2012	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,03	24,5	0,0005
BRW-02	09-08-2012	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	11,9	0,0005
BRW-02	05-09-2012	0,025	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,01	14,8	0,0005
BRW-02	09-10-2012	0,025	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,03	16,3	0,0005
BRW-02	13-11-2012	0,025	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	24,9	0,0005
BRW-02	11-12-2012	0,25	2,5	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,02	24,8	0,0005
BRW-02	08-01-2013	0,25	6,2	0,005	0,05	0,025	0,0005	0,02	18,7	0,0005
BRW-02	12-02-2013	0,25	2,8	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,04	30,7	0,0005
BRW-02	12-03-2013	0,25	2,1	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,01	5,41	0,0005
BRW-02	10-04-2013	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,04	14	0,0005
BRW-02	14-05-2013	0,25	1,2	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	6,62	0,0005
BRW-02	11-06-2013	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	5,5	0,0005
CRW-01	17-01-2012	0,25	0,25	0,005	1,91	0,025	0,0005	0,05	8,96	0,0005
CRW-01	21-02-2012	0,25	0,5	0,005	1,5	0,025	0,0005	0,005	10,8	0,0005
CRW-01	10-04-2012	0,25	3,2	0,005	0,45	0,025	0,0005	0,005	7,34	0,0005
CRW-01	10-05-2012	0,25	0,25	0,005	0,6	0,025	0,0005	0,02	15,4	0,0005
CRW-01	13-06-2012	0,25	4,2	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	17,2	0,0005
CRW-01	10-07-2012	0,25	0,25	0,005	0,67	0,025	0,0005	0,005	2,33	0,0005
CRW-01	07-08-2012	0,08	0,25	0,005	0,52	0,025	0,0005	0,005	4,58	0,0005
CRW-01	04-09-2012	0,1	0,25	0,005	0,36	0,025	0,0005	0,01	14,6	0,0005

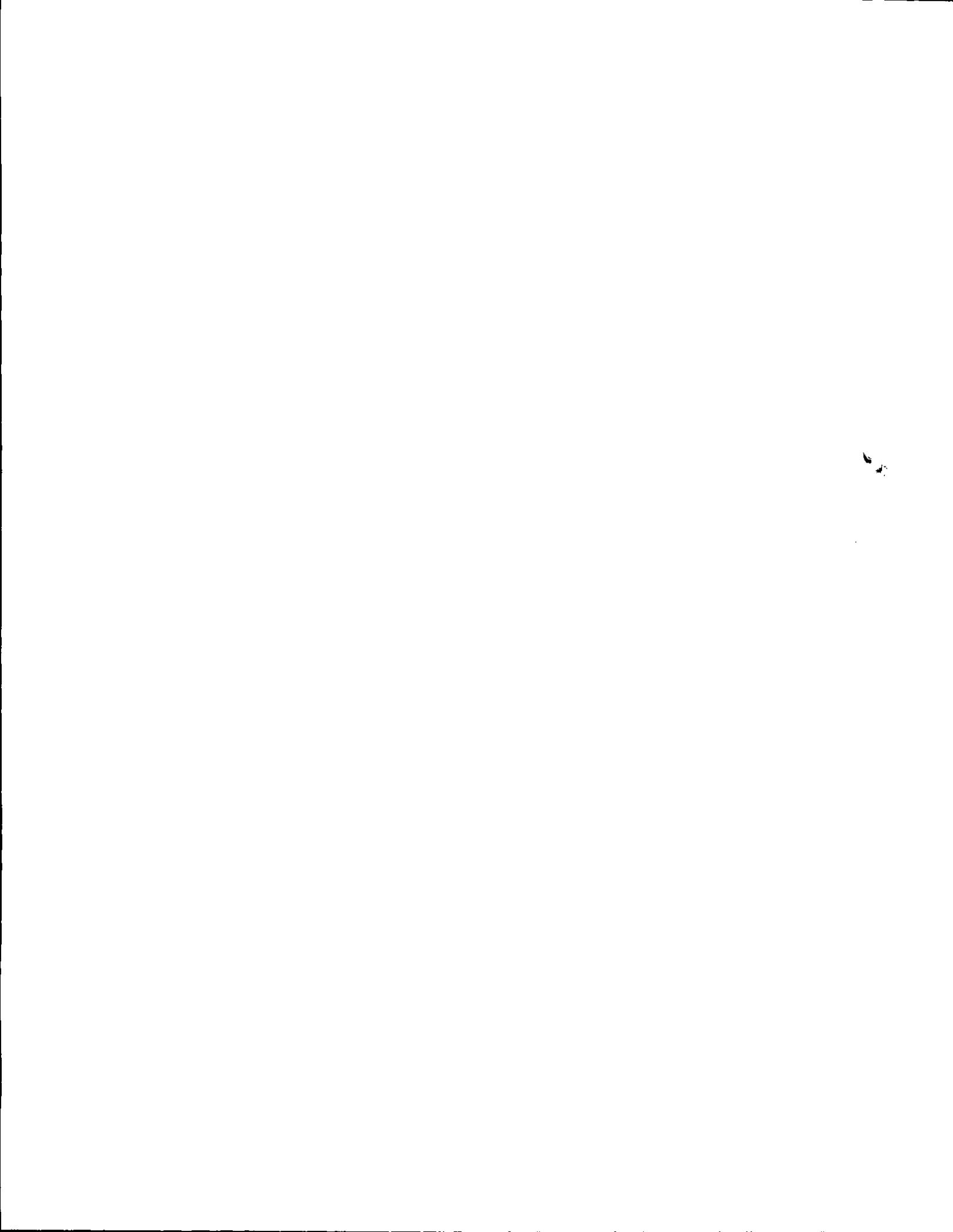
Punto	Fecha Muestreo	N-NO2	N-NO3	Cr+6	Amoniaco	Clanuro	Compuestos Fenolicos	Cromo Total	Hierro Total	Hg
		mg/L	mg/L	mg/L	mg N-NH <sub>3</sub> /l	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
CRW-01	09-10-2012	0,025	0,25	0,005	0,79	0,025	0,0005	0,02	14,5	0,0005
CRW-01	12-11-2012	0,025	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	18,1	0,0005
CRW-01	10-12-2012	0,25	0,25	0,005	0,77	0,025	0,0005	0,005	12,8	0,0005
CRW-01	07-01-2013	0,25	2,3	0,005	1,07	0,025	0,0005	0,005	8,81	0,0005
CRW-01	12-02-2013	0,25	1	0,005	0,83	0,025	0,0005	0,005	6,67	0,0005
CRW-01	12-03-2013	0,25	0,25	0,005	0,81	0,025	0,0005	0,03	12,3	0,0005
CRW-01	09-04-2013	0,25	0,25	0,005	0,06	0,025	0,0005	0,02	16,9	0,0005
CRW-01	14-05-2013	0,25	0,25	0,005	0,91	0,025	0,0005	0,01	13,4	0,0005
CRW-01	12-06-2013	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,01	10,9	0,0005
PBC-08	17-03-2011	0,25	0,25	0,005	0,07	0,025	0,0005	0,005	50,6	0,0005
PBC-08	26-04-2011	0,25	0,25	0,005	0,22	0,025	0,0005	0,005	11,02	0,0005
PBC-08	27-05-2011	0,25	0,25	0,005	0,33	0,025	0,0005	0,02	43,8	0,0005
PBC-08	21-06-2011	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	54,2	0,0005
PBC-08	20-07-2011	0,25	3,6	0,005	0,1	0,025	0,0005	0,005	58,5	0,0005
PBC-08	20-08-2011	0,25	0,7	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,06	57,9	0,0005
PBC-08	01-09-2011	0,25	14,2	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,03	52,1	0,0005
PBC-08	01-10-2011	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,07	50,6	0,0005
PBC-08	15-11-2011	0,025	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,07	55,9	0,0005
PBC-08	15-12-2011	0,25	0,25	0,005	0,06	0,025	0,0005	0,03	54,5	0,0005
PBC-08	17-01-2012	0,25	0,25	0,005	0,07	0,025	0,0005	0,17	49,5	0,0005
PBC-08	21-02-2012	0,25	2	0,005	0,06	0,025	0,0005	0,06	54,6	0,0005
PBC-08	15-03-2012	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,07	55,3	0,0005
PBC-08	10-04-2012	0,25	0,25	0,005	0,11	0,025	0,0005	0,06	44,4	0,0005
PBC-08	10-05-2012	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,07	57,5	0,0005
PBC-08	13-06-2012	0,25	3,4	0,005	0,14	0,025	0,0005	0,06	61,5	0,0005
PBC-08	10-07-2012	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,07	40,8	0,0005
PBC-08	07-08-2012	0,17	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,06	50,8	0,0005
PBC-08	04-09-2012	0,12	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,06	52,6	0,0005
PBC-08	09-10-2012	0,025	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,07	49,2	0,0005
PBC-08	12-11-2012	0,025	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,06	50,7	0,0005
PBC-08	10-12-2012	0,25	2,7	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,05	43,5	0,0005
PBC-08	07-01-2013	0,25	8,2	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,06	45,7	0,0005
PBC-08	12-02-2013	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,06	40,2	0,0005
PBC-08	12-03-2013	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,08	42,9	0,0005
PBC-08	09-04-2013	0,25	0,9	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,07	48,7	0,0005
PBC-08	14-05-2013	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,06	46,4	0,0005
PBC-08	12-06-2013	0,25	0,25	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,06	36,2	0,0005
PMRS-2	11-05-2010	0,25	13,8	0,005	0,025	0,025	0,0018	0,005	5,55	0,0005
PMRS-2	22-06-2010	0,25	1,96	0,005	0,22	0,025	0,001	0,005	12,7	0,0005
PMRS-2	20-07-2010	0,25	12,02	0,005	2,97	0,025	0,004	0,01	11,6	0,0005
PMRS-2	17-08-2010	0,25	12,2	0,005	0,025	0,025	0,002	0,005	3,87	0,0005
PMRS-2	24-09-2010	0,25	9,1	0,005	0,025	0,025	0,002	0,005	1,34	0,0005
PMRS-2	19-10-2010	0,25	13,6	0,005	0,025	0,025	0,001	0,005	1,71	0,0005
PMRS-2	17-11-2010	0,6	7,1	0,005	0,71	0,025	0,0005	0,005	0,015	0,0005
PMRS-2	14-12-2010	0,25	12,1	0,005	0,09	0,025	0,0005	0,005	4,49	0,0005

Punto	Fecha Muestreo	N-NO2	N-NO3	Cr+6	Amoniaco	Cianuro	Compuestos Fenolicos	Cromo Total	Hierro Total	Hg
		mg/L	mg/L	mg/L	mg N-NH <sub>3</sub> /l	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
PMRS-2	12-01-2011	1,3	22,7	0,005	0,06	0,025	0,0005	0,01	2,93	0,0005
PMRS-2	17-02-2011	0,25	2,3	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	0,015	0,0005
PMRS-2	17-03-2011	0,25	18,1	0,005	0,25	0,025	0,0005	0,005	3,64	0,0005
PMRS-2	27-04-2011	0,25	12,4	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,08	3,51	0,0005
PMRS-2	24-05-2011	0,25	15,2	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	4,91	0,0005
PMRS-2	22-06-2011	0,25	6,9	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	2,04	0,0005
PMRS-2	13-07-2011	0,25	15,6	0,005	0,08	0,025	0,0005	0,005	1,69	0,0005
PMRS-2	10-08-2011	0,25	17,1	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	3,29	0,0005
PMRS-2	18-01-2012	0,25	16,3	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	2,63	0,0005
PMRS-2	14-03-2012	0,25	18,3	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	4,09	0,0005
PMRS-2	12-04-2012	0,25	20	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	5,92	0,0005
PMRS-2	11-05-2012	0,25	18,3	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	12,6	0,0005
PMRS-2	14-06-2012	0,25	23,7	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	4,79	0,0005
PMRS-2	12-07-2012	0,25	20,3	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	4,29	0,0005
PMRS-2	09-08-2012	0,05	12,9	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	6,93	0,0005
PMRS-2	06-09-2012	0,05	25,1	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	5,07	0,0005
PMRS-2	10-10-2012	0,051	12	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	6,19	0,0005
PMRS-2	14-11-2012	0,09	19	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	6,31	0,0005
PMRS-2	12-12-2012	0,25	19,1	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	5,94	0,0005
PMRS-2	10-01-2013	0,25	18,5	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,03	7,69	0,0005
PMRS-2	14-02-2013	0,25	25,4	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	3,09	0,0005
PMRS-2	12-03-2013	0,25	13,3	0,005	0,13	0,025	0,0005	0,02	2,69	0,0005
PMRS-2	11-04-2013	0,25	7,4	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,02	7,5	0,0005
PMRS-2	17-05-2013	0,25	14,2	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	3,99	0,0005
PMRS-2	12-06-2013	0,25	13,4	0,005	0,025	0,025	0,0005	0,005	1,83	0,001

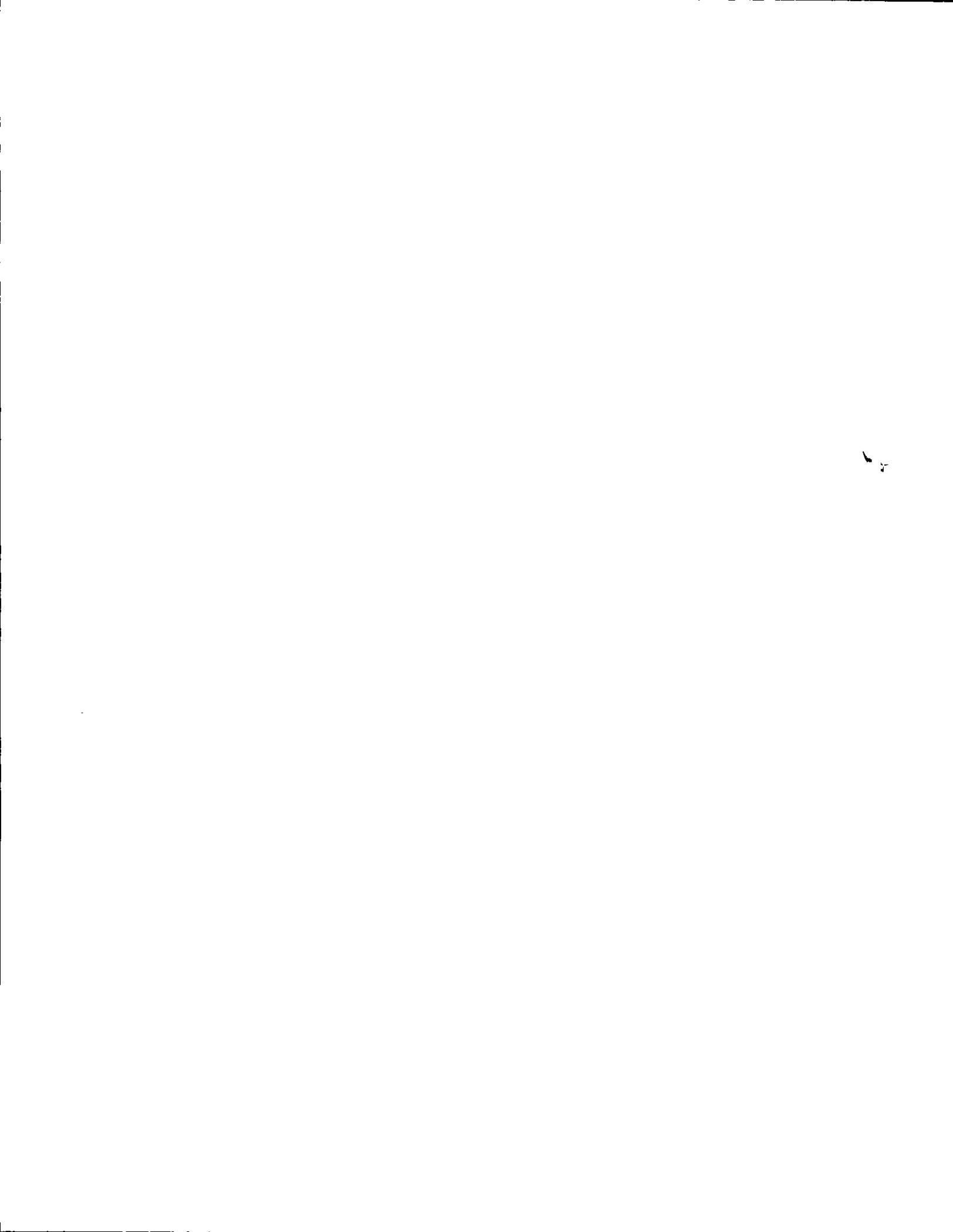


Punto	Fecha Muestreo	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Br	Ca	Cd
		mg/L								
BRW-01	17-01-2012	0,005	0,15	0,003	0,005	0,05	0,005	0,12	64,9	0,001
BRW-01	22-02-2012	0,005	0,05	0,003	0,04	0,005	0,005	0,02	56,2	0,001
BRW-01	13-03-2012	0,005	0,02	0,003	0,04	0,005	0,005	0,02	53,39	0,001
BRW-01	11-04-2012	0,005	3,54	0,003	0,02	0,04	0,005	0,32	63,4	0,001
BRW-01	09-05-2012	0,005	0,03	0,003	0,06	0,03	0,005	0,1	75,1	0,001
BRW-01	14-06-2012	0,005	0,88	0,003	0,005	0,05	0,005	0,29	76,7	0,001
BRW-01	11-07-2012	0,005	0,07	0,003	0,16	0,03	0,005	0,06	82,7	0,001
BRW-01	09-08-2012	0,005	0,19	0,003	0,06	0,01	0,005	0,03	84,6	0,001
BRW-01	05-09-2012	0,005	0,04	0,003	0,02	0,01	0,005	0,03	66,9	0,001
BRW-01	09-10-2012	0,005	0,14	0,003	0,005	0,03	0,005	0,25	72,9	0,001
BRW-01	13-11-2012	0,005	0,12	0,003	0,005	0,005	0,005	0,29	69,1	0,00075
BRW-01	11-12-2012	0,005	0,19	0,003	0,005	0,005	0,005	0,12	59,9	0,00075
BRW-01	08-01-2013	0,005	0,005	0,003	0,005	0,005	0,005	0,14	73,8	0,00075
BRW-01	12-02-2013	0,005	0,16	0,003	0,03	0,005	0,005	0,02	51,4	0,00075
BRW-01	12-03-2013	0,005	0,005	0,003	0,01	0,01	0,005	0,005	89,8	0,00075
BRW-01	10-04-2013	0,005	0,03	0,011	0,04	0,01	0,005	0,03	87,6	0,00075
BRW-01	14-05-2013	0,005	0,02	0,003	0,03	0,01	0,005	0,15	96,2	0,00075
BRW-01	10-10-2012	0,005	0,12	0,003	0,005	0,03	0,005	0,15	74	0,001
BRW-01	11-06-2013	0,02	0,03	0,003	0,05	0,03	0,005	0,01	104,6	0,00075
BRW-02	17-01-2012	0,005	0,08	0,003	0,05	0,02	0,005	0,005	65,5	0,001
BRW-02	22-02-2012	0,005	0,04	0,003	0,07	0,005	0,005	0,02	73,2	0,001
BRW-02	13-03-2012	0,005	0,09	0,006	0,08	0,005	0,005	0,05	88,15	0,001
BRW-02	11-04-2012	0,005	0,41	0,006	0,01	0,05	0,005	0,29	104,3	0,001
BRW-02	09-05-2012	0,005	0,63	0,006	0,03	0,04	0,005	0,14	118,6	0,001
BRW-02	14-06-2012	0,005	0,38	0,003	0,005	0,01	0,005	0,04	110,7	0,001
BRW-02	11-07-2012	0,005	0,32	0,003	0,11	0,03	0,005	0,02	120,8	0,001
BRW-02	09-08-2012	0,005	0,2	0,003	0,04	0,005	0,005	0,14	103,7	0,001
BRW-02	05-09-2012	0,005	0,16	0,003	0,03	0,02	0,005	0,005	126,8	0,001
BRW-02	09-10-2012	0,005	0,2	0,003	0,01	0,03	0,005	0,13	114,4	0,001
BRW-02	13-11-2012	0,005	0,22	0,003	0,005	0,01	0,005	0,31	131,1	0,00075
BRW-02	11-12-2012	0,005	0,25	0,003	0,005	0,02	0,005	0,13	107,5	0,00075
BRW-02	08-01-2013	0,005	0,24	0,003	0,005	0,03	0,005	0,14	127,4	0,00075
BRW-02	12-02-2013	0,005	0,28	0,003	0,005	0,02	0,005	0,08	106,7	0,00075
BRW-02	12-03-2013	0,005	0,005	0,003	0,03	0,02	0,005	0,005	124,7	0,00075
BRW-02	10-04-2013	0,005	0,09	0,01	0,03	0,02	0,005	0,04	103,5	0,00075
BRW-02	14-05-2013	0,01	0,03	0,007	0,07	0,01	0,005	0,03	95,1	0,00075
BRW-02	11-06-2013	0,02	0,04	0,003	0,07	0,03	0,005	0,03	90,7	0,00075
CRW-01	17-01-2012	0,005	0,22	0,003	0,005	0,02	0,005	0,08	109,6	0,001
CRW-01	21-02-2012	0,005	0,02	0,003	0,005	0,005	0,005	0,08	106,4	0,001
CRW-01	10-04-2012	0,005	0,06	0,003	0,005	0,01	0,005	0,12	127,5	0,001
CRW-01	10-05-2012	0,005	0,05	0,003	0,005	0,02	0,005	0,07	96,7	0,001
CRW-01	13-06-2012	0,005	0,15	0,003	0,005	0,005	0,005	0,09	109,9	0,001
CRW-01	10-07-2012	0,005	0,05	0,003	0,005	0,01	0,005	0,1	115,9	0,001
CRW-01	07-08-2012	0,005	0,11	0,003	0,005	0,005	0,005	0,13	108,9	0,001
CRW-01	04-09-2012	0,005	0,21	0,003	0,005	0,005	0,005	0,17	95	0,001

Punto	Fecha Muestreo	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Br	Ca	Cd
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
CRW-01	09-10-2012	0,005	0,34	0,003	0,005	0,03	0,005	0,35	110,8	0,001
CRW-01	12-11-2012	0,005	0,23	0,003	0,005	0,005	0,005	0,06	118,9	0,0015
CRW-01	10-12-2012	0,005	0,72	0,003	0,005	0,005	0,005	0,1	118,4	0,00075
CRW-01	07-01-2013	0,005	0,04	0,003	0,005	0,03	0,005	0,2	104,9	0,00075
CRW-01	12-02-2013	0,005	0,38	0,003	0,005	0,005	0,005	0,04	93,4	0,00075
CRW-01	12-03-2013	0,03	0,01	0,003	0,005	0,02	0,005	0,12	103,6	0,00075
CRW-01	09-04-2013	0,005	0,02	0,009	0,005	0,005	0,005	0,09	96	0,00075
CRW-01	14-05-2013	0,005	0,07	0,003	0,005	0,01	0,005	0,13	99,5	0,00075
CRW-01	12-06-2013	0,005	0,05	0,003	0,005	0,02	0,005	0,01	73,3	0,00075
PBC-08	17-03-2011	0,005	3,29	0,003	0,07	0,005	0,005	0,03	171	0,022
PBC-08	26-04-2011	0,01	0,86	0,003	0,08	0,01	0,005	0,02	150	0,024
PBC-08	27-05-2011	0,005	1,16	0,003	0,005	0,005	0,005	0,17	176,4	0,001
PBC-08	21-06-2011	0,2	2,18	0,003	0,005	0,005	0,005	0,33	163	0,001
PBC-08	20-07-2011	0,01	2,57	0,003	0,005	0,005	0,005	0,19	145	0,001
PBC-08	20-08-2011	0,01	1,73	0,003	0,005	0,005	0,005	0,15	221	0,001
PBC-08	01-09-2011	0,005	2,78	0,003	0,005	0,005	0,005	0,3	184,2	0,007
PBC-08	01-10-2011	0,1	2,17	0,003	0,005	0,01	0,005	0,26	215,2	0,009
PBC-08	15-11-2011	0,005	2,62	0,003	0,005	0,005	0,005	0,32	164,5	0,009
PBC-08	15-12-2011	0,03	3,06	0,003	0,005	0,005	0,005	0,32	155,4	0,001
PBC-08	17-01-2012	0,005	2,74	0,003	0,04	0,01	0,01	0,09	200,8	0,009
PBC-08	21-02-2012	0,005	4,36	0,003	0,005	0,005	0,005	0,24	160,4	0,029
PBC-08	15-03-2012	0,005	3,06	0,003	0,005	0,005	0,005	0,08	196,88	0,02
PBC-08	10-04-2012	0,1	3,53	0,003	0,01	0,005	0,005	0,1	198,4	0,001
PBC-08	10-05-2012	0,005	4,88	0,003	0,005	0,005	0,005	1,66	162,3	0,079
PBC-08	13-06-2012	0,005	2,75	0,003	0,005	0,005	0,005	0,19	198,2	0,018
PBC-08	10-07-2012	0,005	2,12	0,003	0,005	0,005	0,005	0,27	191,9	0,024
PBC-08	07-08-2012	0,005	2,82	0,003	0,005	0,02	0,005	0,06	189,7	0,005
PBC-08	04-09-2012	0,005	2,92	0,003	0,005	0,005	0,01	0,05	165,5	0,016
PBC-08	09-10-2012	0,005	2,51	0,003	0,005	0,03	0,005	0,13	211,2	0,069
PBC-08	12-11-2012	0,005	2,64	0,003	0,005	0,005	0,005	0,12	199,7	0,0015
PBC-08	10-12-2012	0,005	2,98	0,003	0,005	0,005	0,005	0,15	206	0,00075
PBC-08	07-01-2013	0,005	2,5	0,003	0,005	0,005	0,005	0,51	188,3	0,00075
PBC-08	12-02-2013	0,005	2,72	0,003	0,005	0,005	0,005	0,06	190,8	0,00075
PBC-08	12-03-2013	0,005	2,28	0,003	0,005	0,005	0,02	0,08	195	0,00075
PBC-08	09-04-2013	0,005	2,24	0,012	0,005	0,005	0,01	0,05	171	0,00075
PBC-08	14-05-2013	0,005	2,49	0,003	0,005	0,005	0,005	0,17	153,1	0,00075
PBC-08	12-06-2013	0,005	1,94	0,003	0,005	0,01	0,01	0,03	140,6	0,0086
PMRS-2	11-05-2010	0,005	9,8	0,003	0,41	0,39	0,005	0,005	86,88	0,001
PMRS-2	22-06-2010	0,05	9,64	0,003	0,06	0,03	0,005	0,005	53,2	0,001
PMRS-2	20-07-2010	0,005	7,65	0,003	0,09	0,03	0,005	0,03	60	0,001
PMRS-2	17-08-2010	0,005	0,72	0,003	0,075	0,005	0,005	0,34	52,3	0,001
PMRS-2	24-09-2010	0,005	0,96	0,003	0,02	0,005	0,005	0,005	74,6	0,001
PMRS-2	19-10-2010	0,005	1,29	0,003	0,05	0,005	0,005	0,03	49,8	0,001
PMRS-2	17-11-2010	0,005	0,03	0,003	0,04	0,005	0,005	0,005	47,8	0,001
PMRS-2	14-12-2010	0,005	3,52	0,003	0,09	0,02	0,005	0,005	35,6	0,001

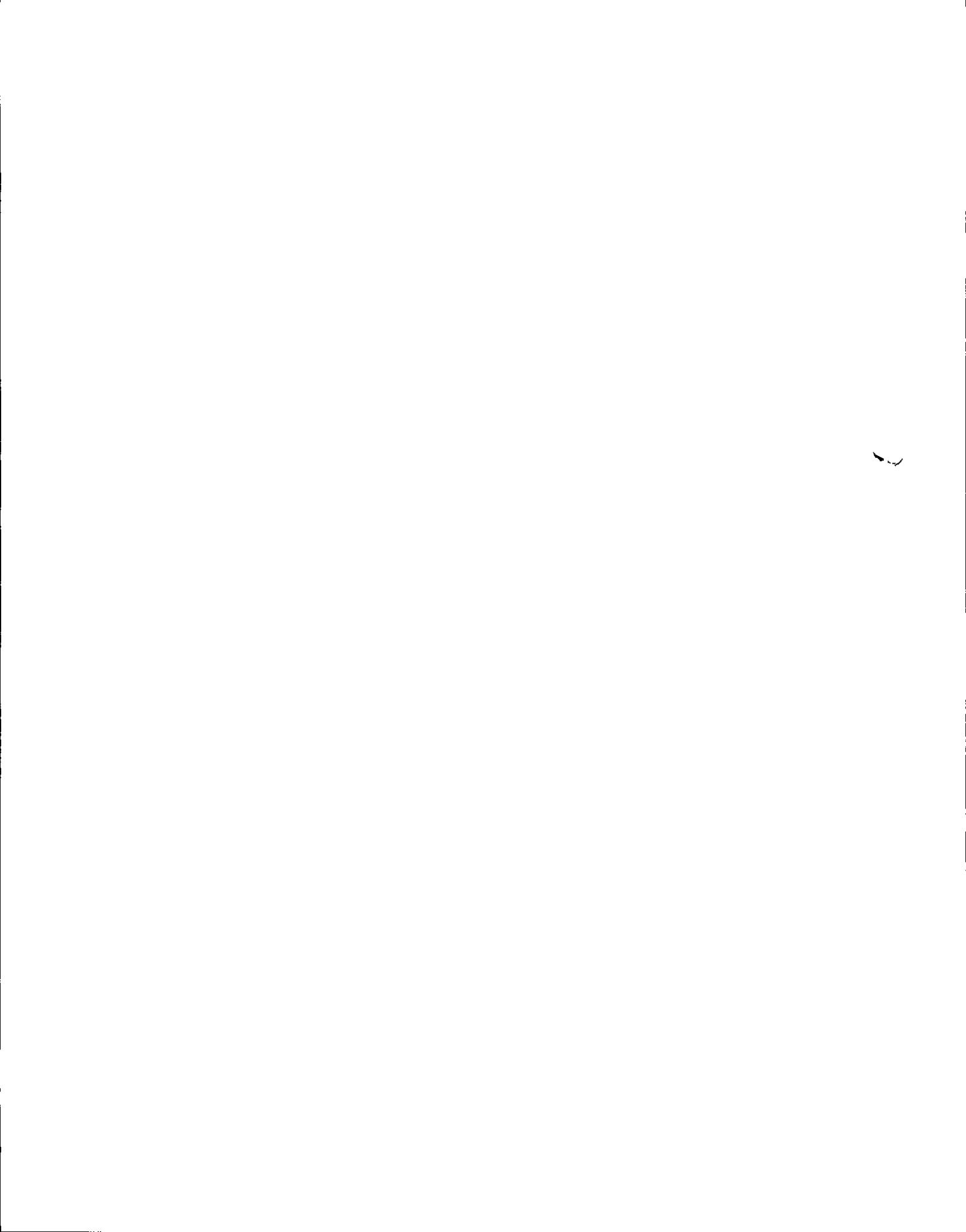


Punto	Fecha Muestreo	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Br	Ca	Cd
		mg/L	mg/L	mg/L						
PMRS-2	12-01-2011	0,005	1,95	0,003	0,03	0,01	0,005	0,04	55,7	0,001
PMRS-2	17-02-2011	0,005	0,005	0,01	0,07	0,005	0,005	0,005	48,6	0,001
PMRS-2	17-03-2011	0,005	2,23	0,003	0,005	0,01	0,005	0,06	63,9	0,001
PMRS-2	27-04-2011	0,005	1,84	0,003	0,09	0,005	0,005	0,03	52,1	0,001
PMRS-2	24-05-2011	0,005	2,09	0,003	0,07	0,07	0,005	0,005	66,8	0,001
PMRS-2	22-06-2011	0,005	1,18	0,003	0,12	0,005	0,005	0,03	60,2	0,001
PMRS-2	13-07-2011	0,005	1,05	0,003	0,02	0,01	0,005	0,05	62,1	0,001
PMRS-2	10-08-2011	0,005	1,41	0,003	0,1	0,005	0,005	0,05	56,8	0,001
PMRS-2	18-01-2012	0,005	1,02	0,003	0,06	0,005	0,005	0,07	60,7	0,001
PMRS-2	14-03-2012	0,005	1,6	0,003	0,11	0,005	0,005	0,08	79,2	0,001
PMRS-2	12-04-2012	0,005	2,4	0,003	0,11	0,005	0,005	0,08	68	0,001
PMRS-2	11-05-2012	0,005	1,02	0,003	0,09	0,005	0,005	0,005	53,3	0,001
PMRS-2	14-06-2012	0,005	1,68	0,003	0,07	0,005	0,005	0,04	57,5	0,001
PMRS-2	12-07-2012	0,005	2,17	0,003	0,06	0,005	0,005	0,05	70,4	0,001
PMRS-2	09-08-2012	0,005	2,12	0,003	0,05	0,005	0,005	0,06	54	0,001
PMRS-2	06-09-2012	0,005	1,39	0,003	0,38	0,01	0,005	0,04	67,5	0,001
PMRS-2	10-10-2012	0,005	1,76	0,003	0,03	0,02	0,005	0,08	57,2	0,001
PMRS-2	14-11-2012	0,005	5,29	0,003	0,005	0,005	0,005	0,18	61,6	0,00075
PMRS-2	12-12-2012	0,005	1,68	0,003	0,005	0,005	0,005	0,11	73,2	0,00075
PMRS-2	10-01-2013	0,005	3,09	0,003	0,04	0,02	0,005	0,19	67,7	0,00075
PMRS-2	14-02-2013	0,005	1,33	0,003	0,01	0,005	0,005	0,06	53,8	0,00075
PMRS-2	12-03-2013	0,005	1,41	0,003	0,11	0,005	0,01	0,05	64,2	0,00075
PMRS-2	11-04-2013	0,005	2,26	0,003	0,02	0,01	0,005	0,03	62,2	0,00075
PMRS-2	17-05-2013	0,03	1,43	0,003	0,15	0,01	0,005	0,02	49,2	0,00075
PMRS-2	12-06-2013	0,005	0,53	0,003	0,11	0,02	0,005	0,03	49,8	0,00075



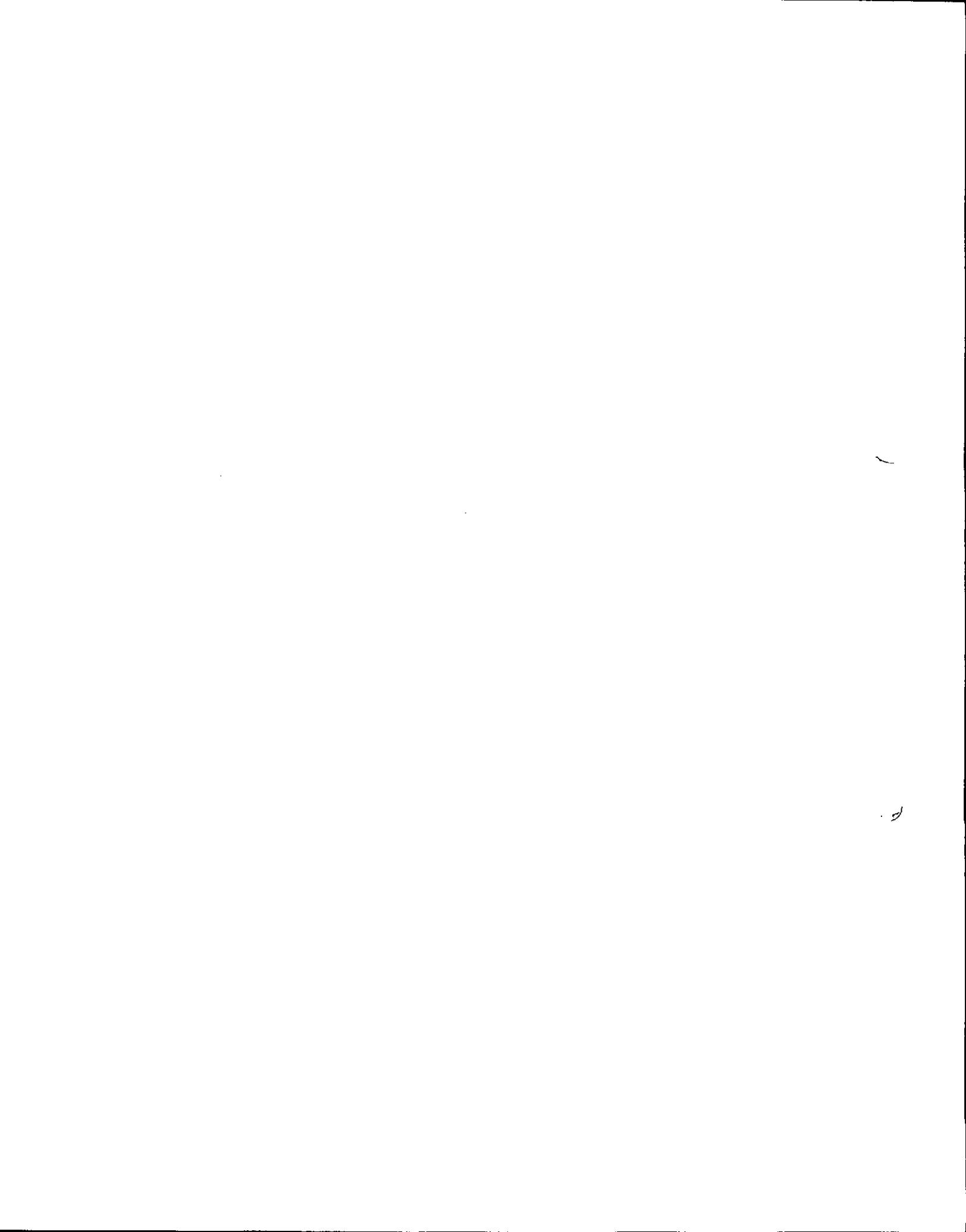
Punto	Fecha Muestreo	Co	Cu	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
BRW-01	17-01-2012	0,005	0,1	2,79	0,14	38,8	1,47	0,005	39,7	0,005
BRW-01	22-02-2012	0,005	0,005	2,25	0,05	32,5	0,73	0,005	32,1	0,005
BRW-01	13-03-2012	0,005	0,005	2,53	0,05	31,87	0,54	0,005	32,14	0,005
BRW-01	11-04-2012	0,005	0,04	2,39	0,06	30,4	0,41	0,005	30,3	0,005
BRW-01	09-05-2012	0,005	0,03	2,65	0,07	36	0,3	0,005	36,2	0,005
BRW-01	14-06-2012	0,005	0,44	4,77	0,05	33,8	0,9	0,005	33,5	0,005
BRW-01	11-07-2012	0,005	0,02	4,86	0,05	37	0,27	0,005	36,6	0,005
BRW-01	09-08-2012	0,005	0,005	5,47	0,05	36,3	0,23	0,005	38,2	0,005
BRW-01	05-09-2012	0,005	0,01	4,61	0,04	34	0,29	0,005	36,6	0,005
BRW-01	09-10-2012	0,005	0,02	5,12	0,05	38,5	0,51	0,005	44	0,005
BRW-01	13-11-2012	0,005	0,005	3,48	0,02	36,9	0,53	0,005	39,9	0,005
BRW-01	11-12-2012	0,005	0,03	2,93	0,03	32,5	0,66	0,005	34,9	0,005
BRW-01	08-01-2013	0,005	0,005	3,65	0,04	38	0,48	0,005	39,2	0,005
BRW-01	12-02-2013	0,005	0,005	3,15	0,04	39,3	0,45	0,005	38,7	0,005
BRW-01	12-03-2013	0,005	0,005	2,79	0,04	41,7	0,25	0,005	38,1	0,005
BRW-01	10-04-2013	0,005	0,03	2,57	0,05	42	0,24	0,005	38	0,005
BRW-01	14-05-2013	0,005	0,01	2,31	0,04	39,8	0,23	0,005	41,1	0,005
BRW-01	10-10-2012	0,005	0,03	4,1	0,05	35,4	0,4	0,005	36,9	0,005
BRW-01	11-06-2013	0,005	0,005	2,14	0,05	41	0,13	0,005	35,7	0,005
BRW-02	17-01-2012	0,005	0,03	3,34	0,08	34,6	0,74	0,005	35,8	0,005
BRW-02	22-02-2012	0,005	0,005	2,6	0,03	31,6	0,4	0,005	30,7	0,005
BRW-02	13-03-2012	0,005	0,005	2,5	0,04	33,25	0,26	0,005	30,23	0,005
BRW-02	11-04-2012	0,005	0,02	1,89	0,04	33,3	0,22	0,005	26,8	0,005
BRW-02	09-05-2012	0,005	0,03	2,03	0,05	38,7	0,34	0,005	118,6	0,01
BRW-02	14-06-2012	0,005	0,07	1,92	0,04	36,1	0,34	0,005	29,4	0,005
BRW-02	11-07-2012	0,005	0,02	2,23	0,04	40	0,27	0,005	32,8	0,005
BRW-02	09-08-2012	0,005	0,005	2,5	0,04	36,4	0,12	0,005	32,9	0,005
BRW-02	05-09-2012	0,005	0,005	1,99	0,04	40,5	0,15	0,005	32,9	0,005
BRW-02	09-10-2012	0,005	0,02	2,25	0,05	39,5	0,17	0,01	32,5	0,005
BRW-02	13-11-2012	0,005	0,005	2,12	0,02	42,7	0,005	0,005	35	0,005
BRW-02	11-12-2012	0,005	0,01	1,86	0,03	36,2	0,27	0,005	30,8	0,005
BRW-02	08-01-2013	0,005	0,01	2,35	0,04	40,2	0,24	0,005	34	0,005
BRW-02	12-02-2013	0,005	0,005	2,15	0,03	42,7	0,25	0,005	34,1	0,005
BRW-02	12-03-2013	0,005	0,005	1,97	0,04	43,9	0,06	0,005	34,8	0,005
BRW-02	10-04-2013	0,005	0,005	2,57	0,05	44,8	0,2	0,005	34,9	0,03
BRW-02	14-05-2013	0,005	0,005	1,97	0,04	40,7	0,06	0,005	36,4	0,005
BRW-02	11-06-2013	0,005	0,01	1,79	0,04	36,4	0,11	0,005	30,8	0,005
CRW-01	17-01-2012	0,005	0,2	4,6	0,02	32,6	0,54	0,005	19,6	0,04
CRW-01	21-02-2012	0,005	0,04	3,82	0,005	30,8	0,25	0,005	16,9	0,005
CRW-01	10-04-2012	0,005	0,35	4,43	0,02	36,5	0,26	0,005	19	0,005
CRW-01	10-05-2012	0,005	0,34	3,24	0,02	27	0,29	0,005	14,7	0,005
CRW-01	13-06-2012	0,005	0,35	3,85	0,005	29,7	0,22	0,005	16,9	0,005
CRW-01	10-07-2012	0,005	0,08	4,06	0,01	31,2	0,07	0,005	19,2	0,01
CRW-01	07-08-2012	0,005	0,06	4,18	0,005	32,3	0,32	0,005	19,4	0,005
CRW-01	04-09-2012	0,005	0,05	3,28	0,005	27,2	0,75	0,005	17,1	0,005

Punto	Fecha Muestreo	Co	Cu	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni
		mg/L								
CRW-01	09-10-2012	0,005	0,14	4,88	0,01	30,5	0,83	0,01	27	0,005
CRW-01	12-11-2012	0,005	0,07	4,3	0,005	31,9	0,72	0,005	24,3	0,005
CRW-01	10-12-2012	0,005	0,1	4,45	0,005	32,7	0,8	0,005	22,3	0,005
CRW-01	07-01-2013	0,005	0,02	4,08	0,005	29,8	0,94	0,005	20,4	0,005
CRW-01	12-02-2013	0,005	0,02	3,99	0,005	28,2	0,41	0,005	21,8	0,005
CRW-01	12-03-2013	0,005	0,03	4,2	0,02	32,1	1,25	0,005	21,3	0,005
CRW-01	09-04-2013	0,005	0,005	3,72	0,005	32	1,4	0,005	21,6	0,005
CRW-01	14-05-2013	0,005	0,25	4,32	0,01	33,8	1,52	0,005	22,4	0,005
CRW-01	12-06-2013	0,005	0,04	3,77	0,02	27,7	1,24	0,005	19,5	0,005
PBC-08	17-03-2011	0,07	8,07	0,005	0,04	54,6	3,09	0,005	30,2	0,07
PBC-08	26-04-2011	0,005	5,2	3,06	0,005	35,2	9,31	0,005	14,4	0,08
PBC-08	27-05-2011	0,02	1,06	0,41	0,06	61,1	5,92	0,005	24,1	0,005
PBC-08	21-06-2011	0,07	1,89	2,85	0,11	51,1	3,37	0,005	32,3	0,005
PBC-08	20-07-2011	0,06	3,37	11,6	0,08	82	3,51	0,005	54,4	0,06
PBC-08	20-08-2011	0,06	2,03	9,63	0,08	64,1	3,41	0,005	36,1	0,15
PBC-08	01-09-2011	0,05	3,77	4,58	0,09	62,1	3,49	0,005	33,8	0,14
PBC-08	01-10-2011	0,06	2,05	13,5	0,09	65,7	3,28	0,005	37,2	0,07
PBC-08	15-11-2011	0,06	5,39	22,6	0,11	49,9	3,49	0,005	37,9	0,08
PBC-08	15-12-2011	0,005	6,53	13,5	0,08	70,5	3,43	0,005	38,2	0,01
PBC-08	17-01-2012	0,08	3,68	5,37	0,08	67	3,47	0,005	38,9	0,08
PBC-08	21-02-2012	0,04	16,7	5,78	0,04	66,2	3,21	0,005	50,5	0,11
PBC-08	15-03-2012	0,05	12,4	5,77	0,06	66,22	3,47	0,005	40,78	0,02
PBC-08	10-04-2012	0,06	0,43	5,88	0,07	27,6	0,82	0,005	41,2	0,03
PBC-08	10-05-2012	0,08	13,9	4,74	0,07	54,9	3,73	0,005	35,5	0,03
PBC-08	13-06-2012	0,005	9,03	6,04	0,06	62,7	3,46	0,005	41	0,04
PBC-08	10-07-2012	0,005	4,32	5,62	0,06	62,9	2,89	0,005	39,5	0,06
PBC-08	07-08-2012	0,07	3,18	7,09	0,06	60,6	3,73	0,005	41,8	0,04
PBC-08	04-09-2012	0,07	4,85	2,24	0,07	48,5	3,67	0,005	30,6	0,09
PBC-08	09-10-2012	0,07	2,42	5,34	0,07	67,1	3,7	0,005	41,5	0,04
PBC-08	12-11-2012	0,05	3,05	2,99	0,06	59,6	3,56	0,005	36,6	0,02
PBC-08	10-12-2012	0,06	1,35	3,25	0,05	60,4	3,21	0,005	36,7	0,01
PBC-08	07-01-2013	0,07	2,18	5,38	0,06	56,2	3,42	0,005	35,7	0,02
PBC-08	12-02-2013	0,06	1,88	4,85	0,06	65,9	3,26	0,005	40,3	0,01
PBC-08	12-03-2013	0,08	1,36	5,8	0,07	66,9	3,52	0,005	40,7	0,03
PBC-08	09-04-2013	0,07	1,22	4,32	0,06	63	3,53	0,005	37	0,03
PBC-08	14-05-2013	0,07	3,99	4,84	0,06	67,7	3,48	0,005	42,6	0,03
PBC-08	12-06-2013	0,06	1,33	4,82	0,07	56,6	2,64	0,005	37,2	0,03
PMRS-2	11-05-2010	0,02	0,02	2,91	0,06	31,4	0,48	0,005	45,38	0,02
PMRS-2	22-06-2010	0,005	0,005	1,41	0,03	24,2	0,21	0,005	30,6	0,01
PMRS-2	20-07-2010	0,005	0,005	1,97	0,01	16,1	0,16	0,005	26,7	0,01
PMRS-2	17-08-2010	0,005	0,005	1,23	0,005	14,07	0,075	0,005	34,8	0,01
PMRS-2	24-09-2010	0,005	0,005	0,95	0,005	10,3	0,06	0,005	16,7	0,01
PMRS-2	19-10-2010	0,005	0,03	1,16	0,005	14,5	0,11	0,005	35,9	0,005
PMRS-2	17-11-2010	0,005	0,005	1,05	0,005	18,8	0,01	0,005	39,6	0,005
PMRS-2	14-12-2010	0,005	0,02	1,05	0,03	16,9	0,18	0,005	31,5	0,01



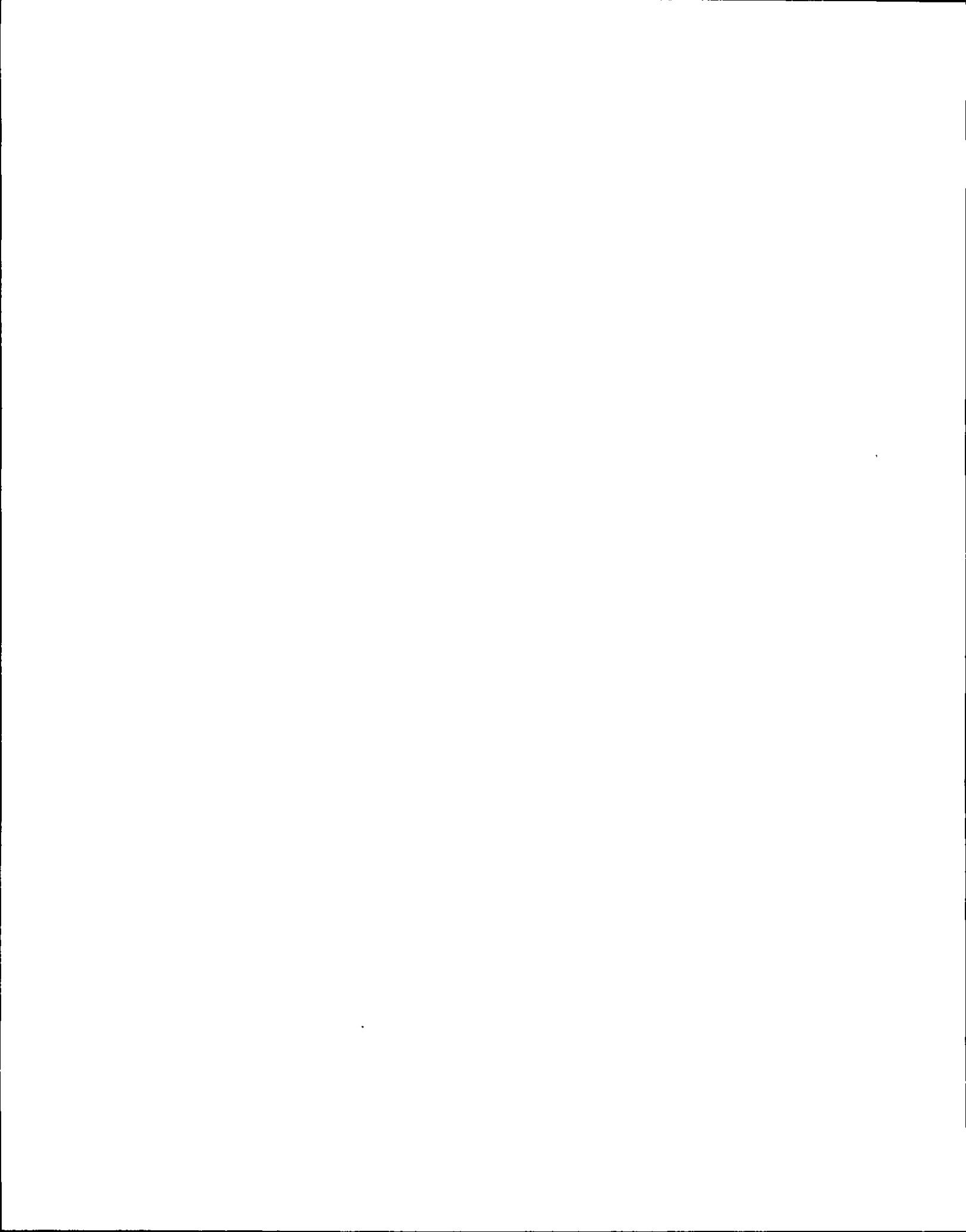
Punto	Fecha Muestreo	Co	Cu	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
PMRS-2	12-01-2011	0,005	0,005	1,48	0,01	18,6	0,13	0,005	39,1	0,01
PMRS-2	17-02-2011	0,005	0,005	0,54	0,005	15,2	0,005	0,005	39,6	0,005
PMRS-2	17-03-2011	0,005	0,005	0,85	0,01	19,5	0,11	0,02	37,4	0,005
PMRS-2	27-04-2011	0,005	0,005	1,15	0,005	15,9	0,12	0,005	31,3	0,005
PMRS-2	24-05-2011	0,005	0,005	1,4	0,02	36,2	0,26	0,005	15,9	0,005
PMRS-2	22-06-2011	0,005	0,09	1,08	0,03	10,9	0,16	0,005	33,8	0,03
PMRS-2	13-07-2011	0,005	0,04	1,17	0,02	18	0,14	0,005	33,9	0,01
PMRS-2	10-08-2011	0,005	0,005	1,28	0,02	19,9	0,15	0,005	37,6	0,005
PMRS-2	18-01-2012	0,005	0,005	1,25	0,02	17,1	0,06	0,005	40,1	0,005
PMRS-2	14-03-2012	0,005	0,005	1,36	0,03	14,83	0,24	0,005	34,58	0,005
PMRS-2	12-04-2012	0,005	0,1	1,5	0,02	20,7	0,21	0,005	36,4	0,005
PMRS-2	11-05-2012	0,005	0,09	1,04	0,02	15	0,16	0,005	37,2	0,005
PMRS-2	14-06-2012	0,005	0,005	1,4	0,01	15,8	0,12	0,005	37,2	0,005
PMRS-2	12-07-2012	0,005	0,005	1,42	0,02	18,9	0,19	0,005	44,8	0,005
PMRS-2	09-08-2012	0,005	0,01	1,3	0,01	17	0,13	0,005	38,5	0,005
PMRS-2	06-09-2012	0,005	0,02	0,96	0,02	17,4	0,13	0,005	41	0,005
PMRS-2	10-10-2012	0,005	0,02	1,21	0,03	16,4	0,17	0,005	41,5	0,005
PMRS-2	14-11-2012	0,005	0,02	2,06	0,005	24	0,83	0,005	45,9	0,005
PMRS-2	12-12-2012	0,005	0,03	1,4	0,005	18,9	0,15	0,005	48,9	0,005
PMRS-2	10-01-2013	0,005	0,02	1,2	0,02	18,6	0,31	0,005	41,8	0,005
PMRS-2	14-02-2013	0,005	0,08	1,16	0,02	16,7	0,15	0,02	38	0,005
PMRS-2	12-03-2013	0,005	0,04	1,13	0,03	19,3	0,13	0,02	41	0,005
PMRS-2	11-04-2013	0,005	0,02	0,99	0,03	12,1	0,18	0,005	42,2	0,005
PMRS-2	17-05-2013	0,005	0,03	0,71	0,02	19,7	0,15	0,005	35,7	0,005
PMRS-2	12-06-2013	0,005	0,02	1	0,02	15,3	0,05	0,005	37,2	0,005

Punto	Fecha Muestreo	Pb	Se	SiO2	V	Zn	Ph Laboratorio	Litio (Citricos)	Conductividad Especifica	Arsénico Soluble al pH natural
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L
BRW-01	17-01-2012	0,012	0,002	0,66	0,04	0,09	5,88	0,14	754	0,003
BRW-01	22-02-2012	0,001	0,002	0,76	0,005	0,31	6,86	0,05	725	0,003
BRW-01	13-03-2012	0,001	0,002	0,85	0,005	0,01	6,78	0,05	761	0,003
BRW-01	11-04-2012	0,003	0,002	2,67	0,01	0,03	7,57	0,06	55	0,003
BRW-01	09-05-2012	0,001	0,002	1,99	0,005	0,005	7,64	0,07	790	0,003
BRW-01	14-06-2012	0,001	0,002	5,79	0,005	0,07	7,23	0,05	849	0,003
BRW-01	11-07-2012	0,004	0,002	2,53	0,005	0,12	7,5	0,05	853	0,003
BRW-01	09-08-2012	0,001	0,002	3,86	0,005	0,02	7,72	0,05	892	0,003
BRW-01	05-09-2012	0,001	0,002	1,02	0,02	0,01	7,25	0,04	783	0,003
BRW-01	09-10-2012	0,001	0,002	3,83	0,05	0,005	7,16	0,05	783	0,003
BRW-01	13-11-2012	0,0015	0,002	2,52	0,005	0,02	7,52	0,02	800	0,003
BRW-01	11-12-2012	0,0015	0,002	0,05	0,005	0,02	7,36	0,03	811	0,003
BRW-01	08-01-2013	0,0015	0,002	0,5	0,005	0,005	7,25	0,004	775	0,003
BRW-01	12-02-2013	0,0015	0,002	2,62	0,005	0,07	7,48	0,04	736	0,003
BRW-01	12-03-2013	0,0015	0,002	8,96	0,005	0,005	7,64	0,04	805	0,003
BRW-01	10-04-2013	0,004	0,002	10,9	0,02	0,05	7,69	0,05	780	0,011
BRW-01	14-05-2013	0,0015	0,002	24,5	0,01	0,14	7,66	0,04	924	0,003
BRW-01	10-10-2012	0,001	0,002	5,97	0,03	0,005	7,21	0,05	812	0,003
BRW-01	11-06-2013	0,006	0,002	31,4	0,04	0,06	7,58	0,05	989	0,003
BRW-02	17-01-2012	0,001	0,002	1,67	0,03	0,16	6,23	0,08	780	0,003
BRW-02	22-02-2012	0,001	0,002	8,28	0,005	0,1	6,76	0,03	809	0,003
BRW-02	13-03-2012	0,001	0,002	15,5	0,01	0,06	7,25	0,04	919	0,006
BRW-02	11-04-2012	0,001	0,002	32,9	0,03	0,15	7,52	0,04	937	0,003
BRW-02	09-05-2012	0,001	0,002	30,6	0,03	2,13	7,77	0,05	964	0,003
BRW-02	14-06-2012	0,001	0,002	34,3	0,005	0,04	7,67	0,04	983	0,003
BRW-02	11-07-2012	0,004	0,002	33,6	0,02	3,72	7,74	0,04	987	0,003
BRW-02	09-08-2012	0,001	0,002	26,9	0,005	1,91	7,71	0,04	1011	0,003
BRW-02	05-09-2012	0,001	0,002	1,79	0,03	2,34	7,64	0,04	980	0,003
BRW-02	09-10-2012	0,001	0,002	29,9	0,02	2,39	7,47	0,05	982	0,003
BRW-02	13-11-2012	0,0015	0,002	35,9	0,005	3,13	7,65	0,02	1005	0,003
BRW-02	11-12-2012	0,0015	0,002	27,8	0,005	2,26	7,72	0,03	1009	0,003
BRW-02	08-01-2013	0,0015	0,002	33,5	0,02	1,56	7,55	0,04	961	0,003
BRW-02	12-02-2013	0,0015	0,002	29,9	0,01	1,76	7,76	0,03	922	0,003
BRW-02	12-03-2013	0,0015	0,002	26,5	0,01	0,16	8,23	0,04	893	0,003
BRW-02	10-04-2013	0,004	0,002	23,1	0,02	0,89	7,64	0,05	935	0,01
BRW-02	14-05-2013	0,0015	0,002	25,8	0,005	0,29	7,83	0,04	915	0,007
BRW-02	11-06-2013	0,006	0,002	26	0,03	0,45	7,65	0,04	932	0,003
CRW-01	17-01-2012	0,001	0,002	2,2	0,03	0,17	6,6	0,02	846	0,003
CRW-01	21-02-2012	0,001	0,009	3,48	0,005	0,19	6,83	0,005	897	0,003
CRW-01	10-04-2012	0,001	0,002	1,19	0,01	0,26	6,86	0,02	909	0,003
CRW-01	10-05-2012	0,005	0,002	2,62	0,01	1,83	6,45	0,02	936	0,003
CRW-01	13-06-2012	0,001	0,002	3,6	0,005	0,27	7,49	0,005	949	0,003
CRW-01	10-07-2012	0,001	0,002	0,87	0,005	0,04	6,69	0,01	903	0,003
CRW-01	07-08-2012	0,001	0,002	0,99	0,005	0,31	6,49	0,005	893	0,003
CRW-01	04-09-2012	0,001	0,002	1,27	0,02	0,07	5,69	0,005	876	0,003



Punto	Fecha Muestreo	Pb	Se	SiO2	V	Zn	Ph Laboratorio	Litio (Citricos)	Conductividad Especifica	Arsénico Soluble al pH natural
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L
CRW-01	09-10-2012	0,006	0,002	2,46	0,01	0,12	6,05	0,01	792	0,003
CRW-01	12-11-2012	0,0015	0,002	1,78	0,005	0,2	6,35	0,005	861	0,003
CRW-01	10-12-2012	0,0015	0,002	1,43	0,005	0,19	6,05	0,005	880	0,003
CRW-01	07-01-2013	0,0015	0,002	0,74	0,005	0,03	6,22	0,005	930	0,003
CRW-01	12-02-2013	0,0015	0,002	2,43	0,005	0,48	7,27	0,005	743	0,003
CRW-01	12-03-2013	0,01	0,002	0,18	0,02	0,005	4,81	0,02	799	0,003
CRW-01	09-04-2013	0,003	0,002	0,15	0,005	0,005	5,79	0,005	837	0,009
CRW-01	14-05-2013	0,0015	0,002	0,35	0,005	0,85	4,71	0,01	799	0,003
CRW-01	12-06-2013	0,004	0,002	0,18	0,02	0,04	4,79	0,02	838	0,003
PBC-08	17-03-2011	0,023	0,002	65	0,005	1,97	4,32	0,04	1535	0,003
PBC-08	26-04-2011	0,01	0,002	36,9	0,005	2,51	5,93	0,005	1184	0,003
PBC-08	27-05-2011	0,001	0,002	37,5	0,005	8,45	4,18	0,06	1367	0,003
PBC-08	21-06-2011	0,005	0,002	78,5	0,02	1,52	3,96	0,11	1503	0,003
PBC-08	20-07-2011	0,001	0,002	62,7	0,01	1,36	4,23	0,08	1507	0,003
PBC-08	20-08-2011	0,015	0,002	55,7	0,005	1,12	3,99	0,08	1503	0,003
PBC-08	01-09-2011	0,001	0,002	70,6	0,01	1,21	4,21	0,09	1495	0,003
PBC-08	01-10-2011	0,007	0,002	59,9	0,02	0,85	3,7	0,09	1502	0,003
PBC-08	15-11-2011	0,016	0,002	36,5	0,03	1,04	4,18	0,11	1441	0,003
PBC-08	15-12-2011	0,038	0,002	69,8	0,005	1,31	3,77	0,08	1471	0,003
PBC-08	17-01-2012	0,016	0,002	79,1	0,05	1,11	4,1	0,08	1552	0,003
PBC-08	21-02-2012	0,017	0,002	61,1	0,005	1,6	4,24	0,04	1463	0,003
PBC-08	15-03-2012	0,001	0,002	61,8	0,03	1,19	6,37	0,06	1545	0,003
PBC-08	10-04-2012	0,006	0,002	74,9	0,02	0,33	5,85	0,07	1474	0,003
PBC-08	10-05-2012	0,026	0,002	77,2	0,02	2,25	3,34	0,07	1532	0,003
PBC-08	13-06-2012	0,001	0,002	60,9	0,005	1,5	3,39	0,06	1568	0,003
PBC-08	10-07-2012	0,008	0,002	63,8	0,01	1,11	3,7	0,06	1551	0,003
PBC-08	07-08-2012	0,036	0,011	70,8	0,02	1,16	4,9	0,06	1576	0,003
PBC-08	04-09-2012	0,001	0,002	62,1	0,03	1,28	3,42	0,07	1563	0,003
PBC-08	09-10-2012	0,007	0,002	67	0,03	1,57	4,99	0,07	1568	0,003
PBC-08	12-11-2012	0,0015	0,002	52,3	0,005	1,39	4,25	0,06	861	0,003
PBC-08	10-12-2012	0,0015	0,002	55,6	0,005	0,83	3,69	0,05	1594	0,003
PBC-08	07-01-2013	0,0015	0,002	58,8	0,005	0,54	4,26	0,06	1699	0,003
PBC-08	12-02-2013	0,0015	0,002	60,5	0,005	0,89	4,71	0,06	1474	0,003
PBC-08	12-03-2013	0,018	0,013	69,8	0,01	0,68	3,19	0,07	1533	0,003
PBC-08	09-04-2013	0,008	0,002	83,2	0,005	0,79	3,18	0,06	1605	0,012
PBC-08	14-05-2013	0,0015	0,002	59,3	0,005	1,06	4,49	0,06	1520	0,003
PBC-08	12-06-2013	0,007	0,002	74,4	0,03	1,27	3,39	0,07	1575	0,003
PMRS-2	11-05-2010	0,01	0,002	20,9	0,02	0,34	7,96	0,06	559	0,003
PMRS-2	22-06-2010	0,01	0,002	43,1	0,03	0,1	7,73	0,03	565	0,003
PMRS-2	20-07-2010	0,01	0,002	57,8	0,03	0,03	7,82	0,01	577	0,003
PMRS-2	17-08-2010	0,002	0,002	23,16	0,069	0,012	7,82	0,005	570	0,003
PMRS-2	24-09-2010	0,001	0,002	19,5	0,005	0,04	7,8	0,005	575	0,003
PMRS-2	19-10-2010	0,001	0,002	34,5	0,005	0,02	7,89	0,005	579	0,003
PMRS-2	17-11-2010	0,001	0,002	25,2	0,005	0,005	8,16	0,005	555	0,003
PMRS-2	14-12-2010	0,001	0,002	29,7	0,04	0,04	8,13	0,03	562	0,003

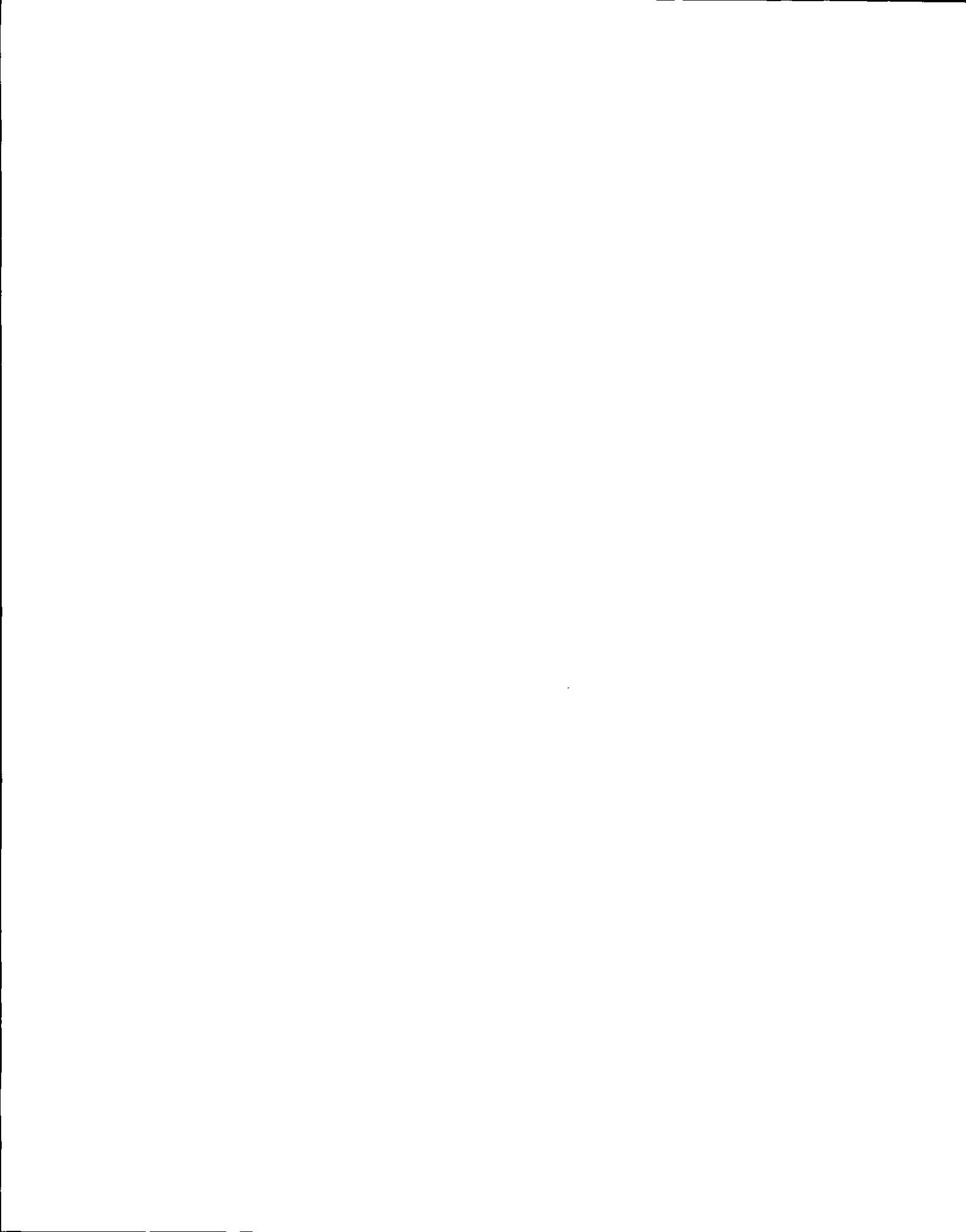
Punto	Fecha Muestreo	Pb	Se	SiO2	V	Zn	Ph Laboratorio	Litio (Cítricos)	Conductividad Especifica	Arsénico Soluble al pH natural
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L
PMRS-2	12-01-2011	0,001	0,002	28,1	0,01	0,31	7,9	0,01	573	0,003
PMRS-2	17-02-2011	0,001	0,002	20,3	0,005	0,005	7,95	0,005	559	0,01
PMRS-2	17-03-2011	0,011	0,002	29,4	0,01	0,06	7,57	0,01	572	0,003
PMRS-2	27-04-2011	0,001	0,002	30,6	0,02	0,05	7,68	0,005	577	0,003
PMRS-2	24-05-2011	0,001	0,002	26	0,02	0,01	7,58	0,02	591	0,003
PMRS-2	22-06-2011	0,003	0,002	26,6	0,03	0,08	7,6	0,03	578	0,003
PMRS-2	13-07-2011	0,001	0,002	22,1	0,02	0,04	8,01	0,02	568	0,003
PMRS-2	10-08-2011	0,001	0,002	24,2	0,02	0,07	7,71	0,02	599	0,003
PMRS-2	18-01-2012	0,001	0,002	34,4	0,02	0,01	7,49	0,02	601	0,003
PMRS-2	14-03-2012	0,001	0,002	23,3	0,01	0,4	7,58	0,03	584	0,003
PMRS-2	12-04-2012	0,001	0,002	31,3	0,02	0,06	7,95	0,02	564	0,003
PMRS-2	11-05-2012	0,001	0,002	21,6	0,04	0,005	7,56	0,02	571	0,003
PMRS-2	14-06-2012	0,001	0,002	25,4	0,005	0,52	7,88	0,01	621	0,0045
PMRS-2	12-07-2012	0,001	0,002	25,2	0,05	0,09	8,03	0,02	621	0,003
PMRS-2	09-08-2012	0,001	0,002	26	0,01	0,02	7,89	0,01	646	0,003
PMRS-2	06-09-2012	0,001	0,002	24	0,03	0,04	7,72	0,02	612	0,003
PMRS-2	10-10-2012	0,001	0,002	26,2	0,03	0,11	7,75	0,03	643	0,003
PMRS-2	14-11-2012	0,0015	0,002	35,4	0,005	0,11	7,68	0,005	674	0,003
PMRS-2	12-12-2012	0,0015	0,002	22,2	0,02	0,39	7,83	0,005	634	0,003
PMRS-2	10-01-2013	0,0015	0,002	32,9	0,03	0,06	7,89	0,02	603	0,003
PMRS-2	14-02-2013	0,023	0,002	25,4	0,02	0,1	7,93	0,02	575	0,003
PMRS-2	12-03-2013	0,012	0,002	28,2	0,02	0,005	8,1	0,03	577	0,003
PMRS-2	11-04-2013	0,0015	0,002	27,9	0,02	0,02	7,85	0,03	582	0,003
PMRS-2	17-05-2013	0,0015	0,002	23	0,005	0,005	7,85	0,02	559	0,003
PMRS-2	12-06-2013	0,0015	0,002	29,2	0,02	0,53	7,76	0,02	579	0,003



Punto	Fecha Muestreo	Color Aparente	Dureza Cálctica	Dureza Magnésica	Sodio + Potasio	Yodo
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
BRW-01	17-01-2012	220	162,4	159,9	42,5	0,14
BRW-01	22-02-2012	50	140,6	133,9	34,3	0,005
BRW-01	13-03-2012	130	133,48	131,13	34,67	0,01
BRW-01	11-04-2012	55	158,5	125,1	32,7	0,24
BRW-01	09-05-2012	110	187,8	148,2	38,9	0,14
BRW-01	14-06-2012	150	191,9	139,3	38,3	0,27
BRW-01	11-07-2012	230	206,8	152,4	41,5	0,03
BRW-01	09-08-2012	110	211,5	149,5	43,7	0,02
BRW-01	05-09-2012	230	167,3	139,9	41,2	0,09
BRW-01	09-10-2012	225	182,3	158,4	49,1	0,42
BRW-01	13-11-2012	135	172,7	152,2	43,5	0,45
BRW-01	11-12-2012	280	149,8	133,8	37,8	0,18
BRW-01	08-01-2013	50	184,4	156,7	42,9	0,31
BRW-01	12-02-2013	140	128,6	161,9	41,9	0,02
BRW-01	12-03-2013	25	224,5	171,8	40,9	0,005
BRW-01	10-04-2013	45	218,9	173,2	40,6	0,03
BRW-01	14-05-2013	75	240,6	163,9	43,4	0,27
BRW-01	10-10-2012	175	185,2	145,7	41	0,28
BRW-01	11-06-2013	35	261,4	168,5	37,8	0,02
BRW-02	17-01-2012	780	163,8	142,6	39,1	0,005
BRW-02	22-02-2012	225	183	129,9	33,3	0,005
BRW-02	13-03-2012	75	220,37	136,84	32,73	0,06
BRW-02	11-04-2012	140	260,8	137	28,7	0,12
BRW-02	09-05-2012	70	296,5	159,3	120,6	0,16
BRW-02	14-06-2012	175	276,6	148,7	31,3	0,13
BRW-02	11-07-2012	210	302	164,8	35	0,02
BRW-02	09-08-2012	55	259,2	149,8	35,4	0,08
BRW-02	05-09-2012	180	317	166,7	34,9	0,02
BRW-02	09-10-2012	175	286	162,6	34,8	0,16
BRW-02	13-11-2012	35	327,8	175,5	37,2	0,47
BRW-02	11-12-2012	180	268,8	149	32,7	0,19
BRW-02	08-01-2013	140	318,5	165,3	36,4	0,33
BRW-02	12-02-2013	50	266,6	175,6	36,3	0,14
BRW-02	12-03-2013	2,5	311,8	180,6	36,8	0,005
BRW-02	10-04-2013	15	258,7	184,3	37,5	0,04
BRW-02	14-05-2013	15	237,8	167,7	38,4	0,03
BRW-02	11-06-2013	35	226,7	149,8	32,6	0,03
CRW-01	17-01-2012	70	274	134,2	24,2	0,09
CRW-01	21-02-2012	50	265,9	126,7	20,7	0,005
CRW-01	10-04-2012	90	318,8	150,2	23,4	0,07
CRW-01	10-05-2012	90	241,8	111,1	17,9	0,1
CRW-01	13-06-2012	75	274,8	122,1	20,8	0,13
CRW-01	10-07-2012	110	289,8	128,26	23,3	0,21
CRW-01	07-08-2012	165	272,2	132,8	23,6	0,23
CRW-01	04-09-2012	280	237,6	111,8	20,3	0,26
CRW-01	09-10-2012	360	276,9	125,6	31,9	0,53

Punto	Fecha Muestreo	Color Aparente	Dureza Cálctica	Dureza Magnésica	Sodio + Potasio	Yodo
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
CRW-01	12-11-2012	275	297,3	131,1	28,6	0,08
CRW-01	10-12-2012	225	296	134,7	26,8	0,16
CRW-01	07-01-2013	210	262,3	122,6	24,5	0,27
CRW-01	12-02-2013	140	233,6	115,8	25,8	0,07
CRW-01	12-03-2013	280	259,1	132,1	25,5	0,22
CRW-01	09-04-2013	450	240,2	131,6	25,3	0,11
CRW-01	14-05-2013	280	248,8	139,2	26,7	0,25
CRW-01	12-06-2013	220	183,3	114,1	23,3	0,01
PBC-08	17-03-2011	No apta para medición	428	225	30,2	0,07
PBC-08	26-04-2011	135	375	145	17,5	0,01
PBC-08	27-05-2011	450	440,9	251,6	24,5	0,25
PBC-08	21-06-2011	135	407	210	35,15	0,33
PBC-08	20-07-2011	250	362	337	66	0,32
PBC-08	20-08-2011	135	551,5	263,9	45,7	0,23
PBC-08	01-09-2011	75	460,4	255,6	38,4	0,41
PBC-08	01-10-2011	180	22	270,6	50,7	0,66
PBC-08	15-11-2011	105	411,2	205,5	60,5	0,45
PBC-08	15-12-2011	225	388,5	289,9	51,7	0,63
PBC-08	17-01-2012	120	502	275,7	44,3	0,28
PBC-08	21-02-2012	175	400,9	272,4	56,3	0,22
PBC-08	15-03-2012	125	492,2	272,51	46,55	0,04
PBC-08	10-04-2012	250	496	273,3	47,1	0,24
PBC-08	10-05-2012	210	405,8	226	40,2	0,24
PBC-08	13-06-2012	250	495,4	258	47	0,34
PBC-08	10-07-2012	140	479,93	258,67	45,1	0,25
PBC-08	07-08-2012	175	474,3	249,5	48,9	0,02
PBC-08	04-09-2012	200	413,8	199,6	32,8	0,13
PBC-08	09-10-2012	175	527,9	276,2	46,8	0,22
PBC-08	12-11-2012	125	499,3	245,1	39,6	0,08
PBC-08	10-12-2012	175	515	248,5	40	0,44
PBC-08	07-01-2013	100	470,8	231,3	41	0,87
PBC-08	12-02-2013	100	477,1	271,3	45,1	0,18
PBC-08	12-03-2013	100	487,5	275,3	46,5	0,14
PBC-08	09-04-2013	110	427,7	259,5	41,3	0,07
PBC-08	14-05-2013	90	382,7	278,4	47,5	0,31
PBC-08	12-06-2013	140	351,5	233	42	0,04
PMRS-2	11-05-2010	45	217	129	48,2	0,005
PMRS-2	22-06-2010	15	133	99,6	32	0,005
PMRS-2	20-07-2010	500	150	66,3	28,7	0,05
PMRS-2	17-08-2010	100	130,75	57,9	36,03	0,01
PMRS-2	24-09-2010	50	187	42,4	17,7	0,08
PMRS-2	19-10-2010	90	125	59,7	37,1	0,05
PMRS-2	17-11-2010	200	120	52,7	40,7	0,01
PMRS-2	14-12-2010	100	89	69,6	32,6	0,005
PMRS-2	12-01-2011	30	139	76,5	40,6	0,005
PMRS-2	17-02-2011	40	121	62,6	40,1	0,005

Punto	Fecha Muestreo	Color Aparente	Dureza Cálctica	Dureza Magnésica	Sodio + Potasio	Yodo
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
PMRS-2	17-03-2011	165	160	80,3	38,3	0,07
PMRS-2	27-04-2011	180	130	65,4	32,5	0,06
PMRS-2	24-05-2011	450	167,1	149	17,3	0,09
PMRS-2	22-06-2011	275	150,5	45,2	34,9	0,01
PMRS-2	13-07-2011	150	155	74,4	35,1	0,1
PMRS-2	10-08-2011	65	141,9	81,9	38,9	0,005
PMRS-2	18-01-2012	50	151,6	70,6	41,3	0,02
PMRS-2	14-03-2012	360	198	61,04	35,94	0,12
PMRS-2	12-04-2012	180	170	85,2	37,9	0,07
PMRS-2	11-05-2012	45	133,3	61,7	38,2	0,005
PMRS-2	14-06-2012	165	143,7	65	37,3	0,05
PMRS-2	12-07-2012	250	176,1	78	46,2	0,1
PMRS-2	09-08-2012	105	135,2	70	39,8	0,08
PMRS-2	06-09-2012	135	168,7	71,6	42	0,06
PMRS-2	10-10-2012	125	142,9	67,6	42,7	0,18
PMRS-2	14-11-2012	150	154	98,5	48	0,26
PMRS-2	12-12-2012	100	183	77,8	50,3	0,27
PMRS-2	10-01-2013	150	169,3	76,7	43	0,34
PMRS-2	14-02-2013	220	134,53	69,02	39,2	0,13
PMRS-2	12-03-2013	50	160,6	79,6	42,1	0,06
PMRS-2	11-04-2013	220	155,6	50	43,2	0,03
PMRS-2	17-05-2013	45	123,1	81	36,4	0,04
PMRS-2	12-06-2013	25	124,5	62,8	38,2	0,05



**SRK Registro de Distribución**

No. de Informe

Revisión

Emitido Para

No. de Copia

Nombre/Cargo	Empresa	Copia(s)	Fecha	Elaborado por	Firma
Hernán Muñoz	MLCC	Digital	25/10/13	B Labarca	
SRK	Archivo	Digital	25/10/13	B Labarca	

Revisión Técnica:

Jefe de Área:

Firma de Aprobación para envío a Cliente:

Este informe está protegido por derecho de autor por parte de SRK Consulting. Prohibida su reproducción o transmisión en cualquier forma o por cualquier medio a cualquier persona sin previa autorización escrita de SRK Consulting.

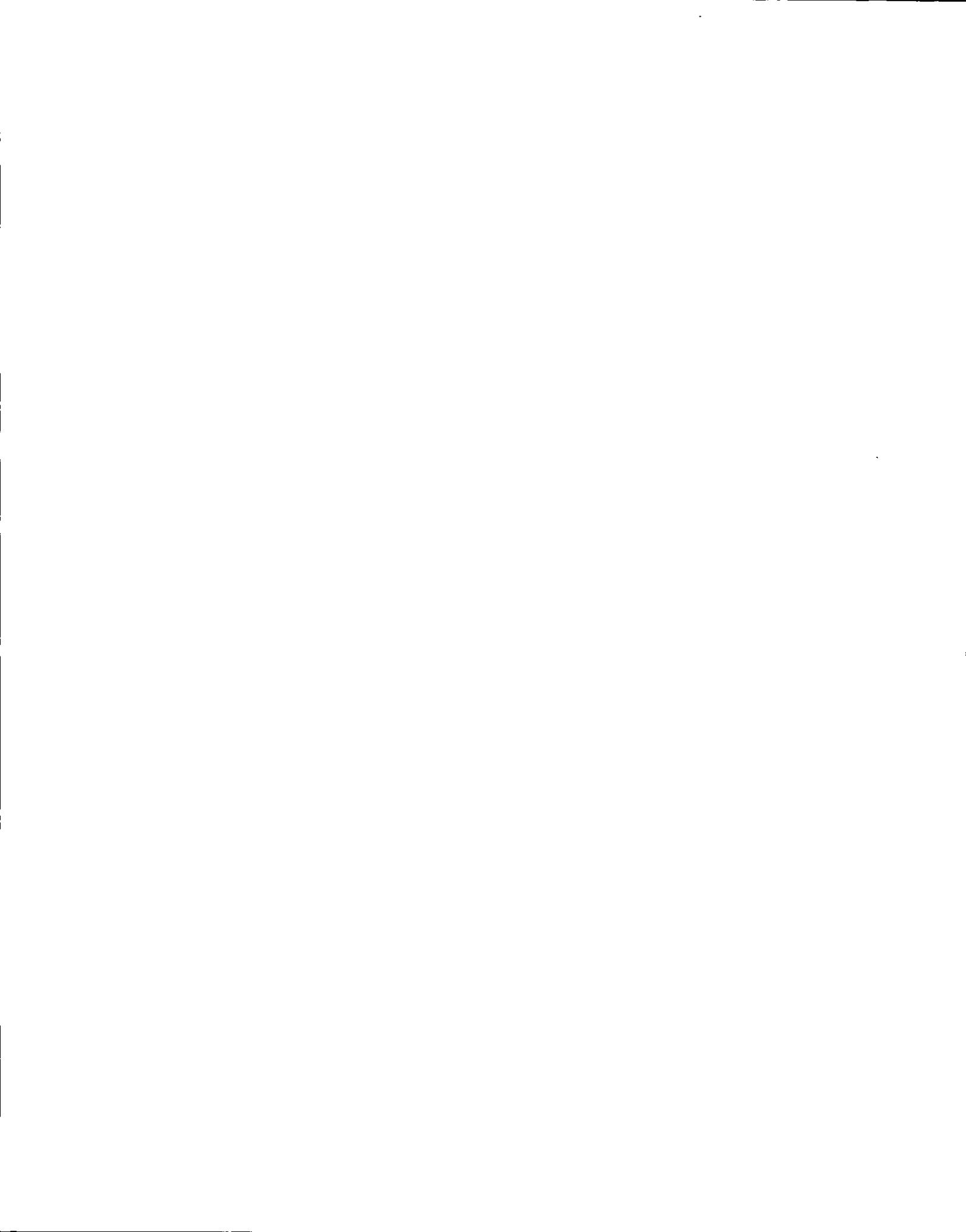
**Control de Cambios**

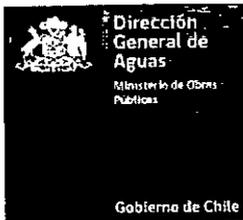
No. de Proyecto

No. de Copia

Fecha	Rev	Cambio(s)	Elaborado por	Firma
25/10/13	B	Incorpora Comentarios del Cliente	B Labarca	
24/10/13	A	Envía al Cliente	B Lbarca	

Firma de Aprobación:





ORD.: N° 766

ANT. : Ord. SEA Atacama N° 285, de 26 de septiembre de 2013.

MAT. : Pronunciamento sobre validación del Diseño del Sistema de Tratamiento Pasivo para el drenaje ácido de mina, asociado al proyecto denominado, *Proyecto Caserones*.

COPIAPÓ, 29 OCT 2013

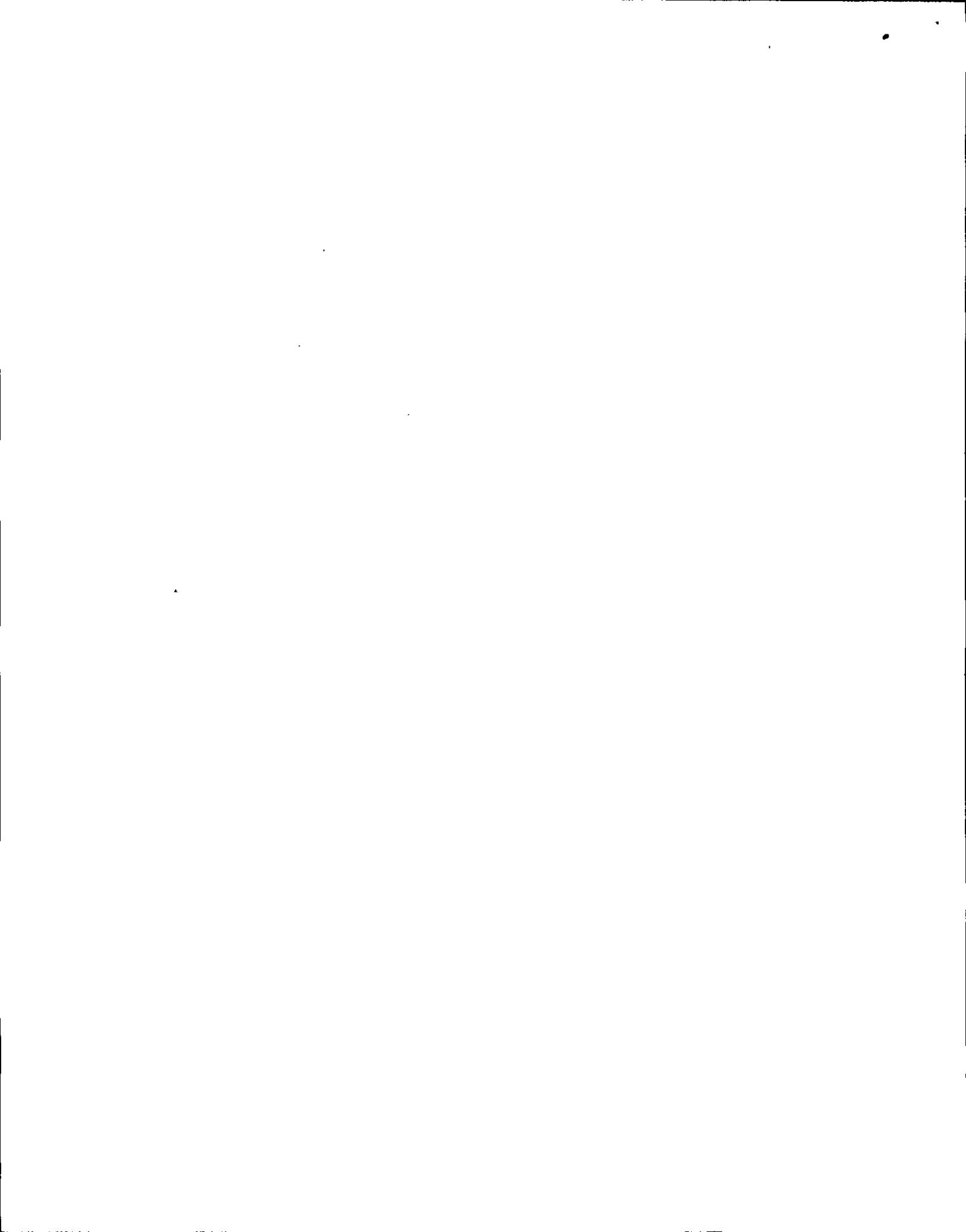
DE: DIRECTOR REGIONAL D.G.A. REGIÓN DE ATACAMA

A: DIRECTORA REGIONAL SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL  
REGIÓN DE ATACAMA

Junto con saludarle, me refiero a su requerimiento indicado en el Ord. del **ANT.** respecto de un pronunciamiento de este Servicio sobre la validación del diseño del sistema de tratamiento pasivo para el drenaje ácido de mina, asociado al proyecto denominado *Proyecto Caserones*, aprobado ambientalmente mediante RCA COREMA Atacama (Exenta) N° 13/2010, del Titular **SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE**, cuyo diseño se encuentra contenido en el documento denominado *Diseño Sistema de Tratamiento Pasivo*, en adelante el Sistema, adjunto a su oficio del **ANT.** Así, de la revisión del precitado documento, me permito señalar a continuación las siguientes observaciones:

- 1) Según lo dispuesto en el Considerando 12 numeral 6 de la señalada Resolución de Calificación Ambiental, se establece que (Textual) "*El sistema de tratamiento pasivo, para el depósito de lastre, se deberá diseñar de acuerdo a los antecedentes hidrogeológicos de la quebrada La Brea, a los que se refiere el numeral 5<sup>1</sup>. El sistema de tratamiento pasivo deberá ser validado por la Autoridad Ambiental, previo informe favorable de los órganos de la administración del Estado competentes, y mientras no se emita la respectiva validación favorable el Proyecto no operará.*"

<sup>1</sup> Numeral 5: En lo que se refiere a la calidad y cantidad del recurso hídrico, el Titular del proyecto, en un plazo máximo de 6 meses de notificada la Resolución de Calificación Ambiental, entregará a la COREMA la información que será utilizada para el desarrollo de la ingeniería de Detalles, referida a: antecedentes hidrogeológicos de línea base del área de influencia del proyecto, (levantamiento geofísico de perfiles TEM de alta resolución en los sectores donde se ubicarán los pozos de remediación, pruebas de bombeo individuales de 3 días cada uno y simultáneamente en cada conjunto de pozos de remediación por 20 días de duración; en los depósitos de relaves: levantamiento geofísico de perfiles, perfiles de control de recarga de agua subterránea mediante pruebas de bombeo específicas; en relación a los niveles freáticos, levantamiento de información con 10 pozos adicionales de 40-60 m. de los diseños y sistemas de monitoreo y control de infiltraciones).

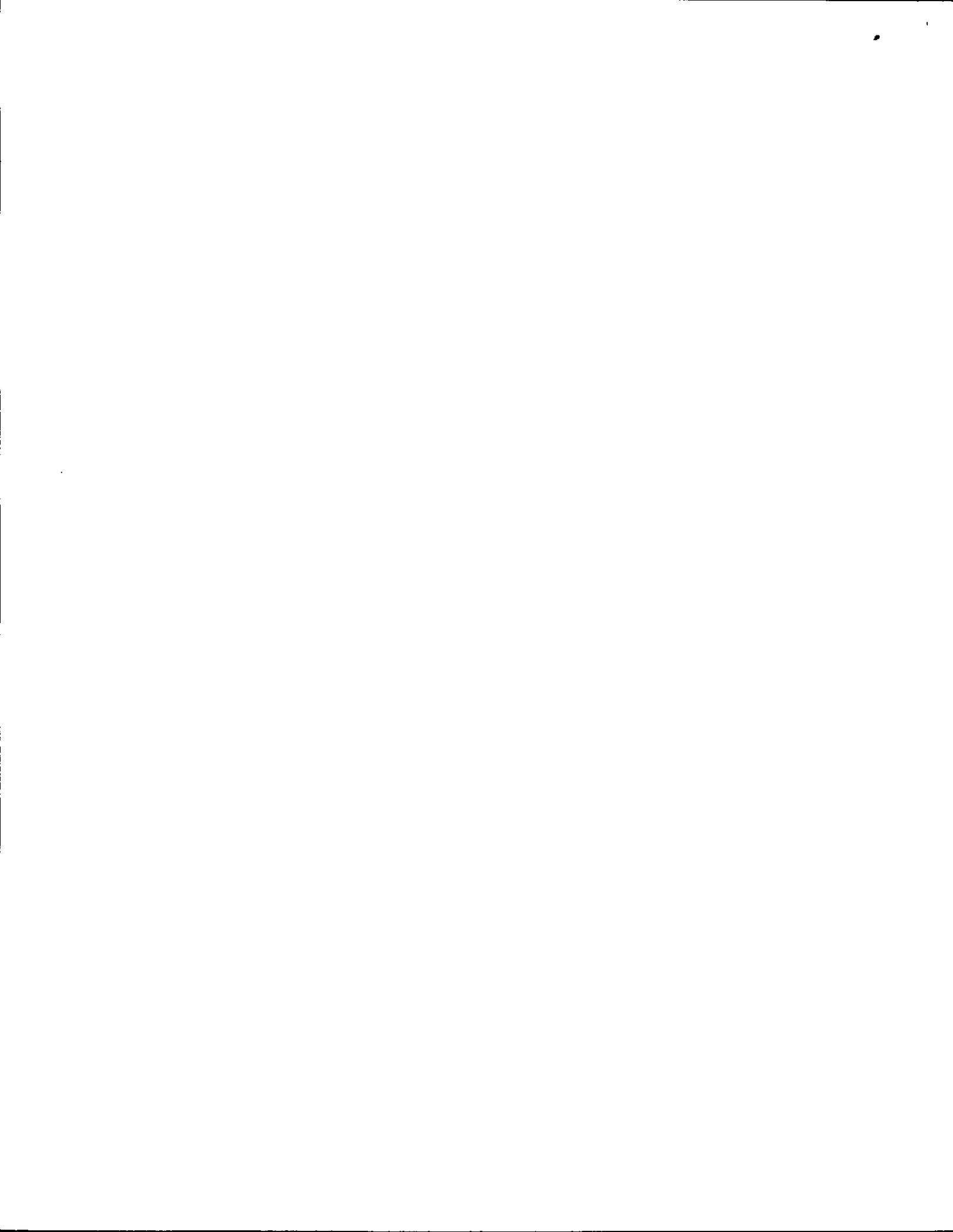


2) Respecto a los antecedentes hidrogeológicos a que se refiere el Considerando 12 numeral 6 de la mencionada RCA, es preciso señalar que, de acuerdo a los registros de este Servicio, dichos antecedentes ya han sido elaborados y presentados formalmente por el Titular del proyecto en cuestión, lo cual consta en el Ord. CONAMA Atacama N° 949, de 7 de septiembre de 2010, en el Ord. SEA Atacama N° 116, de 3 de marzo de 2011, y en el Ord. SEA Atacama N° 74, de 9 de marzo de 2012, a lo cual este Servicio se ha pronunciado a través del Ord. D.G.A. Atacama N°759, de 4 de noviembre de 2010, el Ord. D.G.A. Atacama N°762, de 22 de noviembre de 2011 y el Ord. D.G.A. Atacama N° 752, de 18 de octubre de 2013, respectivamente.

3) Asimismo, cabe indicar que, mediante el Ord. D.G.A. Atacama N° 187, de 2 de abril de 2013, este Servicio se pronunció sobre una consulta de pertinencia de ingreso al SEIA, presentada por el Titular del citado proyecto, correspondiente a una extensión de plazo de 3 años para efectuar el diseño y validación del sistema establecido en el Considerando a que se refiere el numeral 1) anterior.

4) En relación al Sistema en cuestión, en su numeral 3, sobre Diseño, el Titular indica que (Textual) *"El flujo que se infiltra a través de dicho depósito de lastre será interceptado aguas abajo mediante un muro cortafugas en la quebrada mencionada"*. Por otra parte, en el mismo numeral menciona que (Textual) *"Las aguas interceptadas por el muro serán transportadas a una cámara aforadora ubicada aguas abajo del muro cortafugas. El mecanismo de aforo consistirá en un vertedero triangular convencional"*. Al respecto, el Titular agrega que (Textual) *"Aguas abajo del vertedero triangular, el flujo escurrirá a régimen libre hacia una cámara de tratamiento pasivo, la cual contendrá bloques de calcita que permitirá disminuir el pH del flujo hasta niveles acordes a lo requerido por la autoridad. La descarga de la cámara de tratamiento pasivo retornará el flujo al cauce original"*. Sobre lo planteado, con el objeto de visualizar panorámicamente el emplazamiento del sistema de tratamiento en evaluación y su vínculo con partes y componentes del proyecto en comento, se solicita al Titular que presente un plano en detalle a escala adecuada en formato A3 con georreferenciación de todas las obras contempladas en el Diseño en evaluación, ello en superposición con las obras y partes del proyecto aprobadas ambientalmente mediante la citada RCA, incorporando el establecimiento de las zonas potencialmente susceptibles de ser alteradas en la calidad de los recursos hídricos presentes en el área de influencia del proyecto.

5) Sobre los elementos que conforman el Sistema, y sin perjuicio de lo indicado en el documento en revisión, en donde el Titular se remite solamente a identificar separadamente el diseño y dimensionamiento de cada una de las obras en cuestión, sin acompañar una descripción de cómo éstas se integran entre sí, y cómo éstas se relacionan con las obras aprobadas por la citada RCA, se solicita al Titular describir y detallar el funcionamiento completo del Sistema en cuestión, identificando los parámetros que permitirán controlar la acción de tratamiento en cada uno de los subsistemas indicados en el numeral 4) anterior.



6) En sintonía con lo expuesto precedentemente, en relación a la descarga del efluente de la Cámara de Tratamiento Pasivo que retornará su flujo en la quebrada La Brea, y atendido a que el Titular tiene conocimiento claro del área de estudio, resulta entonces relevante conocer en detalle, y en esta instancia, el lugar de emplazamiento de dicha descarga en el cauce en cuestión, así como las obras hidráulicas contempladas para dicha descarga (diseño, características y funcionamiento).

7) En el numeral 1 del Diseño, el Titular indica que (Textual) *"MLCC ha solicitado a ARCADIS CHILE, el diseño básico de un muro cortafugas que intercepte el flujo sub-superficial y un sistema de tratamiento pasivo de los posibles lixiviados"*. En el mismo numeral, el Titular señala que (Textual) *"El muro cortafugas como tal se ubicará aproximadamente en la siguiente coordenada con datum WGS84 Huso 19J, N 6.885.559 E 443.670"*. Por otra parte, en el numeral 3 del Diseño, el Titular indica que (Textual) *"El flujo que se infiltra a través de dicho depósito de lastre será interceptado aguas abajo mediante un muro cortafugas en la quebrada mencionada"*. Al respecto, se solicita al Titular proporcionar todos los antecedentes técnicos de diseño, construcción y funcionamiento de esta obra, y aquellos pertinentes sobre la profundidad del muro y del sustrato impermeable del sector de emplazamiento, donde se evidencie que la colocación del muro en cuestión estará a una profundidad tal que permita asegurar la interceptación total de los flujos sub-superficiales que se tengan en dicha zona, y que eventualmente, tengan las características de aguas ácidas. Lo anterior, justificando además su ubicación de acuerdo a los antecedentes hidrogeológicos de la quebrada La Brea.

8) En relación a la Cámara de Aforo, el Titular indica en el numeral 5.1 del documento precitado que (Textual) *"Se trata de la primera cámara que recibe el flujo directamente desde el muro cortafugas. El proyecto de la estructura vendrá asociado al sistema de aforo de la misma, el cual por simplicidad se decidió fuera un vertedero triangular de pared delgada"*. En el mismo numeral, el Titular indica que (Textual) *"Para mantener la condición hidráulica de vertedero de pared delgada, en la parte interna del triángulo debe insertarse una lámina de HDPE u otro material resistente a la acidez del flujo cuyo espesor no supere los 2 mm"*. Al respecto, se solicita al Titular presentar las especificaciones constructivas y de funcionamiento de dicha obra.

9) Por otra parte, en relación a la conducción de las aguas captadas en el muro cortafugas indicado en el numeral 3) anterior, hasta la Cámara de Aforo detallada en el numeral 8) anterior, se solicita al Titular describir y detallar la obra hidráulica contemplada para dichos fines. En el mismo orden de ideas, para el trayecto de conducción desde la Cámara de Aforo precitada anteriormente y la Cámara de Tratamiento Pasivo, que será efectuado mediante una tubería de HDPE de diámetro 0,20 m, se solicita al Titular especificar su disposición, respecto a si esta será enterrada o superficial, longitud y trazado contemplado en el área de emplazamiento de su proyecto.

10) Respecto de la Cámara de Tratamiento Pasivo, el Titular en el numeral 5.3 del Diseño, indica que (Textual) *"Desde el punto de vista hidráulico, el diseño de la cámara de tratamiento pasivo se realizó de manera de obligar al flujo a seguir un recorrido zigzagante a través de la misma, consistiendo en ocho sub-cámaras de 2 metros de ancho por 4 metros de largo"*. No obstante ello, en la Figura 5-7 del mismo numeral 5.3, en la cual se presenta una planta de la Cámara de Tratamiento Pasivo, se advierte la existencia de 14 sub-cámaras. Al respecto, se solicita al Titular aclarar dichas inconsistencias, presentando un plano a escala adecuada en formato A3 con el detalle del diseño completo de dicha obra, el que permita bien ilustrar su funcionamiento y configuración.

11) Del mismo modo, cabe precisar también que, el Titular en su presentación sólo incorpora separadamente el diseño de las obras que componen el sistema, sin incorporar los parámetros, mecanismos de control y verificación que permitan evaluar el desempeño del Sistema. Atendido a ello, se solicita al Titular acompañar un detalle completo del monitoreo asociado a un sistema de estas características.

12) Por otra parte, en relación al monitoreo de calidad de aguas existentes en la zona de emplazamiento del proyecto, cabe precisar que, el Considerando 12 numeral 9 de la RCA COREMA Atacama N° 13/2010 establece que (Textual) *"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"*.

13) Al respecto, cabe mencionar que, los antecedentes a que se hace mención en el numeral 12) anterior, han sido elaborados y presentados formalmente por el Titular del proyecto a esta Dirección, lo cual consta en la Carta MLCC 132/2012, de 30 de noviembre de 2012, que adjunta el documento denominado *Plan de Monitoreo del Recurso Hídrico Proyecto Caserones*, cuyo documento fue revisado y observado por este Servicio, ello mediante el Ord. D.G.A. Atacama N° 470, de 11 de julio de 2013.

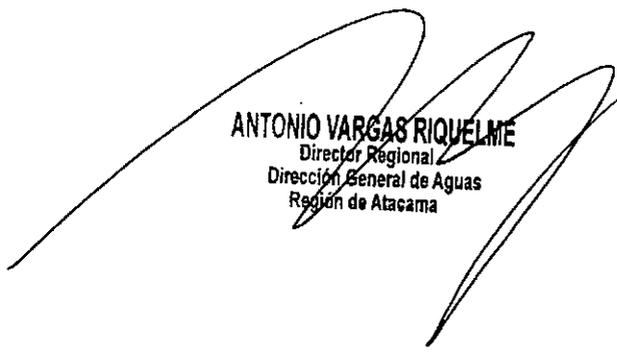
14) Asimismo, atendido a lo expuesto en el numeral 13) anterior, en relación al *Plan de Monitoreo Robusto*, se solicita al Titular identificar y describir detalladamente los elementos contemplados en dicho Plan, y su interacción con el funcionamiento del Sistema de Tratamiento Pasivo en cuestión, para el sector de emplazamiento del Botadero de Lastres en el área de Mina.

15) Sin perjuicio de lo indicado en el numeral 14) anterior, se hace presente al Titular que, respecto al monitoreo de la calidad de aguas, deberá contemplar todas aquellas observaciones sobre la materia planteadas por este Servicio mediante el Ord. D.G.A. Atacama N° 470/2013.



16) En resumen, se observa que, el Diseño del Sistema de Tratamiento Pasivo propuesto por el Titular del proyecto contempla una serie de obras interconectadas entre sí, las que interceptarán, captarán, conducirán y tratarán las aguas ácidas provenientes del depósito de lastres en el sector Mina del proyecto en cuestión, sin embargo, en dicha propuesta de Diseño no se presenta una identificación y descripción detallada de cada una de las medidas de prevención, control y contingencia contempladas para la eventualidad que existan emergencias desde los distintos componentes del Sistema en cuestión. De esta forma, este Servicio estima que dicha propuesta de Diseño se presenta en forma genérica, con escaso nivel de detalle, y por lo tanto, bajo estas condiciones no es posible emitir ningún tipo de validación al respecto.

Saluda atentamente a Ud.,



**ANTONIO VARGAS RIQUELME**  
Director Regional  
Dirección General de Aguas  
Región de Atacama



AVR/MP/ajcp

**DISTRIBUCIÓN:**

- Destinatario.
- SEREMI Obras Públicas, Región de Atacama.
- Archivo Unidad de Fiscalización y Medio Ambiente, D.G.A Región de Atacama.
- Archivo E.I.A. Proyecto Caserones, Unidad de Fiscalización y Medio Ambiente D.G.A. Región de Atacama.
- Archivo Oficina de Partes, D.G.A. Región de Atacama.

N° Proceso SSD: 71.63.857-1



756

COPLAPO, 29 OCT. 2013

Señor  
Nelson Pizarro Contador  
Representante Legal  
SCM Minera Lumina Copper Chile  
Av. Andrés Bello 2687 Piso 4 - Las Condes  
Santiago

Por este intermedio, me permito adjuntar a Ud. copia del Ord. N° 752 de fecha 18 de octubre de la Dirección General de Aguas, Región de Atacama, a través del cual hace llegar sus observaciones respecto a los informes denominados “Estudios Hidrogeológicos Complementarios – Control Infiltraciones – Depósito de Lamas Quebrada La Brea”, Revisión A y “Estudios Hidrogeológicos Complementarios – Control Infiltraciones – Depósito de Arenas Quebrada Caserones”, Revisión A, todos asociados al “Proyecto Caserones”, calificado ambientalmente favorable, mediante la Res. Ex. N° 13/2010.

Al respecto, solicito a Ud. hacer llegar las respuestas a dichas observaciones y complementar la información solicitada, con el objeto que dichos Informes puedan ser visados por el órgano competente, tal como se indica en la respectiva resolución de calificación ambiental.

Sin otro particular, saluda atentamente a Usted,

  
OLIVIA PEREIRA VALDÉS  
DIRECTORA REGIONAL  
SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL  
REGIÓN DE ATACAMA



/vop

- DISTRIBUCION:
- Destinatario.
  - Archivo SEA del “Proyecto Caserones”
  - Archivo.

Santiago, 30 de octubre de 2013  
MLCC 136/2013

A Rep-VO

Señora  
Olivia Pereira  
Directora Regional  
Servicio de Evaluación Ambiental  
Región de Atacama  
Presente

Ant.: Carta N° 603 del 18 de julio 2013 del SEA Región de Atacama

Ref.: Respuesta a Ord. DGA Atacama N° 470/13 respecto al Plan de Monitoreo - Parte Cantidad.

De mi consideración:

Adjunto a la presenta le hacemos llegar las respuestas al Ord. DGA Atacama N° 470/13 relacionadas al aspecto Cantidad de Aguas del plan de monitoreo de aguas del proyecto Caserones, también llamado Plan de Monitoreo Robusto.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,



**Nelson Pizarro Contador**  
Representante Legal  
SCM Minera Lumina Copper Chile

HM/

cc. Sr. Antonio Vargas, Director Regional DGA Atacama.  
Archivo

Avda. Andrés Bello 2687 Piso 4 / TEL: (56 - 2) 432 2500 / FAX: (56 - 2) 432 2600  
Las Condes - Santiago - Chile

Colipi 885 / TEL: (56 - 52) 236 258 / (56 - 52) 545 201  
Copiapó - Región de Atacama - Chile



## 3.1 Características de los pozos de monitoreo

### Características Constructivas Generales

En los pozos nuevos propuestos para el monitoreo debe ser posible la medición de su nivel freático, independiente de las oscilaciones que pueden presentar debido a los cambios estacionales o bombeos existentes. En este sentido, la profundidad que deberán alcanzar estos pozos será de aproximadamente 20 m bajo el nivel freático mínimo estimado mediante el modelo en cada zona.

La perforación será en seco, con el objeto de detectar las ocurrencias de agua, lo que puede ayudar a definir la habilitación del pozo. El diámetro mínimo de perforación será de 7<sup>7/8"</sup> y no se deberá utilizar aditivos.

Una vez terminada la perforación, se instalará un sello impermeable (mezcla de cemento y bentonita) en la base del sondaje para impedir conexiones del nivel saturado superior con posibles niveles subyacentes saturados. Este sello tendrá aproximadamente un metro de espesor.

La habilitación de estos pozos será habilitado mediante PVC con tramos ciegos y ranurados de 6 m, siendo la ranuración de fábrica con 1 mm de abertura. Las especificaciones necesarias para esta habilitación son: tubería de PVC tipo Johnson, Schedule 80, con tramos ranurados de Slot 40 y punta de lápiz de fondo. El tramo ranurado se debe localizar frente a la zona saturada. Los tramos de tubería serán unidos mediante rosca (macho-hembra) aplicándose adhesivos del tipo "vinilit".

Para el diámetro de la habilitación de estos pozos, se considera un mínimo de 3" con la finalidad de que, ante cualquier eventualidad, puedan ser purgados y/o muestreados con una bomba de bajo caudal.

El espacio anular, entre las paredes de perforación y la tubería de habilitación, será relleno con gravas redondeadas, seleccionada y sin presencia de material calcáreo, con un diámetro que varía entre 2 y 5 mm.

Una vez inyectada las gravas seleccionadas en el espacio anular, se deberá realizar el desarrollo del pozo con el fin de eliminar el material fino que puede impedir el ingreso de agua subterránea hacia el pozo.

El desarrollo constará de soplar o inyectar agua a presión mediante barras de menor diámetro (1" o 2") que la tubería del pozo. En el momento que se aprecia que le agua sale limpia a la superficie, se dará por finalizado el ensayo.

Posteriormente, se medirá la profundidad de las gravas en el espacio anular y, en el caso de haber descendido, se volverá a inyectar hasta la profundidad determinada.

Los primeros tres metros del espacio anular y, como mínimo a un metro sobre el tramo ranurado a mayor cota, se rellena con material impermeable (mezcla de cemento con bentonita) para evitar infiltraciones desde la superficie y que pueden entrar en contacto con las aguas subterráneas. En el caso de que el nivel freático se encuentre a más de 15 m, será necesario instalar un sello impermeable de aproximadamente tres metros sobre el tramo ranurado superior.

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática

La parte superior del piezómetro quedará aproximadamente a 1 m sobre la superficie. La tubería de PVC quedará dentro de una tubería de protección, la cual será de acero para evitar roturas del piezómetro. Ambas tuberías deberán tener tapa, instalándose un candado en la tubería de protección.

Para fijar la tubería de protección, se construirá un brocal de concreto de 1 m x 1 m x 0,2 m, quedando la tubería aproximadamente a 0,8 m sobre el brocal. En los bordes del brocal se instalarán hierros de aproximadamente 1 m de alto para la protección del pozo.

Finalmente, el pozo quedará correctamente señalado, con su identificación a la vista.

En la Figura 3.1-1 ~~Figura 3.1-4~~ se presenta una habilitación tipo para los pozos de monitoreo.

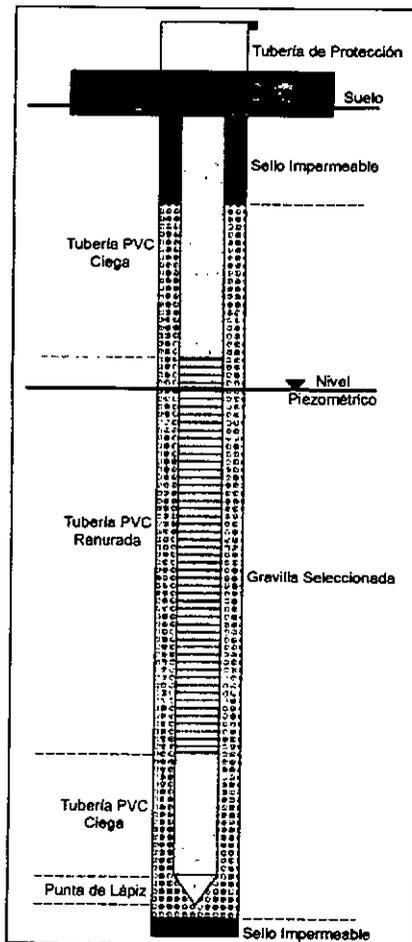


Figura 3.1-1: Diseño de Pozo de Monitoreo.

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática

### Registro de Niveles

Antes del inicio de los registros de niveles, se deberá desarrollar una "Hoja de Terreno" donde se anotará la información tomada de cada punto de monitoreo. La "Hoja de Terreno" tendrá la siguiente información:

HOJA TERRENO - MEDICIÓN MENSUAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS								
PROYECTO:				MES:				
ID	Estado visual	Fecha	Hora	Código Sonda	Altura de Medición (mmsl)	Profundidad de NF (mmsl)	Encargado de Medición	Observación

Figura 3.1-2: "Hoja de Terreno" tipo.

Una vez terminado cada pozo, se realizará la primera medición del nivel piezométrico mediante una sonda hidronivel o medidor de nivel de agua. En esta primera medición, se fijará un punto en la tubería de PVC desde donde se instalará la guía para la cinta de la sonda y que será utilizada para controles en el futuro (Figura 3.1-3). Además, se medirá la altura desde el suelo hasta dichos puntos de medición.



Figura 3.1-3: Guía de cinta instalado en punto de monitoreo.

La medición de los niveles piezométricos será mensual. Los pasos a seguir para la medición mensual de cada punto son los siguientes:

- Una vez en el punto de medición, se rellenará la "Hoja de Terreno" con la información relativa al pozo, tal como identificación y estado en que se encuentra.
- Antes de cada medida, se realizará un control de sensibilidad que ayudará a encontrar el nivel de las alarmas sonora y luminosa adecuadas para la medición. Este control se hará fuera del pozo.
- Posteriormente, y antes de ingresar la sonda en el punto de monitoreo, la sonda será limpiada para evitar contaminación cruzada.
- Abierta la tubería de protección y sacado el tapón de la tubería de PVC, se instalará la guía de la cinta en el punto fijado en la tubería.

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática



- Se ingresará la cinta al pozo por la guía con la finalidad de medir el nivel freático en el centro del pozo y evitar lecturas falsas por humedad o cascadas en la tubería. La guía también tiene como objetivo proteger la cinta de medición ya que el roce con los bordes de la tubería pueden dañarlo o desgastarlo acortando su vida útil.
- Activada las alarmas sonora y luminosa debido al contacto con el agua, se confirmará el valor medición con, a lo menos, tres medidas más, y desde abajo (zona saturada) hacia arriba (zona no saturada).
- La medida confirmada será anotada en la "Hoja de Terreno", junto con la hora de la medida y las observaciones que se pueda tomar de cada punto.
- Terminada la medición y cerrada la tubería de protección, la sonda deberá ser limpiada para evitar contaminación cruzada en el próximo punto medido.

Es importante realizar estas mediciones con la misma sonda hidronivel, teniendo en cuenta su código que quedará explícita en la "Hoja de Terreno". Si por algún motivo se debe cambiar la sonda, esto quedará descrito tanto en la base de datos como en la información de terreno. Además, se compararán los metrajes de ambas sondas de hidronivel con la finalidad de confirmar las posibles diferencias de medidas de nivel que puedan existir.

#### Instrumentación de los Pozos de Monitoreo

Idealmente es instrumentar todos los pozos de monitoreo con *datalogger* o *sensores electrónicos de nivel*, lo cual permitiría tener toda la información digitalizada, sin embargo considerando el costo de la instrumentación se comenzará con la instrumentación de solamente 6 pozos indicados en Tabla 3.1.1, durante el primer año de operación de la concentradora, los cuales podrán demostrar la ventaja de la medición continua, especialmente en las zonas donde hay pozos de terceros que no bombean en forma continua como lo harán los pozos de MLCC.

Se debe tener presente que la instrumentación no libera la necesidad de mediciones manuales, ya que es necesario comprobar periódicamente que los sensores están funcionando correctamente.

Tabla 3.1.1: Pozos para la instalación de Instrumentación.

POZO	AREA	FRECUENCIA
PMR-4	4	24 HORAS
PMR-8	7	12 HORAS
PMR-9	7	12 HORAS
ALGARROBO LA VIRGEN	7	24 HORAS
QUEBRADA CALQUIS	7	12 HORAS
PUEBLO SAN ANTONIO	8	24 HORAS

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática



En líneas generales, estos pozos de monitoreo se encuentran cercanos a pozos de bombeo. La instalación de estos instrumentos permitirá conocer oscilaciones en forma periódica y variaciones locales relacionados principalmente a potenciales cambios en caudales de bombeo.

La recopilación de las mediciones deberá ser mensualmente mediante la toma de datos desde el *datalogger*, también deberá realizarse la revisión del equipo, el estado de la batería para el mes siguiente y medición manual con la finalidad de confirmar su correcta medición.

Es importante destacar que, independiente de la instalación de *datalogger* en los puntos de monitoreo, se deberá mantener el registro mensual de niveles de todos los pozos con la finalidad de confirmar si las mediciones periódicas en los puntos instrumentados son correctas.

#### Base de Datos

A partir de la recopilación mensual de datos desde la "Hoja de Terreno" y *datalogger* se deberá rellenar una base de datos con toda la información colectada.

Con la información mensual en la base de datos, se podrá conocer las posibles variaciones de los niveles piezométricos de cada punto de monitoreo en el tiempo mediante el desarrollo de gráficos que ayudarán a definir los potenciales pozos de bombeo que pueden influenciar en estas oscilaciones.

La información de niveles entregada por los pozos es clave para la calibración anual del modelo hidrogeológico.

## 4 Curvas de Descenso

El Plan de Manejo entregado por MLCC en el EIA considera realizar el bombeo de los pozos de MLCC de forma tal que no se produzcan descensos mayores al umbral definido, correspondiente a más de 20% sobre lo estimado por el modelo, mínimo 1 metro, de lo contrario se activará la redistribución de caudales indicada en el plan de manejo dinámico (PMD). Tampoco el efecto corregido en La Puerta podrá superar los 310 L/s, y si no comenzará el aporte adicional de hasta 18 L/s de dos manera posibles: a) disminuyendo el consumo a 500 L/s, o b) incrementando el aporte de agua desalada hasta de 18 L/s.

Se debe tener presente que tanto la fluctuación de niveles del agua subterránea como el caudal del Río Copiapó en La Puerta no son dependiente solamente del bombeo de los pozos sino que de diversos factores, siendo la explotación por bombeo uno de ellos. La fluctuación de los niveles del agua subterránea, aguas arriba del Embalse Lautaro, será dependiente del bombeo y del caudal del río que recarga el acuífero por estar en contacto con él. A su vez el caudal del río es dependiente de las precipitaciones en la cuenca que de ser mayoritariamente pluviales provocarán crecidas en invierno en cambio si las precipitaciones nivales son las predominantes, las mayores crecidas se producirán en la época de deshielo. Aguas debajo del Embalse Lautaro, los niveles del agua

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática

subterránea serán dependientes de la forma de funcionamiento del embalse y del volumen de las extracciones por bombeo.

Debido a esto se ha propuesto la formulación de familias de curvas generadas por un modelo hidrogeológico numérico calibrado. La idea es que la familia de curva abarque las situaciones más típicas de situaciones que inciden en el comportamiento de los niveles del agua subterránea y caudal en La Puerta, por ejemplo, caudales de entrada al valle, variables función de determinado % de excedencia, o la variación de las extracciones para riego acorde al tipo de año hidrológico.

Una vez obtenidas las curvas de descenso en las áreas donde operarán los pozos de bombeo de MLCC, áreas 4, 5, 7 y 8, ellas servirán de patrón de comparación que permitirá decidir si se ha llegado al umbral definido para activar el PMD. Para la comparación se debe escoger la curva correspondiente a las condiciones observadas (tipo de año hidrológico, nivel de bombeo de terceros, manejo del Embalse Lautaro, etc.).

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática



### SRK Registro de Distribución

No. de Informe:

Revisión:

Emitido Para:

No. de Copia:

Nombre/Cargo	Empresa	Copia(s)	Fecha	Elaborado por	Firma
H. Muñoz	MLCC	Digital			
SRK	Archivo	Digital			

Revisión Técnica:

Jefe de Área:

Firma de Aprobación para envío a Cliente:

Este informe está protegido por derecho de autor por parte de SRK Consulting. Prohibida su reproducción o transmisión en cualquier forma o por cualquier medio a cualquier persona sin previa autorización escrita de SRK Consulting.

### Control de Cambios

No. de Proyecto:

No. de Copia:

Fecha	Rev	Cambio(s)	Elaborado por	Firma

Firma de Aprobación:

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática

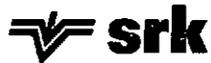


**Respuesta al Ordinario DGA  
Atacama N° 470/13 respecto al Plan  
de Monitoreo CANTIDAD  
Proyecto Caserones**

Informe Preparado para

**SCM Minera Lumina Copper Chile**

Informe Preparado por



SRK Consulting (Chile) S.A.  
02-2161-09  
Octubre 2013

# **Respuesta al Ordinario DGA Atacama N° 470/13 respecto al Plan de Monitoreo CANTIDAD**

## **Proyecto Caserones**

**SRK Consulting (Chile) S.A.**  
Av. Vitacura 2939, Piso 5  
Las Condes - Santiago  
Chile

e-mail: [santiago@srk.cl](mailto:santiago@srk.cl)  
website: [www.srk.cl](http://www.srk.cl)

Tel: +(56-2) 2489 0800  
Fax: +(56-2) 2489 0801

**Número Proyecto SRK 02-2161-09**

**Octubre 2013**

**Compilado por:**

Álvaro San Martín  
Senior Engineer (Hydrogeology)

Email: [asanmartin@srk.cl](mailto:asanmartin@srk.cl)

**Autores:**

A San Martín, O Suzuki

**Revisado por:**

Osamu Suzuki  
Principal Hydraulic Engineer  
(Hydrogeology)

**Con formato:** Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática

## Tabla de Contenidos

1	Introducción .....	3
1.1	Objetivo General .....	3
2	Respuestas Sobre Cantidad de Recursos Hídricos .....	4
1	Introducción .....	18
2	Definición de Áreas .....	18
3	Pozos de Monitoreo .....	21
3.1	Características de los pozos de monitoreo .....	2724
4	Curvas de Descenso .....	3128

## Apéndice

Apéndice A:Capitulo de Cantidad de Aguas del Plan de Monitoreo Robusto

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática

# 1 Introducción

El proyecto Caserones, de SCM Minera Lumina Copper Chile (MLCC), fue 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.

En noviembre del 2012, MLCC hizo llegar a la autoridad ambiental el Plan de Monitoreo del Recurso Hídrico del Proyecto Caserones en donde se expuso la forma en que la minera controlaría la variable cantidad y calidad de agua donde se desarrolla el proyecto.

Mediante el Ordinario DGA Atacama N° 470/13 del 11 de julio de 2013, la autoridad expone algunas inquietudes y solicita aclarar algunas temas respecto al Plan de Monitoreo planteado.

MLCC ha solicitado a SRK Consulting (Chile) que realice los estudios necesarios para dar respuesta al Ordinario N° 470/13, documento que se identificará a continuación como Plan de Monitoreo Robusto referido a la disponibilidad y cantidad del recurso hídrico.

El presente reporte conserva la estructura establecida en el ordinario antes citado en donde se plantean 14 preguntas referidas a la variable cantidad de los recursos hídricos. En el cuerpo de este reporte se hace referencia a un apéndice en donde se presentan algunos temas técnicos específicos que ha sido necesario desarrollar para dar una respuesta concluyente a cada pregunta.

## 1.1 Objetivo General

El objetivo del presente documento es dar respuesta a las inquietudes referente al monitoreo de los recursos hídricos expuestas en el Ordinario DGA Atacama N° 470/13 para la variable cantidad de agua, y que constituirán parte del denominado Plan de Monitoreo Robusto (PMR).

## 2 Respuestas Sobre Cantidad de Recursos Hídricos

- a) *En el numeral 3.2 del Plan, el Titular indica que (Textual) "...dentro de la información básica para realizar la actualización completa de la modelación es imprescindible utilizar información que es proporcionada por la autoridad, lo cual representa una restricción para proceder con la actualización anual."*

*Al respecto, cabe señalar al Titular que, la cabal ejecución de las obligaciones o exigencias contenidas en la correspondiente RCA dependen única y exclusivamente del Titular del Proyecto, por lo cual, en el ámbito de ejecución de la medida, lo que se persigue es no establecer restricciones a priori. Dentro de aquel orden de ideas, lo que se espera es que el Titular levante toda aquella información que sea necesaria para los fines del cumplir con una determinada exigencia ambiental, en este caso, la actualización del modelo hidrogeológico asociado al área de influencia de su Proyecto. Lo anterior por supuesto, es sin perjuicio de la disponibilidad de información oficial registrada por esta Dirección a través de su red hidrométrica, la cual por cierto el Titular podrá requerir a través de los canales formales debidamente establecidos para esos efectos.*

### Respuesta:

Acogiendo lo indicado por la autoridad, MLCC integrará los pozos de monitoreo de la red DGA a la red de monitoreo de la Compañía con el objetivo de obtener la información básica necesaria para la actualización del modelo hidrogeológico y otros cumplimientos ambientales.

Para ello se tendrán las siguientes consideraciones:

- La medición de las estaciones de aforo se incorporarán a la red de monitoreo de MLCC, dejando establecido que los valores de caudal que obtenga, tendrán un carácter de preliminar hasta que la DGA haga público los valores oficiales, una vez validados y/o corregidos los datos de acuerdo a los ajustes de las respectivas curvas de descarga de cada estación de aforo.
- MLCC tendrá medidores de flujo en todos sus pozos de bombeo, sin embargo no puede exigir a los particulares que cuenten con dicha instrumentación.
- Ante la falta de la información de uso de pozos por terceros, en la modelación se asumirá un consumo basado en la superficie de riego.

- b) *Respecto de lo indicado en el numeral 3.4 del Plan, sobre contrastación de valores reales vs modelo, se hace presente que, el Titular debe considerar el monitoreo de niveles de aguas subterráneas tanto para el seguimiento a nivel regional como local de los sectores hidrogeológicos en los cuales proyecta explotar los pozos MLCC. Lo anterior, por cuanto revisado el Plan, no se observa un detalle ordenado, preciso y descriptivo de este programa de monitoreo. Por su parte, el Titular no presenta ninguna descripción sobre el equipamiento que será utilizado tanto para el monitoreo de los pozos de explotación MLCC como para los respectivos pozos de observación. A su vez, el Titular tampoco detalla cuál será la logística operativa de registro, recopilación y análisis de datos. Sobre esta materia, se hace notar que, el Titular debe contemplar un grado avanzado en la sofisticación de la instrumentación que utilice para los efectos de medir las variables asociadas a los pozos de*

*explotación MLCC como sus correspondientes pozos de observación, asegurando un monitoreo preciso, exacto, continuo y ágil en la recopilación y disposición de registros para la toma de decisiones respecto del modelo de explotación.*

**Respuesta:**

En el APÉNDICE A, se presenta el capítulo de Cantidad de Agua del Plan de Monitoreo Robusto rediseñado de acuerdo a las ideas e inquietudes planteadas por la DGA en su Ordinario DGA Atacama N° 470/13. En él se detalla el programa con la ubicación de los pozos de monitoreo que conformarán el Plan, sus características generales constructivas, la instrumentación y protocolo de medición y registro de datos medidos.

En términos generales se puede señalar que el control de nivel en los pozos de monitoreo se realizará de dos formas, manual mediante una sonda de hidronivel con una frecuencia mensual en toda la red de pozos y además mediante monitoreo continuo mediante sensores electrónicos de nivel (datalogger) con frecuencias de 12 y 24 horas en los pozos ubicados en áreas donde coexistan pozos de bombeo de MLCC y de Terceros. Los pozos de bombeo estarán instrumentados con sensores de nivel para llevar el control del nivel dinámico y flujómetro que registre la cantidad de metros cúbicos bombeados.

La información de los pozos de bombeo, nivel y caudal, llegará en forma remota a la sala de control general de proceso y será registrada en una base de datos específica, en tanto que la información de niveles de los pozos de la red de monitoreo se procesará en forma mensual desde las planillas de terreno y/o desde los datos extraídos de los datalogger.

- c) *Asimismo, en el mismo numeral 3.4, el Titular señala que (Textual) "...Dentro del valle existen pozos de monitoreo que cumplen estas condiciones, unos que pertenecen a la Dirección General de Aguas (DGA) y otros pozos de MLCC." Al respecto, se precisa al Titular que, dentro de las funciones de mantener y operar la red hidrométrica nacional, es que esta Dirección incorpora en dicha red la medición de niveles piezométricos de determinados pozos, lo cual no implica que estos le pertenezcan, sino que, con la debida autorización de acceso a las propiedades donde se encuentran habilitados estos sondajes, este Servicio procede regularmente con la medición programada de niveles de aguas subterráneas.*

**Respuesta:**

Se aclara que MLCC al referirse a los pozos de monitoreo "que pertenecen a la DGA" se refiere a los pozos que la DGA considera dentro de su red de monitoreo de las aguas subterráneas del valle de Copiapó.

- d) *En el numeral 3.5 del Plan, el Titular señala que (Textual) "Los descansos reales que se vayan observando se irán contrastando contra los descensos teóricos esperados según lo previsto por las simulaciones del Modelo Hidrogeológico desarrollado por el Proyecto. Cuando el descenso observado en cada área se considere fuera de lo esperado, con un descenso medido en los pozos de observación, superior al 20% por sobre lo proyectado en el modelo hidrogeológico presentado por el*

*Titular, con un descenso mínimo de 1 m/año, definiendo así el umbral para que el Plan de relocalización de las extracciones se inicie, llamado Plan de Manejo Dinámico (PMD) en el EIA del proyecto, de manera de permitir que los niveles del área afectada se recuperen."*

*Sobre lo planteado, cuando el Titular hace referencia a "áreas", no define cuáles serían dichas áreas. Al respecto, se hace presente que, el Titular debe definir áreas de explotación vinculadas a zonas de observación, constituyendo aquello un aspecto básico y fundamental para los fines de realizar un seguimiento personalizado y dedicado sobre el comportamiento en el tiempo de los niveles de aguas subterráneas de un determinado sector sujeto a monitoreo, pues en virtud de dichas áreas es que luego pueden definirse puntos y/o líneas de pozos de observación que permitan evidenciar directamente las variaciones que logre experimentar el nivel freático en los puntos de control producto de la perturbación generada por la explotación de los pozos MLCC.*

**Respuesta:**

En el APÉNDICE A, se presenta el capítulo de Cantidad de Agua del Plan de Monitoreo Robusto rediseñado de acuerdo a las ideas e inquietudes planteadas por la DGA en su Ordinario DGA Atacama N° 470/13. En él se detalla explícitamente las 8 áreas en las cuales se ha dividido el área de monitoreo. Las áreas de monitoreo se han definido de acuerdo a una combinación de criterios de los cuales las principales consideraciones son las siguientes:

- Pozos de bombeo de MLCC existentes en el sector (cantidad y ubicación)
- Pozos de bombeo de Terceros en el sector (efectos sobre los descensos de nivel)
- Valle principal o valle lateral afluente (Importancia del acuífero)
- Ancho del valle (Mayor o menor transmisividad)
- Fluctuación de niveles (Profundidad de los pozos de monitoreo)
- Características hidrogeológicas generales (Trasmisividad, nivel estático, tipo de acuífero)

Un aspecto general de importancia es considerar cómo detectar y medir el efecto que se desea monitorear y en ese sentido se debe tener espacio para poder instalar piezómetros capaces de detectar los siguientes fenómenos:

- Descenso por bombeo de MLCC
- Descensos por bombeo de Terceros

Los descensos generados por los pozos de MLCC serán registrados en pozos que puedan monitorear efectos regionales, para lo cual deberán estar ubicados fuera del radio de influencia del bombeo, en cambio los que tengan como objetivo monitorear el efecto del bombeo de Terceros podrán ubicarse cercanos a éstos. Los antecedentes generados permitirán mejorar la información de descensos regionales, lo que permite un mejor ajuste del modelo numérico al comportamiento real del acuífero y la información del bombeo de terceros también contribuirá a mejorar el modelo numérico, ya que aportará información que en la actualidad se desconoce aun cuando no cumpla con el requerimiento ideal que sería el contar con el consumo real de los pozos de terceros.

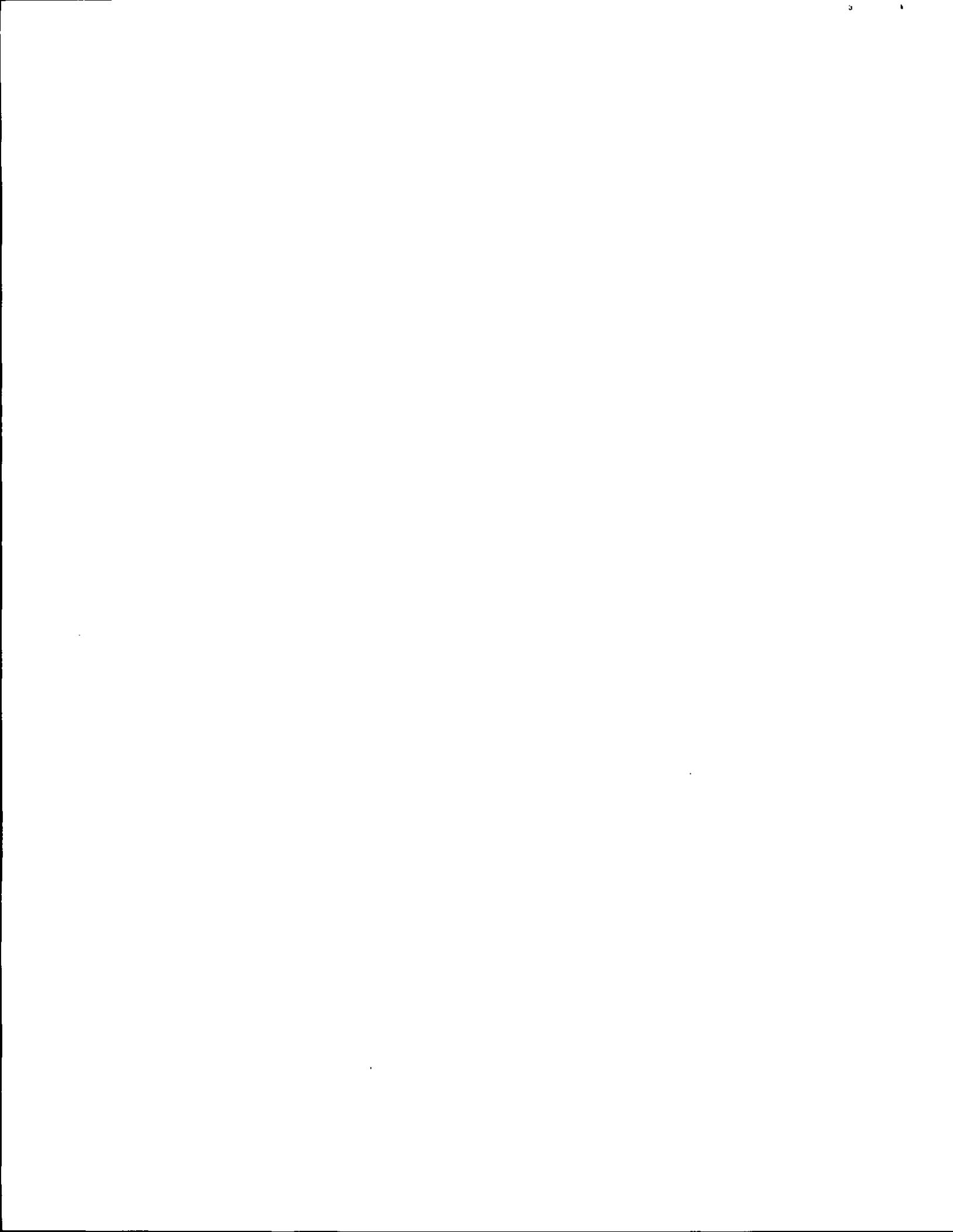


En la respuesta del literal g) se explica en detalle cómo determinar cuándo activar el PMD. Se puede señalar que el umbral de activación es el mismo señalado en la RCA del Proyecto, pero para determinar cuándo se ha llegado al umbral de activación, los descensos observados se compararán con la curva de la familia de curvas determinadas para el área específica que represente las condiciones reales relativas al año hidrológico y de las extracciones por bombeo de MLCC y terceros. Una curva de descenso proyectada única no es posible considerarla como una herramienta adecuada ya que no considera todas las variables no predecibles de un año para el siguiente, tales como hidrología, extracciones propias, manejo del embalse Lautaro y demanda de terceros.

- e) *Por su parte, respecto de la Figura N°6 incluida en el Plan, sobre un plano de pozos de monitoreo de niveles, cabe hacer notar al Titular que, dicho plano corresponde a una imagen presentada en formato carta y en baja resolución, a partir del cual obviamente no es posible visualizar con claridad la información ahí contenida. Así, lo que se requiere es que el Titular acompañe un plano en detalle del área de influencia del Proyecto en formato A0, diseñado a escala adecuada e impreso en óptima resolución, el que contenga al menos la siguiente información: Delimitación acotada de las zonas de explotación MLCC con su correspondiente individualización; Identificación de pozos de explotación MLCC por zonas de explotación MLCC; Identificación de todos los pozos de explotación circundantes (Pozos de explotación de terceros) a pozos de explotación MLCC y las distancias a estos últimos, considerando para ello un radio mínimo de influencia de 2,0 km por cada pozo de explotación MLCC; Identificación de pozos de observación por cada zona de explotación MLCC; Para cada zona de explotación MLCC, identificación de distancia entre pozos de observación respecto de pozos de explotación MLCC; Delimitación en planta de la zona acuífera para cada zona de explotación MLCC; Perfil hidrogeológico longitudinal principal asociado a cada una de las zonas de explotación MLCC; Identificación de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas asociados a cada uno de los pozos de explotación MLCC, así como los correspondientes caudales de extracción proyectados a explotar; Identificación de cada uno de los pozos de explotación MLCC que conforman las extracciones que gatillan la activación del Plan de Manejo Dinámico (PMD), identificando los respectivos derechos de aprovechamiento, así como los caudales de explotación previsible de explotar con motivo de la activación del PMD; Indicación de la variabilidad natural de descensos en cada uno de los pozos de observación que conforman el presente Plan; Trazado de acueducto de impulsión de agua fresca, incluyendo puntos de impulsión y centros de destino del recurso transportado, así como los empalmes correspondientes a dicho ducto de cada uno de los pozos de explotación MLCC y aquellos asociados al PMD; entre otros aspectos relevantes que ilustren en forma panorámica el Plan en cuestión. Asimismo, se solicita al Titular acompañar un detalle descriptivo de la regla de operación del sistema de explotación de aguas subterráneas que contempla realizar desde la zona acuífera de los sectores hidrogeológicos N°1 y N°2 de la cuenca del Río Copiapó, así como, la justificación detallada del número y la distribución de los pozos de observación contemplados para cada zona de explotación MLCC. Al respecto, cabe subrayar que, todo lo anterior debe ser presentado por el Titular en línea con lo expresado con las observaciones y precisiones expuestas en el presente Oficio.*

**Respuesta:**

De acuerdo a lo expuesto por la Autoridad, se adjunta plano con la red que llevará el agua desde los pozos hasta la planta. En este plano se puede ver las tuberías de aducción y las estaciones de bombeo. Una vez finalizada la construcción de los pozos de monitoreo se entregarán mapas de cada



área con la información de los pozos existentes con sus características principales constructivas y de derechos otorgados.

- f) *Del mismo modo, también en el numeral 3.5 del Plan, el Titular plantea que (Textual) "Dado que la evolución de los niveles en el acuífero serán producto, además de las extracciones que realice MLCC, de las extracciones efectuadas por terceros y de la variabilidad hidrológica imperante, resulta fundamental una vez detectada la desviación que gatilla el PMD, establecer si la causa corresponde a extracciones producidas por MLCC, ya que sólo en ese caso se deberá iniciar el PMD. Para ello se deberá preparar un informe a la DGA. Este informe debe indicar las causas y los pasos a seguir, que pueden ser desde una actualización del modelo considerando las nuevas condiciones externas o bien, una relocalización de las extracciones de Caserones."*

*En relación a ello, se hace notar que, conforme se establece en el Anexo N°27 de la Adenda N°3 del EIA del Proyecto en cuestión, el Plan de Manejo Dinámico (PMD) se resume básicamente en la movilidad de extracciones frente a la superación de umbrales definidos en el mismo PMD, ello desde una zona de explotación MLCC afectada por dicha superación hacia una zona de explotación MLCC que no experimenta tal desviación. Asimismo, en el señalado PMD, se enfatiza el caso que, si el ejercicio de derechos de aprovechamiento en estas últimas zonas es insuficiente para los efectos de abastecer de agua fresca al Proyecto, se establece como medida, la solicitud por parte del Titular la prorrata de los recursos hídricos subterráneos para los sectores hidrogeológicos N°1 y N°2 antes señalados.*

*De esta forma, cabe tener muy presente entonces que, la activación del PMD se remite a la extracción de aguas subterráneas desde la misma fuente, cuyos umbrales de activación se asocian a la ocurrencia de desviaciones no esperadas en el nivel freático de las zonas acuíferas que pretende explotar el Titular, lo que por cierto gatilla su puesta en marcha. En ese sentido, y en particular sobre la reducción temporal del ejercicio de derechos de aprovechamiento en los sectores hidrogeológicos sujetos a explotación MLCC planteada en el PMD, se hace presente al Titular, la opinión técnica sobre la componente ambiental de cantidad de recursos hídricos sostenida por este Servicio a través de cada uno de sus pronunciamientos emanados con motivo de la evaluación ambiental del Proyecto de maras.*

**Respuesta:**

Respecto a esta opinión de la DGA, MLCC respondió en reiteradas ocasiones durante el proceso de evaluación ambiental, en base a lo establecido por el ordenamiento legal vigente en el país (ver respuesta 19 de la sección 6 de la Adenda N°1, respuestas 5.1, 5.9, 5.17 de la sección 6 y 7.1 de la sección 7 de la Adenda N°2 y respuesta 1.20 de la sección 6 del a Adenda N°3).

Sin perjuicio de lo anterior, se reitera que los aspectos legales y conceptuales que respaldan la posición del titular son los siguientes:

1. La interpretación de la Ley 19.300, en relación a los impactos ambientales de los proyectos, debe acotarse, cuando corresponde, a lo detallado para este fin en el D.S. 95/2001, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

2. El artículo 6 del Reglamento del SEIA detalla los aspectos que deben ser considerados para efectos de evaluar si se generan o presentan los efectos adversos significativos a que se refiere el artículo 11º, letra b de la Ley 19.300.
3. Habiéndose analizado detalladamente todas las letras del artículo 6 del reglamento, donde se presentan los criterios específicos, se concluye que el Proyecto no genera o presenta ninguno de los efectos, características o circunstancias en éste señalados.
4. El titular posee derechos consuntivos, permanentes y continuos en una cantidad mayor a la que utilizará en el desarrollo del Proyecto. Los derechos de aprovechamiento de aguas constituidos en conformidad a la ley, presuponen un exhaustivo cálculo por parte de la Dirección General de Aguas de la disponibilidad del recurso que lo sustenta, de forma que la cantidad asignada fue previa y técnicamente evaluada a nivel de acuífero, de manera de acreditarla física y legalmente para no afectar derechos de terceros.
5. En la legislación chilena de aguas, todos los derechos de aprovechamiento permanentes y definitivos son iguales, no existe un orden de prelación o privilegio a favor de un derecho por sobre otro.
6. De esta forma, en una cuenca en la cual existan derechos, la explotación de las aguas no implica un nuevo análisis o cuestionamiento de su sustentabilidad. La falta o escasez del recurso para satisfacer todos los derechos constituidos sobre una cuenca o acuífero en un momento determinado o permanentemente, implica exclusivamente que se deberá distribuir el caudal existente en partes alicuotas entre todos los titulares de derechos permanentes. La ley ha previsto esta circunstancia señalando que los derechos deben ejercitarse en forma alicuota o a prorrata de sus respectivas magnitudes, artículos 17 y 62 del Código de Aguas. El que deba implementarse esta acción, no implica que exista un impacto ambiental, sino que ya sea por razones de oferta, o demanda, el balance hídrico asumido por la DGA para la asignación de derechos de aprovechamiento, ya no es el apropiado.

En definitiva, de acuerdo a la legislación vigente, el Proyecto Caserones no genera o presenta impactos ambientales asociados a la extracción de agua desde los pozos ubicados en la zona alta de la cuenca del río Copiapó.

- g) *Por su parte, es del todo relevante además hacer notar que, en relación al monitoreo a escala local en las zonas de explotación MLCC, el Titular debe considerar necesariamente la delimitación de zonas de monitoreo u observación que permitan diferenciar claramente entre el pulso generado por las explotaciones de aguas subterráneas MLCC, y aquellas perturbaciones producidas por otras explotaciones existentes en las inmediaciones de los pozos de explotación MLCC (Pozos de explotación de terceros), definición que por cierto no se presenta en el Plan. Así, atendido al hecho que en las zonas desde las cuales el Titular pretende abastecerse de agua fresca para el citado Proyecto (Sectores hidrogeológicos N°1 y N°2 del acuífero de la cuenca del Río Copiapó), existe un número importante de captaciones de aguas subterráneas distintas a los pozos de explotación MLCC, el Titular debe necesariamente efectuar una discretización de sus zonas de explotación, ello en términos de establecer aquellas zonas que presentan una mayor o menor densidad de captaciones de terceros, y con ello poder establecer una suficiente red de monitoreo. De este modo, el Titular debe establecer su zonificación de explotación distinguiendo zonas de explotación con y sin externalidades significativas, siendo el caso de zonas con dichas externalidades, aquellas que inevitablemente definirán pozos de observación influenciados tanto por la explotación de pozos MLCC como por la explotación de pozos*

*de terceros, y zonas sin esas externalidades, las que corresponden a aquellas que soportarán definir una batería de pozos de observación representativas de la perturbación directa generada por los pozos de explotación MLCC.*

*Para el caso de zonas de explotación MLCC con externalidades significativas, los pozos de observación que se definan, trazarán una depresión compuesta de los niveles de aguas subterráneas en el sector sujeto a monitoreo, cuyo descenso se vinculará a la explotación conjunta entre pozos MLCC y pozos de terceros. En este escenario, se tiene entonces una complejidad importante en la identificación diferenciada de las fuentes de perturbación, lo cual constituye un alto nivel de incerteza del hito activación del PMD u otro, convirtiéndose éste, en un mecanismo cíclico de permanente incertidumbre al momento de determinar si la desviación generada en los niveles de aguas subterráneas en los respectivos pozos de observación proviene o no de la explotación de los pozos MLCC. Bajo este contexto, es que el Titular debe necesariamente proponer un mecanismo preciso de activación del PMD, orientado a discriminar con precisión las fuentes de perturbación, pero no en la lógica de efectuar dicha diferenciación una vez ocurrida la desviación de niveles no esperada tal como lo plantea en su Plan, sino como parte estructurante del diseño de seguimiento.*

*Para el caso de zonas de explotación sin externalidades significativas, el Titular debe establecer una red de monitoreo con puntos y/o líneas de observación que reflejen directamente el efecto de las extracciones desde los pozos MLCC.*

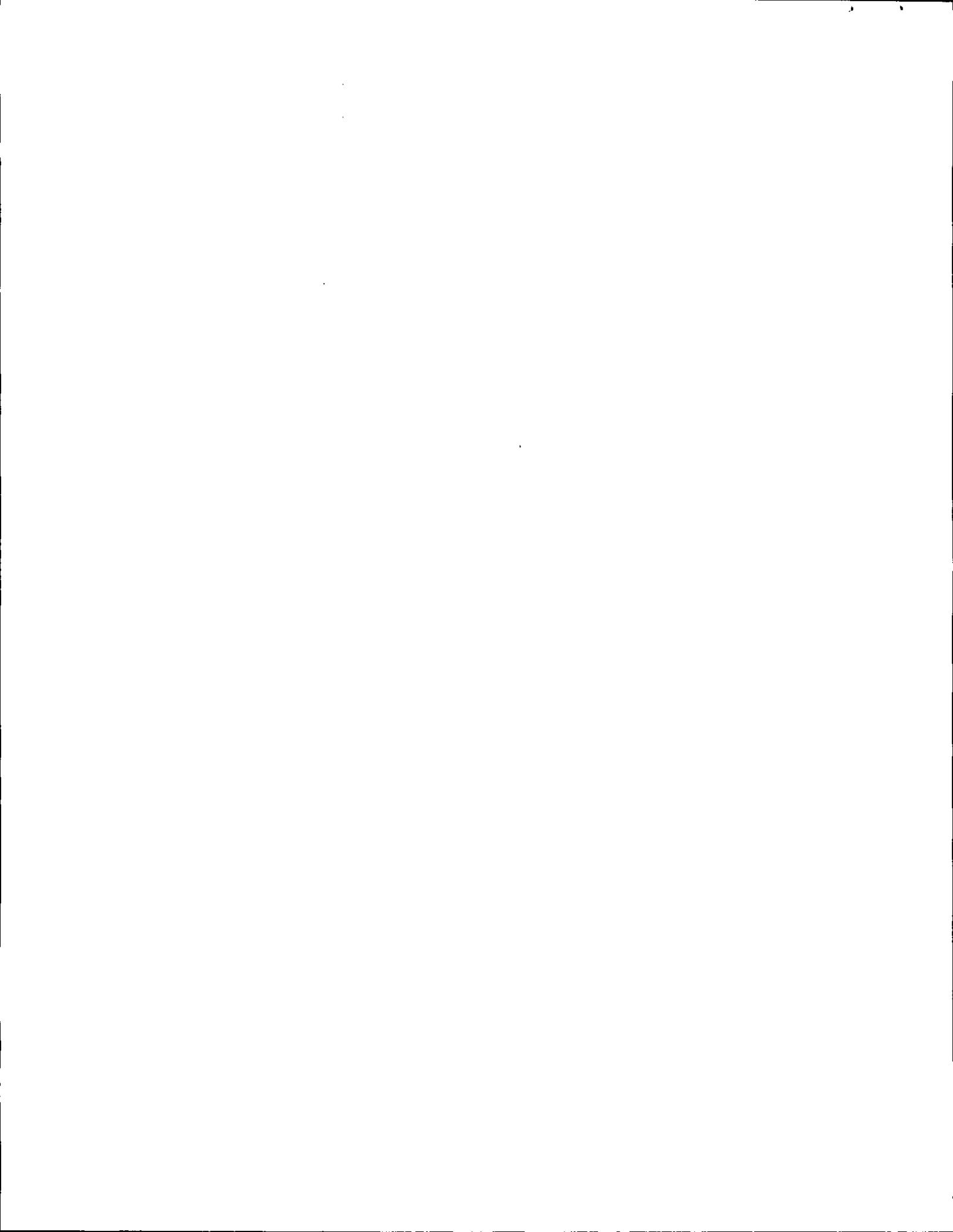
*A mayor abundancia, este Servicio estima entonces que no es oportuno por parte del Titular plantear que, la activación del PMD se encuentre supeditada a establecer, con posterioridad a la ocurrencia de depresiones de niveles no esperados, si ello es producto de las extracciones de MLCC o de las extracciones de terceros, pues aquella diferenciación bien puede ser determinada con antelación a partir de una correcta y representativa definición de zonas de observación, y en forma previa al inicio de la explotación.*

**Respuesta:**

Considerando lo señalado por la Autoridad en este numeral, en el capítulo de Cantidad de Agua del Plan de Monitoreo Robusto (PMR) presentado en el APÉNDICE A, se puede advertir que aguas arriba del Tranque Lautaro se define el Área 4, en esta área todos los pozos existentes son solamente pozos de bombeo de MLCC, condición que facilita el análisis de fluctuación de niveles, en cambio, en el sector aguas abajo del Tranque Lautaro, no es posible definir áreas con un solo tipo de pozos de bombeo, MLCC o Terceros, por lo cual se requiere de pozos de monitoreo que identifiquen el efecto regional y otros para el efecto puntual de pozos de regadío de terceros. Lo mismo sucede en la confluencia con el Río Jorquera.

Tomando las inquietudes planteadas por la DGA se estima que es necesario confeccionar curvas de descenso en pozos que midan las condiciones regionales y que sirvan como mecanismo de activación del PMD. Estas curvas serán diseñadas mediante el modelo hidrogeológico actualizado sensibilizado según los parámetros inciertos y variables año a año como:

- Caudal superficial de entrada
- Manejo del Embalse Lautaro
- Superficie de cultivo/bombeo de terceros



- Extracciones reales de MLCC

Como resultado de la modelación se obtendrá para cada área donde existen pozos de bombeo de MLCC, una familia de curvas que permitirán determinar cuándo activar el PMD de acuerdo a los umbrales fijados, los que se aplicarán a la curva que se ajuste a las condiciones hidrológicas y de consumo del período analizado. Este criterio de confeccionar una familia de curvas de descenso evita tener que esperar la finalización del informe planteado anteriormente y permitiría discriminar la causa de los descensos mayores a los predichos.

- h) *A su vez, se enfatiza al Titular que, un Plan de estas características debe diseñarse de manera personalizada atendida a las condiciones particulares de la fuente, de tal modo que, si lo que se requiere es evaluar en el tiempo las predicciones planteadas en el respectivo modelo hidrogeológico una vez comience la explotación de aguas subterráneas a partir de los pozos MLCC, lo óptimo entonces es contar con el mejor indicador que permita efectuar correctamente ese contraste, cuya condición obliga por lo tanto a definir zonas de observación exentas de factores externos que también incidan sobre la dinámica de niveles freáticos en las zonas de explotación MLCC.*

**Respuesta:**

Dentro del capítulo de Cantidad de Agua del PMR presentado en el APÉNDICE A se han incluido pozos en zonas donde no hay pozos de bombeo de MLCC y pozos que no debería sufrir la influencia de pozos de bombeo alguno, por lo cual deberían entregar el comportamiento acorde al año hidrológico que se registra y que debe ser incluida en la modelación hidrogeológica correspondiente y que a su vez determina las curvas de descensos que se utilizarán para determinar cuándo activar el PMD.

- i) *Por su parte, el Titular plantea que el mecanismo de activación del PMD consiste en elaborar un Informe para ser entregado a la D.G.A., en el que se detallarán las causas que hayan generado una determinada desviación en los niveles de aguas de los pozos de observación definidos en el Plan, y si a partir de ese análisis, se estima que dicha desviación ha sido generada producto de la explotación de los pozos MLCC, ello implicará la activación del denominado PMD. Al respecto, tal como ya se ha expresado en el presente Oficio, esta Dirección estima que, dicha propuesta es confusa y poco oportuna para los efectos de activar correctamente el PMD, pues, en vez de analizar el origen de las desviaciones en los descensos, el Titular debe contar previamente con un diseño de monitoreo de indicadores personalizados de la evolución de los niveles de aguas subterráneas de carácter preciso e inmediato, que para el caso, debe corresponder a uno que comprenda puntos y/o líneas de observación asociadas directamente a las zonas de explotación MLCC y exentas de factores externos, definido tanto para el monitoreo a escala regional como local. De esta forma, es importante mencionar al Titular que, la objetividad y oportunidad son elementos claves en la formulación de un Plan de Alerta Temprana, aspectos no evidenciados en el presente Plan. Por todo lo anterior, se solicita al Titular reevaluar su propuesta.*

**Respuesta:**

Tal como se indicara en respuestas anteriores, el capítulo de Cantidad de Agua del PMR presentado en el APÉNDICE A, contiene los elementos para alimentar adecuadamente al modelo hidrogeológico. Los pozos monitorearán el comportamiento del acuífero por áreas (8 áreas) entregando información del comportamiento regional de los niveles y también el comportamiento frente al bombeo de pozos específicos.

- j) *Sin perjuicio de todo lo señalado precedentemente, cabe indicar que, sobre el listado de pozos de observación indicados en la Tabla N°10 del Plan, el Titular no precisa si dichos pozos corresponden a pozos de observación o a pozos de explotación. Respecto de dicha materia, y para los efectos del presente Plan, los pozos de observación que el Titular contemple en éste deben corresponder a pozos no sujetos a explotación.*

**Respuesta:**

El capítulo Cantidad de agua del PMR presentado en el APÉNDICE A se precisa la ubicación de los pozos de observación que conformarán la red de monitoreo base para definir el comportamiento del agua subterránea del valle. Contiene además las condiciones generales de construcción de los pozos, lo cuales son definitivamente solo de monitoreo.

- k) *En otro orden de ideas, respecto de los efectos en el caudal pasante en la Estación Fluviométrica D.G.A. Copiapó en La Puerta, el Titular indica en el numeral 3.5 del Plan (Textual) "De acuerdo a lo establecido en EIA, en caso que el efecto corregido en La Puerta supere los 310 l/seg, el proyecto aportaría hasta 18 l/seg de dos manera posibles: a) disminuyendo el consumo a 500 l/seg, o b) incrementando el aporte de agua desalada a 118 l/seg en el canal Malpaso.". Asimismo, en la Figura N°2 del Plan, el Titular ilustra el efecto neto que se produciría sobre la escorrentía superficial en la Estación Fluviométrica D.G.A. Río Copiapó en La Puerta con motivo de la explotación de los pozos MLCC. Así, atendida a las limitadas alternativas de reducción de caudales de explotación propuestas por el Titular, como al trazado de la curva que representa el efecto neto del Proyecto mostrada en la Figura N°2 antes citada, este Servicio estima que, el Titular debe presentar un mecanismo de verificación empírica en el tiempo de los caudales teóricos que proyecta dicha gráfica, toda vez que, dicha curva ha sido dibujada sobre la base de una serie de medidas hipotéticas que reducirían el efecto del Proyecto sobre el sistema hídrico de la Cuenca del Río Copiapó.*

**Respuesta:**

En primer lugar se debe señalar que si bien se ha determinado un caudal de afección máximo de 310 L/s en la estación Copiapó en La Puerta, el Proyecto tiene comprometido algunas medidas voluntarias que hacen disminuir el caudal de afección neto hacia aguas abajo del sector La Puerta, tales como el aporte de agua desalada (150 L/s) y el cierre del pozo Deliber 1 (50 L/s).

Por otro lado, considerando la estación fluviométrica La Puerta un punto de control para determinar acciones respecto a la explotación y medidas de compensación, será necesario determinar la curva de descarga proyectada frente al escenario futuro de explotación, pero al igual que las curvas de descenso de niveles en cada área, en La Puerta se generará una familia de curvas de acuerdo a los principales

parámetros que condicionan su flujo (hidrología, volumen almacenado en embalse Lautaro y demanda de terceros). Se utilizará para esto el modelo hidrogeológico actualizado, que es mejorado respecto al presentado en el EIA y que a su vez será perfeccionado cada año al incrementarse la cantidad de información hidrogeológica colectada.

- l) *Así entonces, se espera que el mecanismo solicitado en la letra j) anterior, permita verificar al menos a un paso mensual, la comprobación contrastada en el tiempo de los caudales teóricos graficados en la curva que representa el efecto neto del Proyecto (Figura N°2 del Plan) versus los caudales que efectivamente se registren en la Estación Fluviométrica D.G.A. Río Copiapó en La Puerta.*

**Respuesta:**

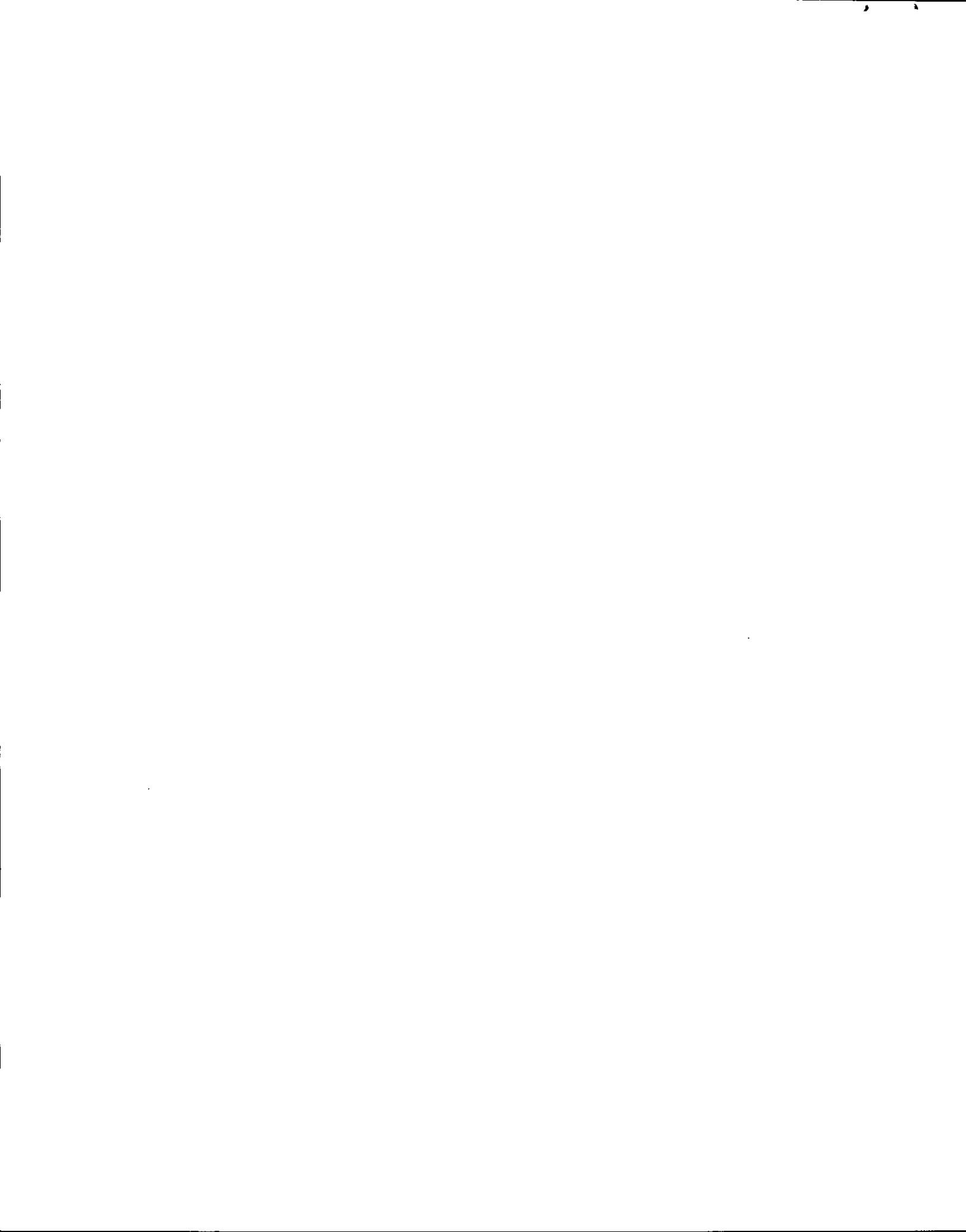
Una vez definidas la familia de curvas de descarga en La Puerta, su aplicación será sencilla e inmediata, siempre que se escoja adecuadamente la curva contra la cual debe contrastarse el dato colectado. Este contraste permitirá determinar de inmediato si los efectos causados por el bombeo de MLCC sobrepasan o no los límites fijados.

- m) *En sintonía con lo anterior, si bien el efecto de las extracciones de aguas subterráneas que se realizarán a partir de los pozos MLCC se evidenciará en una reducción de los caudales de aguas superficiales en el sector La Puerta, dicha disminución restará también flujos de recarga hacia las zonas acuíferas aguas abajo de aquel sector, y por lo tanto, un efecto directo sobre sus niveles freáticos. Por lo tanto, dada la relevancia que reviste este aspecto para el sistema hídrico de la Cuenca del Río Copiapó, y atendido a que el Plan en cuestión no incorpora en modo alguno esta materia, se solicita, en definitiva, al Titular complementar el Plan en términos de establecer zonas de observación o monitoreo de niveles de aguas subterráneas que reflejen en el tiempo el comportamiento de las depresiones que experimenten las zonas acuíferas de los sectores hidrogeológicos aguas abajo del sector La Puerta, teniendo presente por cierto que esa zona constituye también parte del área de influencia del Proyecto.*

**Respuesta:**

Respecto de la sugerencia de monitorear el acuífero aguas abajo de La Puerta, se debe considerar que toda el agua del Río Copiapó es derivada a canales justo aguas abajo de la estación de aforo La Puerta, con lo cual el efecto del río sobre el acuífero no es directo y la recarga del acuífero será función de la pérdida de los canales y el manejo del agua de riego y su uso en generación eléctrica. De esta manera justo en el sector aguas abajo de La Puerta el río es desviado desde el canal La Turbina hacia abajo para su uso en generación eléctrica y riego agrícola. Dado este escenario, este sector no corresponde a área de influencia del proyecto dado que los impactos que pudiesen generarse son independientes de las acciones u obras del proyecto, sino del manejo que desarrollen terceros que poseen derechos superficiales.

De esta forma y dado que los factores que inciden en la variación de niveles bajo La Puerta, dependen de factores externos, la autoridad ambiental no consideró dicha actividad de monitoreo como medida aplicable al proyecto, lo que quedó reflejado en la RCA que aprueba el proyecto Caserones.



n) *Por otra parte, en el numeral 4 del Plan, el Titular señala que, la información asociada a dicho Plan será reportada a la Dirección General de Aguas Región de Atacama. Al respecto, se hace notar al Titular que, conforme se establece en la Resolución SMA (Exenta) N°844, de 14 de diciembre de 2012, la Superintendencia de Medio Ambiente da instrucciones a los Titulares de proyectos con calificación ambiental favorable, sobre la remisión a ese Órgano de la Administración de Estado de la información respecto de las condiciones, compromisos o medidas, que sea por medio monitoreos, mediciones, reportes, análisis, informes de emisiones, estudios, auditorías, cumplimiento de metas o plazos, y en general cualquier información destinada al seguimiento ambiental del proyecto o actividad, según las obligaciones establecidas en su Resolución de Calificación Ambiental. Por lo tanto, el Titular debe ajustar los envíos de información asociados a su RCA en conformidad a lo dispuesto en la precitada Resolución.*

**Respuesta:**

Respecto de lo señalado en cuanto a la entrega de la información de monitoreo colectada y los informes pertinentes y relativos a los compromisos ambientales fijados en la Resolución de Calificación Ambiental, a futuro las entregas se ceñirán a lo señalado en la Resolución SMA (Exenta) N 844 del 14 de diciembre de 2012.

### **Preparado por**

---

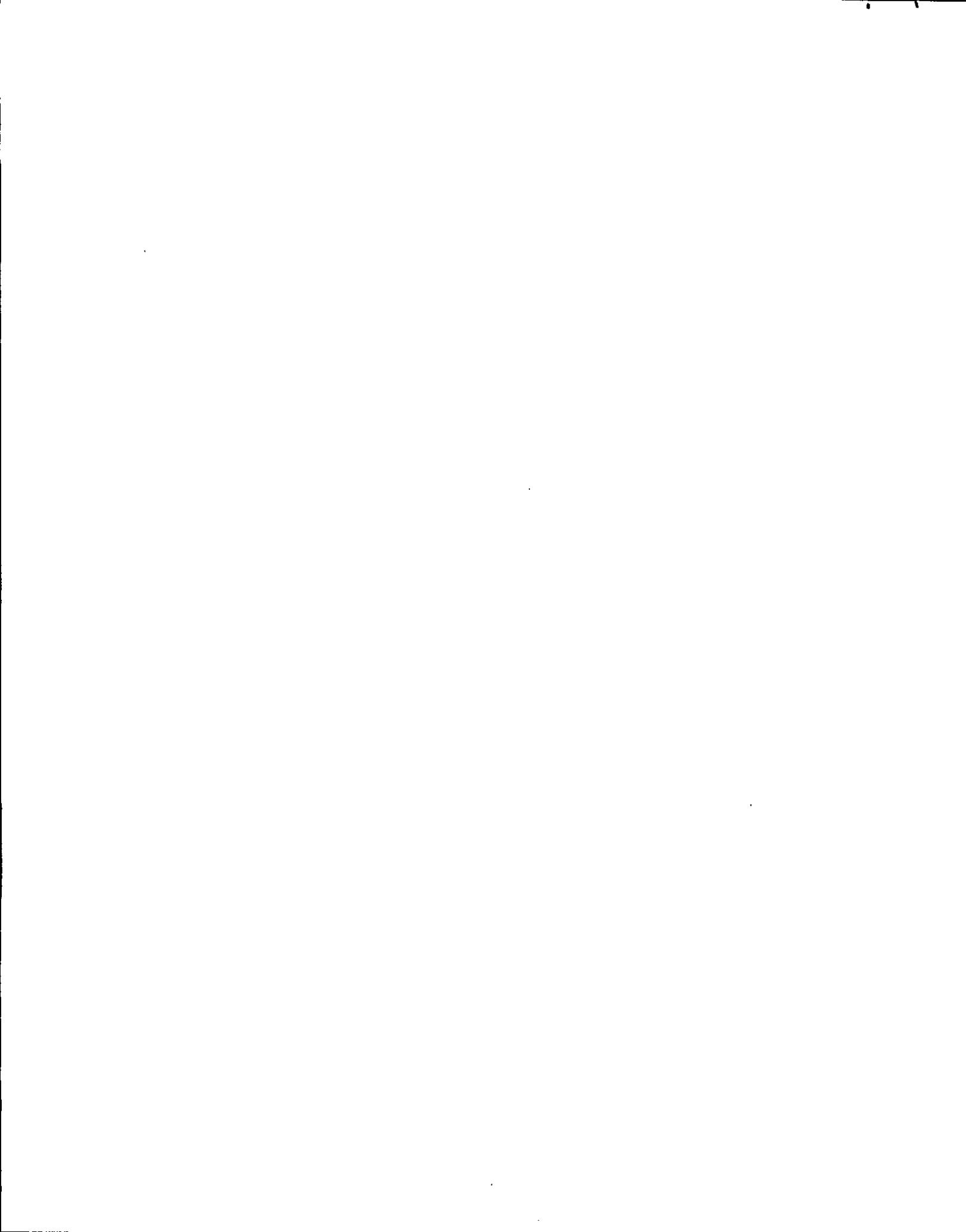
Osamu Suzuki  
Hydraulic Engineer  
Principal Hydrogeologist

### **Revisado por**

---

Alvaro San Martín  
Geographer Engineer  
Senior Hydrogeologist

Todos los datos utilizados como material principal, además del texto, tablas, figuras y adjuntos de este documento han sido revisados y preparados conforme a los estándares profesionales de ingeniería y medio ambiente normalmente aceptados.



## APÉNDICE

**Con formato:** Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática



## Apéndice A: Capítulo Cantidad de Agua del Plan de Monitoreo Robusto

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática

## 1 Introducción

Dentro de las exigencias de la DGA al Plan de Monitoreo Robusto (PMR), está la definición de áreas en las cuales se dividirá el valle del Copiapó desde la Mina Caserones hasta el sector de La Puerta (punto de control fluviométrico). El objeto de dividir el valle es poder llevar un mejor control de los efectos del bombeo que realizará a futuro Minera Lúmina Copper (MLCC) sobre los recursos subterráneos y superficiales del valle.

La idea es poder definir en cada área el momento en que es necesario que el Plan de Manejo los Dinámico (PMD) entre en operación, el cual también se aplicaría por áreas en vez de considerar el valle como una unidad y también definir cuándo el efecto corregido en La Puerta supera los 310 L/s y por lo tanto comenzar con el aporte de 18 L/s de dos maneras posibles: a) disminuyendo el consumo a 500 L/s, o b) incrementando el aporte de agua desalada a 118 L/s.

Es importante tener presente que la variación de los niveles pueden tener su origen no solamente en el bombeo de los pozos de MLCC y Terceros, sino que pueden verse alterados también por los siguientes factores: año hidrológico, acumulación de nieve seguida de un deshielo en período corto de tiempo, varios años seguidos ya sea húmedos o secos y cambio de la superficie plantada (demanda de agua de riego).

## 2 Definición de Áreas

Para definir las áreas se seguirán algunos criterios de diferenciación que deben ser combinados de acuerdo al sector del valle que se esté analizando, por lo cual no siempre los criterios utilizados serán los mismos para definir un área específica.

- Valle principal o valle lateral afluente
- Ancho del valle
- Pozos de bombeo de MLCC existentes en el sector
- Pozos de bombeo de Terceros en el sector
- Fluctuación de niveles
- Características hidrogeológicas generales (T, nivel estático, tipo de acuífero)

Un aspecto general de importancia es considerar cómo detectar y medir el efecto que se desea monitorear y en ese sentido debemos tener espacio para poder instalar piezómetros capaces de detectar los siguientes fenómenos:

- Descenso por bombeo de MLCC
- Descensos por bombeo de Terceros
- Descensos provocados por año hidrológico deficitario
- Descensos provocados por menor entrega de agua desde el Embalse Lautaro

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática

Aguas arriba del Embalse Lautaro la definición de áreas es más sencilla ya que hay sectores donde solo hay pozos de bombeo de Terceros o solamente pozos de bombeo de MLCC, salvo en la confluencia del Río Jorquera.

Aguas abajo del Embalse Lautaro la situación es más compleja ya que no se pueden definir áreas con pozos de un solo usuario, MLCC o Terceros, por lo cual se ha escogido sectorizar preferentemente por características hidrogeológicas. Se advierte que hay un sector donde el valle es más ancho con mejores condiciones hidrogeológicas por un mayor desarrollo del acuífero y otro hacia aguas abajo con un valle más estrecho y probablemente un acuífero de menor potencia. La situación aguas abajo del Embalse Lautaro es de un uso intensivo del suelo cultivable y la existencia de muchos pozos de Terceros que dan la seguridad de riego que deben tener los cultivos de alto rendimiento. También hay muchos pozos que MLCC ha comprado para completar el caudal requerido para su operación.

Visualizando que será bastante difícil distinguir cual o cuales son los pozos que producen un determinado efecto y considerando que MLCC no estará bombeando la totalidad del caudal autorizado (518 L/s) antes del segundo semestre del año 2014 es de suma importancia poder monitorear los efectos del bombeo por riego que realizarán los Terceros en la próxima temporada de riego. Esta información permitiría tener un conocimiento muy valioso sobre el comportamiento del acuífero sin la influencia de MLCC en puntos específicos, antecedentes que serán críticos para determinar la incidencia real del bombeo de MLCC en los próximos años. La red actual de monitoreo entrega una visión general del valle pero no será capaz de entregar la información necesaria para decidir cuándo activar el PMD, especialmente si el valle estará dividido en sectores.

Las Áreas definidas se presentan a continuación.

**AREA 1.** Esta área estará definida como Área Mina, y comprenderá el tramo conformado por el Río Ramadillas hasta su confluencia con el Río Pulido. En esta área solo hay pozos pertenecientes a MLCC y corresponde al sector donde se aplicará el capítulo Calidad del Agua del Plan de Monitoreo Robusto

**AREA 2.** Corresponde al sector del fundo Carrizalillo que comprende al sector del Río Pulido entre la confluencia con el Río Ramadillas hasta la confluencia con el Río El Potro. En el sector solo hay pozos de bombeo de MLCC y el monitoreo tiene como objetivo llevar un registro de los efectos del bombeo en el tiempo, sobre el acuífero del sector Carrizalillo, por lo que bastará con un pozo de monitoreo aguas abajo de los pozos de bombeo.

**AREA 3.** Abarca el tramo del Río Pulido desde la confluencia con el Río El Potro hasta Quebrada Seca. En este tramo solo existen pozos de Terceros, por lo que el monitoreo de los niveles del agua subterránea deberá contar con un pozo de monitoreo a la entrada de este sector con el objetivo de llevar un registro de la influencia de la recarga por crecidas ya sea de lluvias o deshielo. Indicará la condición anual de entrada al valle en cuanto a fluctuación de niveles. En la confluencia con la Quebrada Seca se ha propuesto la instalación de pozos de monitoreo que dará cuenta de la influencia de los pozos de bombeo de Terceros existente en el Área.

**AREA 4.** Corresponde al campo de pozos de MLCC denominado Carrizalillo Chico compuesto por los pozos Carrizalillo Chico 1 al 5 (CCH-1 al CCH-5), en este sector solo existen pozos de MLCC. Los efectos del bombeo del campo de pozos se controlarán mediante el pozo de monitoreo ubicado

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática

al final del Área 3 anterior y otro ubicado a unos 800 metros aguas abajo del pozo de bombeo CCH-5. Entre los pozos de bombeo podrían ubicarse otros pozos de monitoreo pero al estar influenciado por los distintos conos de depresión no reflejarán el comportamiento regional del acuífero y por ello no se considera esa alternativa. Pozos ubicados dentro del campo de pozos tendrán como objetivo monitorear y planificar la operación óptima del grupo de pozos de producción.

**AREA 5.** Sector del Río Pulido desde aproximadamente 1 kilómetro aguas abajo del pozo Carrizalillo Chico -5 (CCH-5), hasta la confluencia con el Embalse Lautaro. En valle del Río Pulido solo hay 1 pozos de bombeo perteneciente a MLCC, por lo cual su efecto se puede controlar con dos pozos de monitoreo, uno ubicado antes de la confluencia con el Río Jorquera y otro aguas debajo de la confluencia. En el sector del Río Jorquera hay pozos de Terceros y un pozo de MLCC, por lo cual es conveniente ubicar un pozo de monitoreo cerca del pozo de MLCC y otro a la entrada del valle para monitorear las variaciones a la entrada del área.

**AREA 6.** Corresponde al Río Manflas hasta la confluencia con el Río Copiapó. La influencia del bombeo de este sector se controlará mediante el pozo de monitoreo de la DGA denominado "Junta Manflas". En este sector solo hay pozos de bombeo de terceros.

**AREA 7.** Río Copiapó desde la salida del Embalse Lautaro hasta la Quebrada Calquis. Este es un sector complejo debido a que además de existir pozos de bombeo de MLCC y de Terceros, Los niveles freáticos están fuertemente influenciados por el Embalse Lautaro.

Esta área será monitoreada por pozos de la DGA y por los de MLCC propuestos en este programa. De la red que controla la DGA se monitorearán los siguientes pozos:

- Embalse Lautaro
- Algarrobo La Virgen
- Quebrada Calquis

Por parte de MLCC se propone un pozo que en conjunto con los dos primeros de la DGA, debería proveer información sobre la influencia del Embalse Lautaro. Los pozos de monitoreo propuestos por MLCC se planean para entregar información sobre la influencia combinada del bombeo de MLCC y de Terceros. El pozo Quebrada Calquis, de la red de monitoreo de la DGA, entregará la información de niveles de entrada al Área siguiente.

**AREA 8.** Corresponde al sector del Río Copiapó entre la Quebrada Calquis hasta La Puerta. Este sector debería mostrar fluctuaciones menores por su condición de sector de recuperaciones. Estará controlada por 4 pozos de monitoreo de la red DGA y 4 de MLCC que se proponen en este programa.

Se controlarán los siguientes pozos pertenecientes a la red de monitoreo DGA

- Pueblo San Antonio
- Vegas El Giro
- Escuela 17 Los Loros
- Fundo La Puerta

En general estos pozos de monitoreo, por su ubicación, monitorearán las condiciones generales de acuífero en términos regionales.

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática

Los propuestos por MLCC deberán ubicarse cercanos a pozos de bombeo de Terceros con la idea de poder evaluar la influencia de los Terceros en el descenso regional y específicamente del Área que están controlando.

### 3 Pozos de Monitoreo

Los pozos de monitoreo deberán entregar la información necesaria para poder determinar cuándo debe comenzar a operar el PMD, situación que estará condicionada a que los efectos no deseados causados por la operación de los pozos de MLCC, lleguen al umbral definido que dispara la aplicación del PMD. Como los descensos del nivel freático no solo dependerán del bombeo de MLCC sino que además del bombeo de terceros, año hidrológico, situación del Embalse Lautaro, comportamiento de las crecidas etc., los pozos de monitoreo deberán estar distribuidos de forma tal que permitan discriminar las principales causas de las fluctuaciones del nivel freático.

Para cada Área se indicará la cantidad de pozos de monitoreo propuestos y su objetivo, se entregará tabla de coordenadas de dichos piezómetros y su ubicación se entregará en el plano del Área respectiva. También se indicará los pozos de monitoreo pertenecientes a la red de monitoreo de la DGA que serán utilizados en la red propuesta.

- Área 1.** Esta Área está comprometida con el monitoreo de calidad del capítulo Calidad de Agua del Plan de Monitoreo Robusto, por lo cual no se considerará en este capítulo.
- Área 2.** En esta Área se ha planeado el pozo de monitoreo PMR-1 ubicado aproximadamente 230 metros aguas abajo del pozo WP-04.
- Área 3.** Los pozos planeados para esta Área son los siguientes:
- Pozo PMR-2, ubicado aproximadamente 700 metros aguas arriba de la confluencia con la Quebrada La Delfina
  - Pozo PMR-3 en Iglesia Colorada
  - Pozo PMR-4 frente a Quebrada Seca
- Área 4.** El pozo propuesto que medirá la influencia del bombeo de los pozos de producción de MLCC existentes en el área, será el pozo PMR-5 localizado aproximadamente 850 metros aguas abajo del pozo de bombeo Carrizalillo 5 o CCH-5. Si hubiese efectos negativos hacia aguas arriba, ellos serán detectados por el pozo PMR-4.
- Área 5.** Este sector sería controlado por cuatro pozos de monitoreo.
- Pozo PMR-6, se propone ubicarlo aproximadamente 1 kilómetro aguas arriba de la confluencia del Río Jorquera con el Río Pulido. Podrá monitorear los efectos de los pozos de Tercero existentes hacia aguas arriba.
  - Pozo PMR-7, se propone ubicarlo en el borde poniente de la confluencia de los ríos Jorquera y Pulido. Entregará información sobre los efectos combinados del bombeo de los pozos de Terceros en la zona y el pozo Fundo Rodeo de MLCC localizado en el valle del Río Jorquera. Si la situación es muy compleja, a futuro se decidirá la necesidad de contar con una mayor cantidad de pozos de monitoreo.
  - Pozo PMR-8, se propone ubicarlo en la parte alta del Jorquera, con el objeto de registrar las variaciones de nivel del agua subterránea a la entrada al valle del Río Jorquera.

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática

- Pozo PMR-9, en Fundo Rodeo, permitirá un mayor detalle de los efectos del bombeo de MLCC y Terceros en el valle del Río Jorquera.

**Área 6.** Esta área corresponde a la parte baja del valle del Río Manflas, donde solamente hay pozos de Terceros. El efecto del bombeo de estos pozos podrá ser monitoreado por el pozo PMR-10 localizado en la junta del Río Manflas con el Río Pulido.

**Área 7.** En este sector se debe contar con pozos de monitoreo que entreguen información sobre la situación de niveles por influencia del Embalse Lautaro, por efecto del bombeo de MLCC y por efecto del bombeo de Terceros. Como se aprecia, la situación es muy compleja y por lo tanto se requiere de un mayor número de pozos, por lo que se propone controlarla con 6 pozos de observación.

- Pozo PMR-11, se propone ubicarlo como a 850 metros aguas abajo del Embalse Lautaro, está planificado para monitorear los efectos del Embalse.
- Pozo PMR-12 se ubica cerca de Pozos MLCC Norte Verde, monitoreará principalmente el efecto de 4 pozos de MLCC.
- Pozo PMR-13, se propone ubicarlo al llegar a la confluencia con Quebrada Calquis, debería medir los descensos más regionales y producidos por MLCC, cuyo bombeo es continuo durante el año.
- Pozo PMR-14, ubicado al pie del muro del Embalse, es de propiedad de la DGA. Su monitoreo está relacionado con el conocimiento de las variaciones del nivel freático provocado por las variaciones de volumen embalsado en el Embalse.
- Pozo PMR-15, ubicado casi 1000 metros aguas abajo del muro, por el sector norte. Su monitoreo también está relacionado a la influencia del embalse en las fluctuaciones del nivel freático.
- Pozo PMR-16. Se ubica al poniente de la confluencia con la Quebrada Calquis. Este pozo entregará información para el análisis del área siguiente.

**Área 8.** Este sector es bastante complejo por la cantidad de pozos de bombeo tanto de MLCC como de Terceros y por ser zona de recuperación con un valle muy estrecho. Se proponen 8 pozos de monitoreo para esta área. Los pozos considerados para monitorear son los siguientes.

- Pozo PMR-17. Se propone ubicarlo a aproximadamente 2,5 kilómetros aguas abajo de la confluencia con Quebrada Calquis. Debería entregar información sobre descensos de un pozo de Tercero y condición general del valle influenciado por el bombeo del pozo El Retamo 2 de MLCC.
- Pozo PMR-18. Se propone ubicarlo a 1,4 kilómetros aguas abajo del anterior, Tiene el mismo objetivo.
- Pozo PMR-19. Se propone ubicarlo a 1,9 kilómetros aguas abajo del anterior debe controlar los descensos del pozo Austral de MLCC y de un Tercero de las inmediaciones.
- Pozo PMR-20. Se propone ubicarlo a aproximadamente 6 kilómetros aguas abajo del anterior y deberá controlar la situación de niveles antes de llegar a la localidad de Los Loros.
- Pozo PMR-21, entregará la situación general de niveles a la altura de la localidad de San Antonio.
- Pozo PMR-22, se ubica a aproximadamente 1,7 kilómetros aguas abajo del punto anterior y también entregará información regional de la variación de niveles.

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática



- Pozo PMR-23. Ubicado aproximadamente 5,6 kilómetros hacia aguas abajo del pozo anterior. También entregará información más regional de los niveles freáticos en el sector de Los Loros.
- Pozo PMR-24. Ubicado aproximadamente 3,5 kilómetros hacia aguas arriba del punto anterior. Sus niveles podrían correlacionarse con la descarga o flujo de salida de la Primera Sección del Río Copiapó en La Puerta.

En tabla siguiente se presentan los pozos que formarán parte del seguimiento de la cantidad de agua del Plan de Monitoreo Robusto de MLCC. Entre ellos se incluyen los pozos propuestos que deben ser construidos durante el primer año de operación de la concentradora. Por lo tanto estos pozos son indicados con sus coordenadas aproximadas, ya que luego de aprobado este capítulo por la autoridad se deberán solicitar los permisos necesarios. Finalizada la construcción del pozo se reportarán las coordenadas definitivas.

La Figura 1 presenta la distribución de las áreas y los pozos de monitoreo con que contará cada una de ellas aguas arriba del embalse Lautaro, en tanto que la Figura 2 presenta lo que ocurre aguas abajo del embalse Lautaro.

**Con formato:** Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática

Tabla 3.1: Pozos Plan de Monitoreo Robusto.

ÁREA	POZO MONITOREO	NOMBRE POZO	Coordenadas UTM (*)		Observación
			E (m)	N (m)	
1	-				
2	PMR-1	WE-05	422696	6885305	Monitoreo MLCC Propuesto
3	PMR-2	PMR-2	417260	6882894	Monitoreo MLCC Propuesto
	PMR-3	IGLESIA COLORADA	414778	6884079	Monitoreo DGA
	PMR-4	QUEBRADA SECA	411908	6886246	Monitoreo DGA
4	PMR-5	PMR-5	408860	6889578	Monitoreo MLCC Propuesto
5	PMR-6	PMR-6	406123	6896143	Monitoreo MLCC Propuesto
	PMR-7	PMR-7	405383	6897192	Monitoreo MLCC Propuesto
	PMR-8	PMR-8	408014	6898825	Monitoreo MLCC Propuesto
	PMR-9	FUNDO RODEO	407470	6898030	Monitoreo DGA
6	PMR-10	JUNTA MANFLAS	403612	6898017	Monitoreo DGA
7	PMR-11	PMR-11	400805	6904957	Monitoreo MLCC Propuesto
	PMR-12	PMR-12	400252	6906632	Monitoreo MLCC Propuesto
	PMR-13	PMR-13	399970	6909521	Monitoreo MLCC Propuesto
	PMR-14	EMBALSE LAUTARO	401561	6904720	Monitoreo DGA
	PMR-15	ALGARROBO LA VIRGEN	401498	6905745	Monitoreo DGA
	PMR-16	QUEBRADA CALQUIS	400091	6910120	Monitoreo DGA
8	PMR-17	PMR-17	398464	6912199	Monitoreo MLCC Propuesto
	PMR-18	PMR-18	397642	6914078	Monitoreo MLCC Propuesto
	PMR-19	PMR-19	396834	6915036	Monitoreo MLCC Propuesto
	PMR-20	PMR-20	392528	6919159	Monitoreo MLCC Propuesto
	PMR-21	PUEBLO SAN ANTONIO	396140	6915828	Monitoreo DGA
	PMR-22	VEGAS EL GIRO	394770	6916872	Monitoreo DGA
	PMR-23	ESCUELA 17 LOS LOROS	390841	6920955	Monitoreo DGA
	PMR-24	FUNDO LA PUERTA	388900	6923418	Monitoreo DGA

(\*): Datum: WGS84.

Con formato: Inglés (Estados Unidos), No revisar la ortografía ni la gramática

# Análisis de Pertinencia de Ingreso al SEIA

## “Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el Drenaje Acido Mina”, Proyecto Caserones

Octubre 2012

Preparado por:



Gestión Ambiental Consultores S.A  
Padre Mariano 103 Of. 307  
7500499, Providencia, Chile  
Fono: +56 2 719 5600  
Fax: +56 2 235 1100  
[www.gac.cl](http://www.gac.cl)

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Antecedentes del Titular</b> .....	<b>1</b>
2.1	Identificación del Titular .....	1
2.2	Antecedentes del Representante Legal .....	2
2.3	Datos de Contacto .....	2
<b>3</b>	<b>Antecedentes del Proyecto</b> .....	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Criterios de Pertinencia</b> .....	<b>11</b>
4.1	Normas legales y prácticas administrativas que rigen la materia en cuestión .....	11
4.2	Análisis de pertinencia de ingreso al SEIA .....	12
<b>5</b>	<b>Conclusión</b> .....	<b>18</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Identificación de las UGAs definidas en base al contenido en pirita y la zona mineral. .... 15

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación Botadero de Lastre y las Instalaciones Principales .....	7
Figura 2 Rajo y Botadero de Lastre .....	8
Figura 3 Caudales de salida calculados a pie de botadero durante el periodo de 7 años evaluado, considerando flujo matricial y preferencial y excedencia de 50 y 85%. .....	15
Figura 4 Distribución en base anual de las UGAs con destino a botadero para los primeros 7 años de operación (periodo 2012 a 2018). .....	16
Figura 5 Caso de flujo preferente: Valores de pH (arriba) y concentraciones de Fe y Cu (abajo) calculadas para las aguas a pie de botadero para un periodo de 7 años teniendo en cuenta la evolución temporal y espacial del mismo. ....	17

## 1 Introducción

SCM Minera Lumina Copper Chile ha solicitado a Gestión Ambiental Consultores realizar el análisis de pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) de la modificación de proyecto “Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el Drenaje Acido Mina”, que modifica lo indicado en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) 13/2010, que aprobó el Proyecto Caserones de Minera Lumina Copper Chile y que posteriormente fue rectificada mediante las Res. N° 52/2010 .

Este análisis de pertinencia de ingreso al SEIA ha sido elaborado de acuerdo a los contenidos establecidos en el “Instructivo sobre las consultas de pertinencia de ingreso de proyecto o actividades al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental” impartido por la Dirección Ejecutiva del SEA, a través del Of. Ord. DJ. N° 103050 emitido el 25 de Septiembre del 2010.

El listado de contenidos exigido en el instructivo mencionado en el párrafo anterior, ha sido incorporado explícitamente en la estructura del análisis pertinencia de ingreso para facilitar la verificación del cumplimiento del instructivo por parte del evaluador.

## 2 Antecedentes del Titular

### 2.1 Identificación del Titular

**Nombre** : SCM Minera Lumina Copper Chile  
**RUT** : 99.531.960-8  
**Dirección Legal** : Av. Andrés Bello 2687, Piso 4, Providencia, Santiago  
**Teléfono** : (2) 432 2500  
**Fax** : (2) 432 2600  
**Mail** : hmunoz@caserones.cl

## 2.2 Antecedentes del Representante Legal

**Nombre** : : Nelson Augusto Pizarro Contador  
**RUT** : : 4.734.669-K  
**Dirección Legal** : : Av. Andrés Bello 2867, 4<sup>to</sup> Piso, Las Condes. Santiago  
**Teléfono** : : (2) - 432 2500  
**Fax** : : (2) - 432 2600

## 2.3 Datos de Contacto

**Nombre** : : Hernán Muñoz  
**RUT** : : 12.585.874-0  
**Dirección Legal** : : Av. Andrés Bello 2867, 4<sup>to</sup> Piso, Las Condes, Santiago  
**Teléfono** : : (2) – 432 2500  
**Mail** : : hmunoz@caserones.cl

## 3 Antecedentes del Proyecto

### i. Descripción general del Proyecto y su modificación

El Proyecto Caserones consiste en la producción y venta de concentrado, 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 a aproximadamente 1.350 millones de toneladas, y considerando una vida útil de 26 años, se estima una producción de 500.000 t/año de concentrado de cobre, 30.000 t/año de cátodos de cobre y 9.000 t/año de concentrado de molibdeno. El EIA del Proyecto Caserones fue aprobado mediante la RCA N° 013/2010, la cual fue rectificada mediante las Res. N° 52/2010.

En dicha resolución se ha establecido que MLCC deberá diseñar un tratamiento pasivo de drenaje ácido de mina (de ahora en adelante DAM) que se podría generar en el botadero de

lastre. Tal diseño debería ser validado por los servicios con competencia ambiental antes de la entrada en operación del proyecto.

Actualmente SCM Minera Lumina Copper Chile (MLCC, en adelante) ha ejecutado análisis geológicos, hidrológicos e hidro-geoquímicos, considerando las características geoquímicas e hidráulicas del botadero de lastre y el crecimiento en base anual del mismo, para las etapas correspondientes la primera fase del botadero (desde el comienzo de la operación al año 7) aprobado por RCA N°013/2010 orientados a obtener información necesaria para el diseño del tratamiento pasivo de DAM. Los resultados de los análisis realizados a la fecha han permitido identificar el lugar ideal para ubicar la captación de los DAM que eventualmente generará el botadero, la ingeniería conceptual del sistema, pero, con la información disponible hoy, no se puede dimensionar el sistema de tratamiento ya que se concluye que los materiales a disponer en los botaderos de lastre no generan DAM durante los primeros 7 años de operación (periodo con el que se cuenta información de calidad suficiente para realizar el dimensionamiento). Es decir, la calidad de agua generada en este periodo cumple con la normativa y no requiere tratamiento alguno.

Dada que la información que se dispone hoy no es suficientes para determinar en detalle la calidad de las aguas que se podrían generar en fases posteriores al año 7 de operación, no se cuenta con conocimiento de los parámetros necesarios para el dimensionamiento de el sistema de tratamiento que se requerirá a largo plazo y se necesita realizar una serie de análisis adicionales que tomarán cerca de 3 años adicionales.

Los análisis adicionales necesarios para el correcto dimensionamiento consideran:

- Selección de materiales a muestrear,
- Definición de analíticas y ensayos de caracterización a efectuar
- Selección de laboratorios (en conjunto con MLCC)
- Toma de muestras y custodia hasta el laboratorio
- Seguimiento de los ensayos de laboratorio (especialmente aquellos de larga duración, tales como ensayos de celda húmeda)
- Análisis e interpretación del conjunto de determinaciones y ensayos
- Reporte de todos los resultados analíticos y su análisis
- Simulación en laboratorio del agua con la calidad a generar
- Pruebas de laboratorio para la elección del producto a utilizar
- Diseño del sistema de tratamiento

A la luz de estos nuevos antecedentes, MLCC solicita autorización para postergar el plazo de la implementación del plan de trabajo, diseño y validación por parte de los organismos competentes, del sistema de tratamiento pasivo de DAM, hasta el último trimestre del año 2016 (tercer año de operación), de modo de generar la información que respalde el diseño a validar con la autoridad.

## ii. Situación Original

El Proyecto Caserones fue aprobado por la autoridad en su RCA N°013/2010 y rectificada con resolución N°052/2010. En dicha RCA se estipula que el titular deberá implementar un sistema de Tratamiento Pasivo de DAM, en los términos expuestos a continuación.

LA RCA N°013/2010 señala:

“El sistema de tratamiento pasivo, para el depósito de lastre, se deberá diseñar de acuerdo a los antecedentes hidrogeológicos de la quebrada La Brea, a los que se refiere el numeral 5<sup>1</sup>. El sistema de tratamiento pasivo deberá ser validado por la Autoridad Ambiental, previo informe favorable de los órganos de la administración del Estado competentes, y mientras no se emita la respectiva validación favorable el Proyecto no operará”.

## iii. Modificaciones Propuestas

Con el fin dar cumplimiento a lo estipulado en la RCA N° 13/2010 y diseñar el tratamiento pasivo en cuestión, MLCC encomendó a la consultora Amphos 21 realizar un estudio de Predicción del Drenaje del Botadero de Caserones durante los primeros 7 años de Operación.

En dicho estudio se evaluó el caudal y la calidad del agua de drenaje del botadero de Caserones y su posterior dilución debido a la mezcla con otras aguas de la cuenca intervenida, extendiéndose territorialmente hasta el punto de control ubicado aguas abajo del botadero, para una ventana de tiempo que cubre los primeros 7 años de operación del proyecto Caserones. Para llevar a cabo la estimación de generación de DAM, se han realizado cálculos hidrológicos e hidro-geoquímicos considerando las características geoquímicas e hidráulicas del botadero y el crecimiento en base anual del mismo. Los resultados se han calculado en base mensual y considerando la precipitación con una excedencia del 50% (año normal) y del 85% (año húmedo).

Los resultados del mencionado estudio muestran que la probabilidad de generación de DAM en los primeros 7 años de operación es nula. Dada esta situación, hoy no se cuenta con antecedentes suficientes para determinar con precisión la calidad de las aguas que se

---

<sup>1</sup> Numeral 5: En lo que se refiere a la calidad y cantidad del recurso hídrico, el Titular del proyecto, en un plazo máximo de 6 meses de notificada la Resolución de Calificación Ambiental, entregará a la COREMA la información que será utilizada para el desarrollo de la ingeniería de Detalles, referida a: antecedentes hidrogeológicos de línea base del área de influencia del proyecto, (levantamiento geofísico de perfiles TEM de alta resolución en los sectores donde se ubicarán los pozos de remediación, pruebas de bombeo individuales de 3 días cada uno y simultáneas en cada conjunto de pozos de remediación por 20 días de duración; en los depósitos de relaves: levantamiento geofísico de perfiles, perfiles de control de recarga de agua subterránea mediante pruebas de bombeo específicas; en relación a los niveles freáticos, levantamiento de información con 10 pozos adicionales de 40-60 m. de los diseños y sistemas de monitoreo y control de infiltraciones

podrían generar en fases posteriores al año 7 y por lo tanto, no se cuenta con conocimiento de los parámetros de diseño para un eventual tratamiento pasivo a un horizonte de largo plazo. A luz de estos antecedentes MLCC solicita que se le autorice a comenzar su operación, postergando la presentación del diseño de dicho tratamiento hasta el último trimestre de 2016 (tercer año de operación).

Durante los 3 primeros años de operación, MLCC desarrollará los ensayos y análisis, listados a continuación:

- Mineralogía cuantitativa mediante microscopía,
- Análisis químico de roca total,
- Análisis ABA,
- Extracción secuencial,
- Ensayos de celdas húmedas modificadas.

Esta batería de ensayos permitirá estimar el potencial de drenaje ácido a más largo plazo y de manera más precisa, permitiendo un diseño adecuado del tratamiento pasivo del DAM

#### **iv. Justificación del proyecto**

Actualmente SCM Minera Lumina Copper Chile ha ejecutado análisis geológicos, hidrológicos e hidro-geoquímicos, considerando las características geoquímicas e hidráulicas del botadero de lastre y el crecimiento en base anual del mismo, para las etapas correspondientes la primera fase del botadero (desde el comienzo de la operación al año 7) aprobado por RCA N°013/2010, orientados a obtener la información necesaria para el diseño del tratamiento pasivo de DAM. Los resultados de los análisis realizados a la fecha permiten concluir que los materiales a disponer en los botaderos de lastre no generan DAM durante los primeros 7 años de operación.

Dada esta situación, hoy no se cuenta con antecedentes suficientes para determinar con precisión la calidad de las aguas que se podrían generar en fases posteriores al año 7 de operación, y por lo tanto, no se cuenta con conocimiento de los parámetros de diseño para un eventual tratamiento pasivo a un horizonte de largo plazo que se extiende por sobre 7 años.

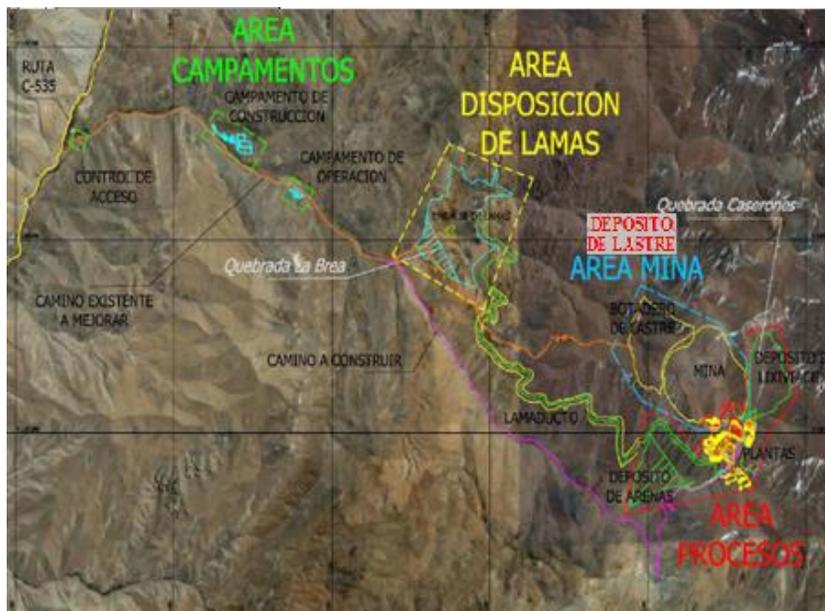
La información obtenida durante los tres primeros años de operación y su análisis permitirán evaluar el potencial de drenaje ácido a más largo plazo y de manera mas precisa, lo que se reflejará un diseño mas adecuado de las medidas de sistema de tratamiento pasivo del DAM del botadero.

## v. Ubicación y superficie

El Proyecto se emplaza en la III Región de Atacama, Provincia de Copiapó, Comuna de Tierra Amarilla. 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.

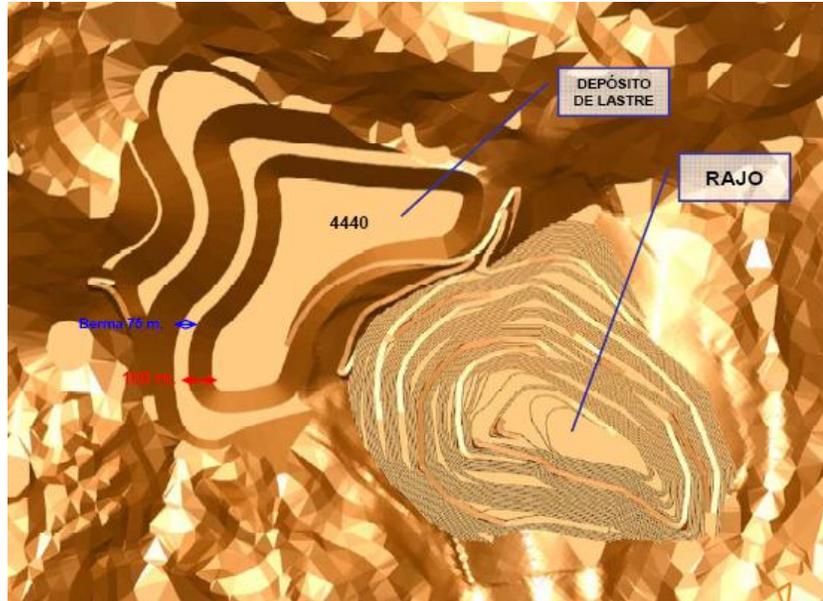
La localización de las instalaciones del Proyecto está determinada por la ubicación del yacimiento (Figura 1) y ha sido escogida de tal manera de minimizar las distancias de transporte y energía requerida. Todas las obras del Proyecto se han diseñado, en lo posible, teniendo en consideración la minimización de efectos ambientales y la interferencia con actividades existentes.

**Figura 1 Ubicación Botadero de Lastre y las Instalaciones Principales**



La ubicación del botadero de lastre ubicado en el lado oeste del rajo en la quebrada La Brea (Figura 2), su respectivo sistema de tratamiento pasivo de drenaje ácido de mina se ubicará aguas abajo del botadero.

Figura 2 Rajo y Botadero de Lastre



vi. **Superficie del predio en el cual se ubicará el proyecto**

El proyecto Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM se inserta dentro del área descrita en la RCA N°013/2010 modificada por Res. N° 52/2010, por lo que este proyecto no involucra la intervención de áreas adicionales a las evaluadas durante el proceso de calificación ambiental

vii. **Superficie que será intervenida por el proyecto o actividad (cantidad de material a extraer), asociado a obras y/o acciones**

El proyecto Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM se inserta dentro del área descrita en la RCA N°013/2010, por lo que este proyecto no involucra la intervención de áreas adicionales a las evaluadas durante el proceso de calificación ambiental.

viii. **Numero de estacionamientos que poseerá el proyecto**

El proyecto Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM no contempla nuevos estacionamientos.

ix. **Intervención de accesos viales**

El proyecto Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM no contempla intervención de accesos viales.

x. **Potencia total expresada en kilovoltios – ampere (kVA), que poseerá el proyecto**

El proyecto Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM no contempla intervención o inserción de potencia al proyecto.

xi. **Explotación y/o cultivo de recursos bióticos indicar superficies y/o cantidades involucrada**

El proyecto Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM no contempla la explotación y/o cultivo de recursos bióticos.

xii. **Materias Primas que se almacenarán y la cantidad mensual que se manejará**

El proyecto Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM no contempla el almacenamiento de nuevas materias primas.

xiii. **Emisiones Atmosféricas**

El proyecto Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM NO altera o incrementa las emisiones atmosféricas descritas en la RCA N°013/2010.

xiv. **Identificación de Residuos que se generarán del proceso a realizar, cantidad mensual que se generara y manejo asociado**

El proyecto Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM no contempla la generación de residuos. Por lo que se mantienen los valores expresados en la RCA N°013/2010.

xv. **Contempla sistema de alcantarillado y agua potable, indicar si serán soluciones propias, se conectarán al sistema público o descargarán en cursos superficiales**

El proyecto Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM no modifica el sistema de alcantarillado y agua potable existente en el área del proyecto.

- xvi. **En el caso de corresponder a una modificación de proyecto o actividad que cuente con RCA, indicar el nombre del proyecto y la respectiva RCA. Al respecto indicar si las obras, acciones o medidas complementarias generaran impactos ambientales adicionales a los asociados al proyecto original**

El proyecto Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM no genera nuevos impactos ambientales a los ya evaluados y aprobados mediante RCA N°013/2010 y su rectificación Resolución N°052/2010.

- xvii. **Características generales del proyecto, de acuerdo con la tipología aplicable del artículo 10 de la Ley 19.300**

La Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM, según lo indicado en la RCA N°013/2010 modificada por Res. N° 52/2010, que aprobó el Proyecto Caserones, NO constituyen obras listadas en el artículo 10 de la Ley N° 19.300 ni en el 3° del Reglamento sobre el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

## 4 Criterios de Pertinencia

### 4.1 Normas legales y prácticas administrativas que rigen la materia en cuestión

El artículo 8 de la Ley N° 19.300, indica que los proyectos o actividades señalados en el artículo 10 de la misma ley sólo podrán ejecutarse o modificarse previa evaluación de su impacto ambiental, de acuerdo a lo establecido en ella.

Al respecto, el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA), contenido en el D.S. N°95/2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, define en su artículo 2 letra d) lo que se debe entender por una modificación de proyecto de la siguiente manera:

“Modificación de proyecto o actividad: realización de obras, acciones o medidas tendientes a intervenir o complementar un proyecto o actividad ya ejecutado, de modo tal que éste sufra cambios de consideración”. Sin embargo, el Reglamento no introduce criterios claros para definir qué debe entenderse por un cambio de consideración, no obstante ello existen ciertos pronunciamientos de la autoridad sobre la materia, la cual señala los siguientes criterios, los cuales están publicados en el sitio web del Servicio Evaluación Ambiental, dichos criterios son los siguientes:

- a) Cuando la intervención o complementación constituye por sí sola un proyecto o actividad listado en el artículo 3° del Reglamento sobre el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- b) Cuando la intervención o complementación alcanza una magnitud igual o superior a aquellas contenidas en el artículo 3° citado.
- c) Cuando las obras, acciones o medidas tendientes a intervenir o complementar un proyecto o actividad son susceptibles de generar nuevos impactos ambientales adversos.
- d) Cuando la modificación implica un cambio en las características del proyecto o actividad.

Cabe hacer presente que, mediante su Dictamen N° 27.856, de fecha 14 de Junio de 2005, relativo al concepto de modificación de proyecto o actividad en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, la Contraloría General de la República ha refrendado los criterios anteriormente expuestos.

En virtud de lo anterior, para definir si los cambios en las obras propuestas constituyen o no una modificación de consideración, resulta indispensable analizar el cambio propuesto a la luz de lo

señalado en los criterios anteriores.

## 4.2 Análisis de pertinencia de ingreso al SEIA

El “Proyecto Caserones” fue aprobado por RCA N°013/2010 y las Resoluciones que la complementan mencionadas anteriormente en el punto II Antecedentes del Proyecto.

El proyecto “Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM” mantendrá la situación operativa del depósito de lastre sin generar drenaje ácido, y corresponde solo a una ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo, con el propósito de realizar estudios de drenaje ácido a largo plazo que permitan diseñar un sistema de tratamiento que sea efectivo para tratar el drenaje ácido cuando este se produzca, manteniendo una operación segura para las personas y el medio ambiente.

La modificación analizada es la siguiente:

**Ampliar el plazo del diseño y validación por parte de los organismos con competencia ambiental del Sistema de Tratamiento Pasivo de DAM para el año 3 de operación.**

En función de los criterios estipulados anteriormente, a continuación se justifica la no pertinencia de ingreso al SEIA, debido a que la Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM no implica cambios de consideración al Proyecto Caserones.

A continuación se evalúa uno a uno los puntos de la pertinencia.

- a) Cuando las obras acciones o medidas tendientes a intervenir o complementar el proyecto o actividad, constituyen por sí sola un proyecto o actividad listado en el artículo 3° del Reglamento sobre el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.**

La modificación en evaluación consiste en la postergación del diseño de una medida de mitigación indicada en la RCA N°013/2010 relacionada con un impacto que, de acuerdo al estudio realizado, no se verificará en el periodo solicitado para la ampliación del plazo, en consecuencia no constituyen obras listadas en el artículo 10 de la Ley N° 19.300 ni en el 3° del Reglamento sobre el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

- b) Cuando las obras, acciones o medidas tendientes a intervenir o complementar el proyecto conducen a que en conjunto, el proyecto más los cambios, se alcance la magnitud o se reúnan los requisitos contenidos en alguno de los literales del artículo 3° del Reglamento del SEIA.**

La modificación en evaluación consiste en la postergación del diseño de una medida de mitigación indicada en la RCA N°013/2010, lo cual no constituyen obras listadas en el artículo 10 de la Ley N° 19.300 ni en el 3° del Reglamento sobre el Sistema de

Evaluación de Impacto Ambiental, en consecuencia la modificación no genera la superación de magnitudes mencionadas en los literales del artículo 3 de la ley N° 19.300.

**c) Cuando las obras, acciones o medidas tendientes a intervenir o complementar un proyecto o actividad son susceptibles de generar nuevos impactos ambientales adversos.**

Como ya se mencionó la ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el DAM no genera impactos ambientales adicionales a los asociados al proyecto original ya que no considera nuevas obras, acciones o actividades a las evaluadas en el EIA.

Respecto a la generación de drenaje ácido de mina en el botadero de lastre, los estudios realizados por Ampho 21 (ver anexo) indican que el potencial de generación de drenaje ácido de roca durante los primeros 7 años de operación es nulo. A continuación se presentan los principales resultados de dicho informe.

**i. Evaluación de caudales en el punto de captación**

La precipitación media mensual se ha calculado a partir de los datos registrados en estaciones meteorológicas cercanas de la DGA aplicando una relación con la altura geográfica utilizando una interpolación mediante krigeado con discretización mensual. Se ha obtenido una precipitación media anual de 65.9 mm/a y 116.83 mm/a para probabilidad de excedencia de 50% y 85% respectivamente, siendo mayo el mes de mayor precipitación.

La escorrentía superficial media mensual por precipitación líquida ha sido estimada usando la metodología aplicada en SIT N°221-GCF. En esta metodología la escorrentía se estima como el producto de la precipitación con un coeficiente de escorrentía y el área. El coeficiente de escorrentía se estimó a partir del Manual de Carreteras<sup>2</sup> adoptando valores de 0,4 y 0,44 para cuenca natural y botadero respectivamente. De acuerdo con los datos bibliográficos recopilados estos valores estimados estarían más bien en el rango superior. El caudal medio anual calculado para la quebrada La Brea es de 4,0 a 4,1 l/s y 6,9 a 7,3 l/s (rango según el año de operación considerado) para la probabilidad de excedencia de 50% y 85% respectivamente. Los máximos caudales medios mensuales se generan en el mes de mayo siendo del orden de 23 a 24 l/s y de

---

<sup>2</sup> Gobierno de Chile, 2002

41 a 43 l/s (rango según el año de operación considerado) para la probabilidad de excedencia de 50% y 85% respectivamente.

Las precipitaciones de invierno en la cuenca son bajas y mayoritariamente sólidas. En la zona de estudio las bajas temperaturas limitan el deshielo y las pérdidas que se producen por sublimación (evaporación). Por este motivo se supone que no habría aportes significativos a la escorrentía superficial en los meses de junio, julio y agosto. La escorrentía superficial media mensual por derretimiento de nieves se supuso presente entre septiembre y diciembre y se estimó a partir de una fórmula empírica del US Corps of Engineers alcanzando entre 0,8 y 1,4 l/s para probabilidad de excedencia de 50% y 85% respectivamente.

La infiltración y escorrentía subterránea media mensual en el punto de captación ha sido estimada tanto por el balance hídrico como mediante la ley de Darcy utilizando valores de parámetros estimados a partir de los antecedentes hidrogeológicos. El valor medio mediante el balance hídrico es de 0.6 y 1.0 L/s para una probabilidad de excedencia de 50% y 85% respectivamente y un valor de 0.4 L/s mediante la ley de Darcy.

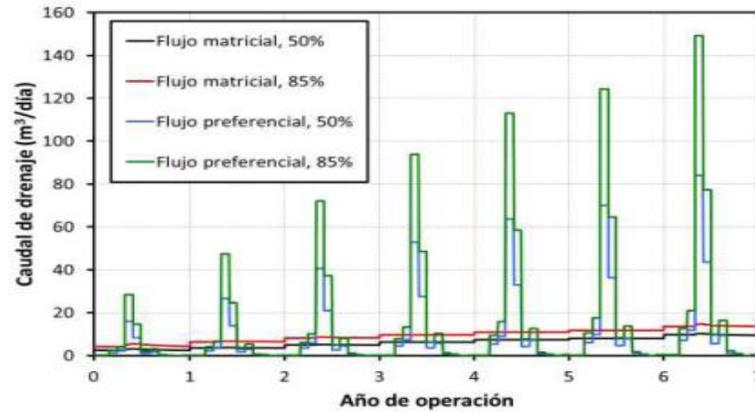
## ii. Evaluación de caudales a pie de botadero

Se considera que el flujo a través del botadero puede producirse de forma matricial (medio poroso homogéneo) o siguiendo flujos preferenciales (el agua circula por canales preferentes hacia la base del botadero).

En el caso del flujo matricial, si se considera que el material inicialmente contiene una humedad residual del 3%, el flujo de salida al pie del botadero será nulo durante el periodo de 7 años evaluado. Si se considera una humedad inicial igual a la humedad de equilibrio estimada (6%), se producirá un flujo continuo con tendencia monótona creciente a medida que aumente la superficie de botadero desde el año 1 al año 7 (de 0.03 a 0.1 L/s o 2.5 a 9 m<sup>3</sup>/d para el 50% de excedencia y de 0.04 a 0.15 L/s o 4 a 13.6 m<sup>3</sup>/d para el 85% de excedencia), tal y como puede verse en la Figura 3. Evaluando esto mismo con un factor de seguridad de 2,5 veces la infiltración calculada tenemos que el flujo será de 0.06 a 0.23 L/s (5 a 20 m<sup>3</sup>/d) para el 50% de excedencia y de 0.12 a 0.40 L/s (10 a 35 m<sup>3</sup>/d) para el 85% de excedencia.

En el caso del flujo preferencial, el caudal de drenaje del botadero será aproximadamente igual al caudal de infiltración, con algún retraso de unos pocos días respecto a la infiltración. De este modo el flujo será mayor durante los meses con mayor pluviometría y aumentará a medida que aumente la superficie de botadero (Figura 3). En cambio durante los meses secos la salida a pie de botadero será prácticamente nula.

**Figura 3. Caudales de salida calculados a pie de botadero durante el periodo de 7 años evaluado, considerando flujo matricial y preferencial y excedencia de 50 y 85%.**



### iii. Evaluación de calidad del agua a pie de botadero

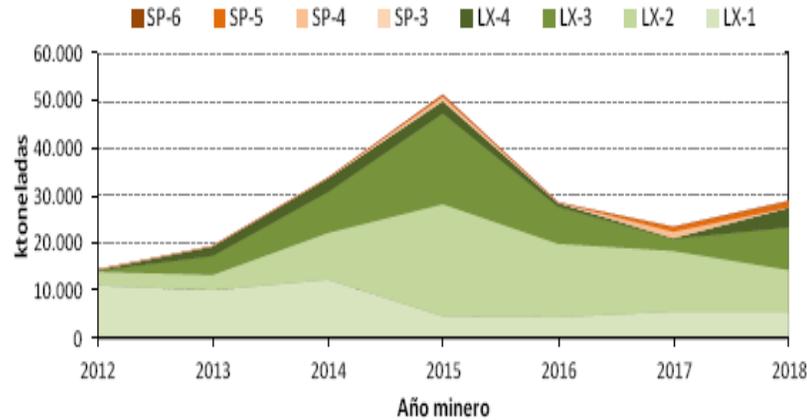
Para evaluar la calidad del agua se han definido las Unidades Geoambientales (UGAs) que se depositarán en el botadero durante los primeros 7 años de operación en base a la zona mineral y el contenido en pirita (Tabla 1), así como su distribución temporal (Figura 4) y espacial en el botadero.

**Tabla 1. Identificación de las UGAs definidas en base al contenido en pirita y la zona mineral.**

Zona Mineral	Contenido en pirita (% en peso)					
	0,1-0,4	0,4-0,9	0,9-1,4	1,4-2,0	2,0-3,0	3,0-4,5
LX	LX-1	LX-2	LX-3	LX-4		
SP			SP-3	SP-4	SP-5	SP-6

LX: Material de lixiviado. SP: Sulfuros Primarios

**Figura 4. Distribución en base anual de las UGAs con destino a botadero para los primeros 7 años de operación (periodo 2012 a 2018).**



En base a esta información, se han discretizado 31 columnas unidimensionales del botadero considerando la distribución espacial y temporal de UGAs en el botadero. Se ha evaluado la composición mineralógica y la superficie reactiva de los minerales en base a los datos mineralógicos disponibles y la distribución granulométrica del botadero.

La calcita no se ha considerado en los cálculos debido a la incertidumbre asociada a su distribución, por tanto los cálculos representarán el caso más desfavorable, ya que la presencia de calcita implica un efecto de tamponamiento del pH.

Se han realizado cálculos de transporte reactivo en cada una de las 31 columnas, asumiendo solamente el escenario de flujo preferencial, ya que éste se considera el más desfavorable.

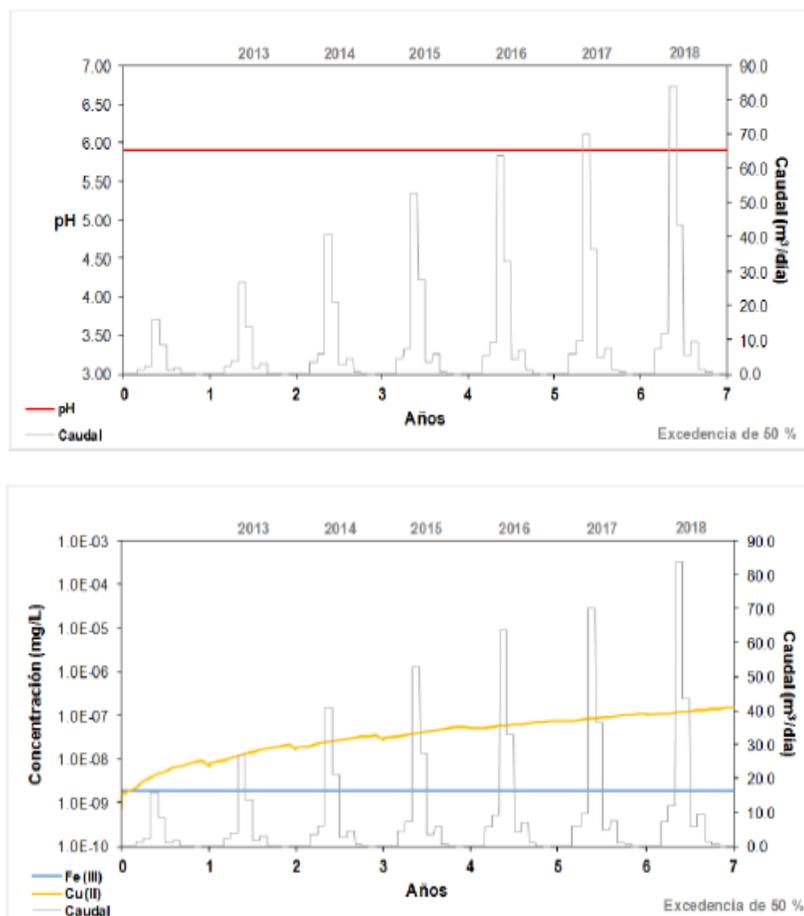
Se ha simulado un proceso de mezcla proporcional de las aguas resultantes de los cálculos para cada una de las columnas en base mensual y para cada año de operación del botadero. El agua resultante de la simulación de mezcla se considera el agua de drenaje a pie de botadero.

Los resultados indican que durante los primeros años de operación del botadero, aunque se inicie cierta oxidación de sulfuros con la consecuente generación de aguas ácidas en el interior del botadero, el agua a pie de botadero no mostrará indicios de drenaje ácido, debido a los procesos de dilución en el interior del botadero (Figura 5). Tan solo se observa un aumento significativo de la concentración de cobre, aunque estas concentraciones aún

están muchos órdenes de magnitud por debajo de las máximas concentraciones permitidas en agua potable<sup>3</sup>.

Por el mismo motivo, la calidad del agua en el punto de captación<sup>4</sup> no mostrará indicios de drenaje ácido, ya que los efectos del drenaje del botadero sufrirán un efecto de dilución adicional producto de la mezcla con el agua que escurre por la quebrada.

**Figura 5 Caso de flujo preferente: Valores de pH (arriba) y concentraciones de Fe y Cu (abajo) calculadas para las aguas a pie de botadero para un periodo de 7 años teniendo en cuenta la evolución temporal y espacial del mismo.**



<sup>3</sup> 1 mg/L, NCh 409/1

<sup>4</sup> Aproximadamente 1 km aguas abajo del punto de máximo avance del botadero en la Quebrada La Brea

- d) Los proyectos y actividades no sufren “cambios de consideración cuando las obras, acciones o medidas tendientes a intervenirlos o complementarlos, no implican una alteración en las características propias del proyecto o actividad. Es decir, cuando la intervención o complementación del proyecto se refiere a obras de mantenimiento o conservación, reparación o rectificación, reconstitución, reposición, o renovación.

La Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el Drenaje Acido Mina no implican una alteración en las características propias del proyecto o actividad.

## 5 Conclusión

El proyecto analizado no cambia los impactos ambientales evaluados en el proyecto original RCA N°013/2010 y su rectificación Res. N°052/2010.

En conclusión, la modificación propuesta: “Ampliación del plazo para el diseño y validación de tratamiento pasivo para el Drenaje Acido Mina” no presenta las características que la autoridad ambiental ha considerado relevantes para definir que éstas constituyen un cambio de consideración de un proyecto sometido al SEIA. De este modo, las modificaciones que se desarrollarán, no pueden considerarse ni jurídica ni ambientalmente una modificación de proyecto, y por lo tanto, no corresponde que se someta como tal al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

## **Predicción del drenaje del botadero de Caserones durante los primeros 7 años de operación**

Versión 3  
23 de Octubre de 2012

Elaborado:	Revisado:	Verificado:	Validado:
Gabriela Román-Ross Eduardo Castro	David Arcos Wolf von Igel	Wolf von Igel	Jordi Guimerà



Equipo de trabajo y autores del estudio:

David Arcos  
Martí Bayer  
Bernardo Capino  
Eduardo Castro  
Elisenda Colás  
Ariadna Conesa  
Andrés Idiart  
Wolf von Igel  
Salvador Jordana  
Flávia Maia  
Gabriela Román-Ross

# Índice

<b>1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>1</b>
1.1 EVALUACIÓN DE CAUDALES EN EL PUNTO DE CAPTACIÓN.....	1
1.2 EVALUACIÓN DE CAUDALES A PIE DE BOTADERO.....	2
1.3 EVALUACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA A PIE DE BOTADERO.....	4
<b>2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>7</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
3.1 OBJETIVO.....	8
3.2 ALCANCE.....	8
<b>4. HIDROLOGÍA DE LA CUENCA.....</b>	<b>11</b>
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE CAPTACIÓN PARA TRATAMIENTO Y DE SU CUENCA APORTANTE ..	11
4.2 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES .....	15
4.3 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO .....	21
4.4 ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.....	26
4.5 ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL PRODUCTO DE LA PRECIPITACIÓN Y DEL DERRETIMIENTO DE LA NIEVE.....	30
4.6 ESTIMACIÓN DE LA INFILTRACIÓN .....	35
4.7 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL SUBTERRÁNEO.....	37
<b>5. ESTIMACIÓN DE CAUDALES A PIE DE BOTADERO .....</b>	<b>42</b>
5.1 ESTIMACIÓN CON FLUJO MATRICIAL (MEDIO POROSO HOMOGÉNEO).....	42
5.1.1 Metodología.....	42
5.1.2 Modelo Conceptual.....	43
5.1.2.1 Morfología del botadero.....	43
5.1.2.2 Caracterización de parámetros hidráulicos.....	45
5.1.2.7 Recarga.....	49
5.1.3 Modelo numérico .....	50
5.1.3.1 Dominio y malla 2D .....	50
5.1.3.2 Malla 3D.....	51
5.1.3.3 Condiciones iniciales y de contorno.....	53
5.1.4 Resultados.....	53

5.1.4.1	<i>Humedad</i> .....	53
5.1.4.2	<i>Balance de entradas y salidas</i> .....	59
5.2	ESTIMACIÓN CON FLUJO PREFERENTE.....	61
5.2.1	<i>Metodología</i> .....	61
5.2.2	<i>Resultados</i> .....	62
<b>6.</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL DRENAJE DEL BOTADERO...</b>	<b>63</b>
6.1	METODOLOGÍA Y MODELO CONCEPTUAL .....	63
6.2	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO.....	76
6.3	RESULTADOS .....	79
6.3.1	<i>Procesos en las columnas</i> .....	79
6.3.2	<i>Composición del agua a pie de botadero</i> .....	91
6.3.3	<i>Composición del agua en el punto de captación</i> .....	95
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>101</b>
	<b>ANEXO A. MAPAS DE ISOESPESORES ANUALES DEL BOTADERO</b> .....	<b>103</b>
	<b>ANEXO B. RESULTADOS DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA COLUMNA P-27 PARA EL CASO PLUVIOMÉTRICO CON 85% DE EXCEDENCIA DE PRECIPITACIONES</b> .....	<b>110</b>
	<b>ANEXO C. COMPOSICIÓN DEL AGUA A PIE DE BOTADERO</b> .....	<b>116</b>

## 1. Conclusiones

En el presente informe se ha evaluado el caudal y la calidad del agua de drenaje del botadero de Caserones y su posterior dilución debido a la mezcla con el agua de la cuenca natural hasta el punto de captación para los primeros 7 años de operación del proyecto Caserones. Para llevar a cabo esta evaluación se han realizado cálculos hidrológicos e hidro-geoquímicos considerando las características geoquímicas e hidráulicas del botadero y el crecimiento en base anual del mismo. Los resultados se han calculado en base mensual y considerando la precipitación con una excedencia del 50% (año normal) y del 85% (año húmedo).

A continuación se indican las principales conclusiones del presente estudio.

### 1.1 Evaluación de caudales en el punto de captación

- La precipitación media mensual se ha calculado a partir de los datos registrados en estaciones meteorológicas cercanas de la DGA aplicando una relación con la altura geográfica utilizando una interpolación mediante krigado con discretización mensual. Se ha obtenido una precipitación media anual de 65.9 mm/a y 116.83 mm/a para probabilidad de excedencia de 50% y 85% respectivamente, siendo mayo el mes de mayor precipitación.
- La escorrentía superficial media mensual por precipitación líquida ha sido estimada para el punto de captación (definido por Caserones) aguas abajo del botadero usando la metodología aplicada en SIT N°221-GCF Ingenieros Limitada (2010). En esta metodología la escorrentía se estima como el producto de la precipitación con un coeficiente de escorrentía y el área. El coeficiente de escorrentía se estimó a partir del Manual de Carreteras (Gobierno de Chile, 2002) adoptando valores de 0,4 y 0,44 para cuenca natural y botadero respectivamente. De acuerdo con los datos bibliográficos recopilados estos valores estimados estarían más bien en el rango superior. El caudal medio anual calculado es de 4,0 a 4,1 l/s y 6,9 a 7,3 l/s (rango según el año de operación considerado, ya que aumenta el área de botaderos) para la

probabilidad de excedencia de 50% y 85% respectivamente. Los máximos caudales medios mensuales se generan en el mes de mayo siendo del orden de 23 a 24 l/s y de 41 a 43 l/s (rango según el año de operación considerado) para la probabilidad de excedencia de 50% y 85% respectivamente.

- Las precipitaciones de invierno en la cuenca seleccionada son bajas, y mayoritariamente sólidas. En la zona de estudio las bajas temperaturas limitan el deshielo y las pérdidas que se producen por sublimación (evaporación). Por este motivo se supone que no hay aportes significativos a la escorrentía superficial en los meses de junio, julio y agosto. La escorrentía superficial media mensual por derretimiento de nieves se supuso presente entre septiembre y diciembre y se estimó a partir de una fórmula empírica del US Corps of Engineers alcanzando entre 0,8 y 1,4 l/s para probabilidad de excedencia de 50% y 85% respectivamente.
- La infiltración y escorrentía subterránea media mensual en el punto de captación ha sido estimada tanto por el balance hídrico como mediante la ley de Darcy utilizando valores de parámetros estimados a partir de los antecedentes hidrogeológicos. El valor medio mediante el balance hídrico es de 0.6 y 1.0 L/s para una probabilidad de excedencia de 50% y 85% respectivamente y un valor de 0.4 L/s mediante la ley de Darcy.

## 1.2 Evaluación de caudales a pie de botadero

- Se considera que el flujo a través del botadero puede producirse de forma matricial (medio poroso homogéneo) o siguiendo flujos preferenciales (el agua circula por canales preferentes hacia la base del botadero).
- En el caso del flujo matricial, si se considera que el material inicialmente contiene una humedad residual del 3%, el flujo de salida al pie del botadero será nulo durante el periodo de 7 años evaluado. Si se considera una humedad inicial igual a la humedad de equilibrio estimada (6%), se produciría un pequeño flujo continuo con tendencia monótona creciente a medida que aumente la superficie de botadero desde el año 1 al año 7 (de 0.03 a 0.1 L/s o 2.5 a 9 m<sup>3</sup>/d para el 50% de excedencia y de 0.04 a 0.15 L/s o 4 a 13.6 m<sup>3</sup>/d para el 85% de excedencia), tal y como puede verse en la Figura 1-1.

Evaluando esto mismo con un factor de seguridad de 2,5 veces la infiltración calculada tenemos que el flujo sería de 0.06 a 0.23 L/s (5 a 20 m<sup>3</sup>/d) para el 50% de excedencia y de 0.12 a 0.40 L/s (10 a 35 m<sup>3</sup>/d) para el 85% de excedencia

- En el caso del flujo preferencial, el caudal de drenaje del botadero será aproximadamente igual al caudal de infiltración, con algún retraso de unos pocos días respecto a la infiltración. De este modo el flujo será mayor durante los meses con mayor pluviometría y aumentará a medida que aumente la superficie de botadero (Figura 1-1). En cambio durante los meses secos la salida a pie de botadero será prácticamente nula.

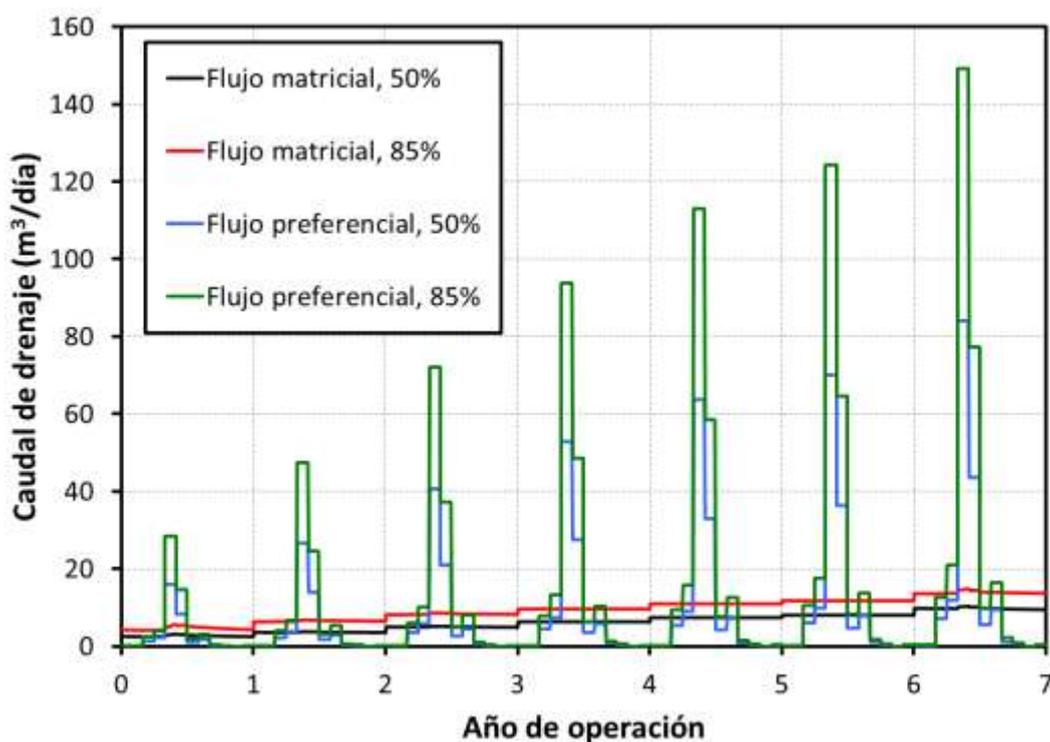


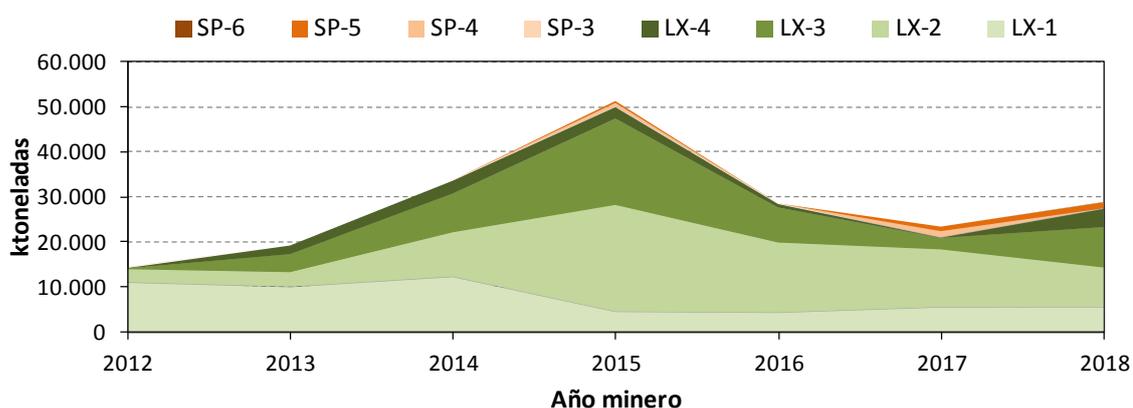
Figura 1-1. Caudales de salida calculados a pie de botadero durante el periodo de 7 años evaluado, considerando flujo matricial (con 6% de humedad inicial) y preferencial, tanto para precipitación media con excedencia de 50 como de 85%.

### 1.3 Evaluación de calidad del agua a pie de botadero

- Para evaluar la calidad del agua se ha utilizado la información de caracterización mineralógica y geoquímica generada por Caserones para el EIA a partir de muestras tomadas en testigos de sondaje, incluyendo Qemscan, ABA, NAG, SPLP, ICP y Tests de Celdas Húmedas.
- En base a estos datos se han definido las Unidades Geoambientales (UGAs) que se depositarán en el botadero durante los primeros 7 años de operación en base a la zona mineral y el contenido en pirita (Tabla 1-1), así como su distribución temporal (Figura 1-2) y espacial en el botadero.

**Tabla 1-1. Identificación de las UGAs definidas en base al contenido en pirita y la zona mineral. LX: Material de lixiviado. SP: Sulfuros Primarios**

Contenido en pirita (% en peso)						
Zona Mineral	0,1-0,4	0,4-0,9	0,9-1,4	1,4-2,0	2,0-3,0	3,0-4,5
LX	LX-1	LX-2	LX-3	LX-4		
SP			SP-3	SP-4	SP-5	SP-6

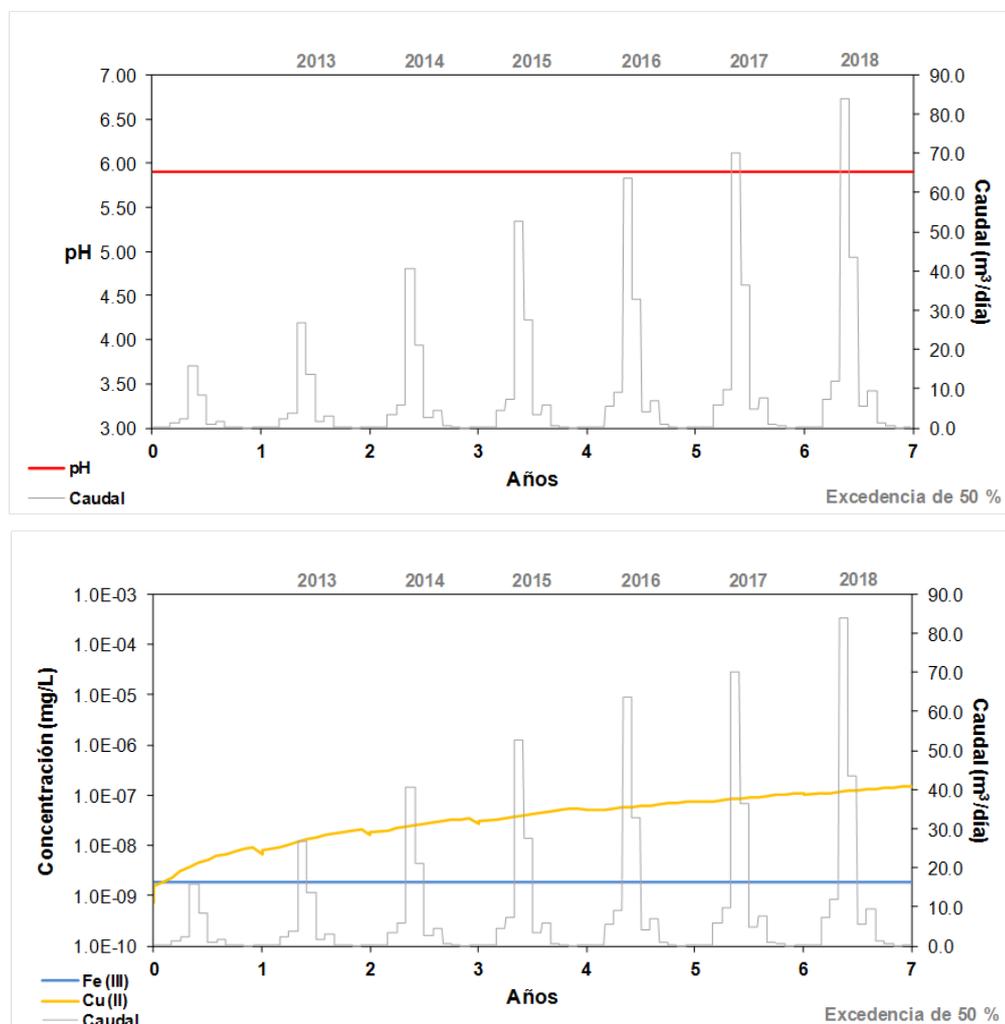


**Figura 1-2. Distribución en base anual de las UGAs con destino a botadero para los primeros 7 años de operación (periodo 2012 a 2018).**

- En base a esta información, se han discretizado 31 columnas unidimensionales del botadero considerando la distribución espacial y temporal de UGAs en el

botadero. Se ha evaluado la composición mineralógica y la superficie reactiva de los minerales en base a los datos mineralógicos disponibles y la distribución granulométrica del botadero.

- La calcita no se ha considerado en los cálculos debido a la incertidumbre asociada a su distribución, por tanto los cálculos representarán el caso más desfavorable, ya que la presencia de calcita implica un efecto de tamponamiento del pH.
- Se han realizado cálculos de transporte reactivo en cada una de las 31 columnas, asumiendo solamente el escenario de flujo preferencial, ya que éste se considera el más desfavorable, porque resulta en flujos que llegan a pie de botadero dentro del horizonte de tiempo estudiado y están en contacto con minerales que sufren oxidación
- Se ha simulado un proceso de mezcla proporcional de las aguas resultantes de los cálculos para cada una de las columnas en base mensual y para cada año de operación del botadero. El agua resultante de la simulación de mezcla se considera el agua de drenaje a pie de botadero.
- Los resultados indican que durante los primeros años de operación del botadero, aunque se inicie cierta oxidación de sulfuros con la consecuente generación de aguas ácidas en el interior del botadero, el agua a pie de botadero no mostrará indicios de drenaje ácido, debido a los procesos de dilución en el interior del botadero (Figura 1-3). Tan solo se observa un aumento significativo de la concentración de cobre, aunque estas concentraciones aún están muchos órdenes de magnitud por debajo de las máximas concentraciones permitidas en aguas potables (1mg/L, NCh 409/1).
- Por el mismo motivo, la calidad del agua en el punto de captación (aproximadamente 1 km aguas abajo del punto de máximo avance del botadero en la Quebrada La Brea) no mostrará indicios de drenaje ácido, ya que además los efectos del drenaje del botadero sufrirán un efecto de dilución adicional producto de la mezcla con el agua que escurre por la quebrada.



**Figura 1-3. Caso de flujo preferente: Valores de pH (arriba) y concentraciones de Fe y Cu (abajo) calculadas para las aguas a pie de botadero para un periodo de 7 años teniendo en cuenta la evolución temporal y espacial del mismo.**

## 2. Recomendaciones

Los resultados obtenidos en este estudio se basan íntegramente en información proporcionada por MLCC, incluyendo el modelo de bloques y el plan minero actual. En base a los resultados desarrollados, se realizan las siguientes recomendaciones:

- Puesto que en general, a medida que avanza la explotación mejora el conocimiento del yacimiento y con ello la definición del modelo de bloques y, además puede sufrir modificaciones el plan minero, se recomienda realizar un monitoreo o control de los materiales que van a botadero para determinar su contenido de sulfuros y carbonatos. Esto permitirá monitorear si las características de éstos se desvían susceptiblemente de la información utilizada para los cálculos desarrollados en este estudio.
- Puesto que los resultados indican un margen temporal de seguridad, se recomienda utilizar este periodo de tiempo para realizar una caracterización más detallada, tanto de los materiales con destino a botadero (p. ej. contenido y distribución de calcita, celdas húmedas modificadas, etc.) como de las condiciones hidráulicas del botadero y la cuenca natural.
- Puesto que a más largo plazo (después de los primeros 7 años de operación del botadero) la cantidad de materiales con alto contenido en pirita extraídos del rajo y depositados en el botadero aumentará, se recomienda llevar a cabo un estudio similar al actual, una vez se haya realizado una caracterización más detallada. Este nuevo análisis permitirá evaluar el potencial de drenaje ácido a más largo plazo y con un menor grado de incertidumbre, con lo cual se podrán evaluar las medidas de mitigación y/o tratamiento a largo plazo.

### **3. Introducción**

Minera Lumina Copper Chile (MLCC) debe construir una planta de tratamiento de aguas potencialmente ácidas procedentes del depósito de lastres que se está construyendo en la operación minera Caserones. Para dimensionar correctamente dicha planta de tratamiento de aguas es preciso determinar los caudales y calidades de agua que puedan generarse como consecuencia del drenaje del botadero. Puesto que la cantidad, calidad y precisión de la información necesaria para evaluar los drenajes tiene mayor certeza en el corto plazo, MLCC solicitó a Amphos 21 que se evalúen los caudales y calidades del agua de drenaje del botadero durante los primeros 7 años de operación del mismo. Durante este periodo sólo una de las dos sub-quebradas de la cabecera de la Quebrada La Brea se rellenará con el material de lastre procedente del rajo (Figura 3-1). De esta manera se podrán dimensionar los requerimientos de la planta bajo condiciones más probables de funcionamiento y evitar construir una planta ineficiente en su cometido

#### **3.1 Objetivo**

El propósito del presente trabajo es predecir los caudales y calidad del agua que será interceptada en el punto de captación definido por MLCC aproximadamente 1 km aguas abajo del botadero en un sector que permite realizar obras para captar y, si es necesario, tratar los flujos superficiales eventuales y los flujos subterráneos. Para ello se debe realizar la caracterización del funcionamiento hidrogeoquímico en el interior del botadero para la obtención de un balance de entradas y salidas de agua a lo largo de sus años de actividad y una evaluación de la calidad de aguas que drenen de dicho botadero, además de la caracterización del funcionamiento hidrológico de la cuenca aportante que no está ocupada por el botadero.

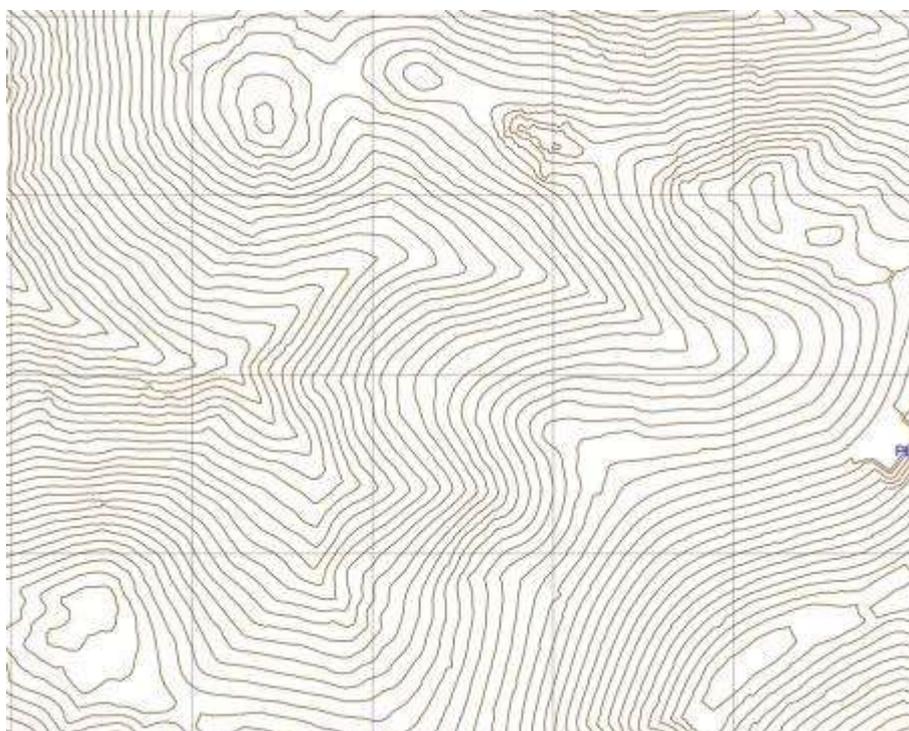
#### **3.2 Alcance**

Para este estudio se deben estimar los caudales medios mensuales y se deben tener en cuenta los condicionantes climatológicos de la zona, definiéndose dos escenarios

distintos: uno para régimen de precipitación anual normal (50% probabilidad de excedencia) y otro para un régimen húmedo (85% probabilidad de excedencia). En estos dos escenarios se integrará la evolución del crecimiento anual del botadero durante los primeros 7 años de su funcionamiento y se tendrán en cuenta dos condiciones de flujo para el cálculo de caudales de salida del botadero: flujo matricial y flujo preferente.

Para evaluar la composición química del agua de drenaje del botadero de Caserones durante este periodo, se ha utilizado la información previamente suministrada por MLCC a Amphos 21 para la elaboración de los informes sobre el impacto de drenajes ácidos en el proyecto Caserones por parte de Amphos 21 (2012) incluyendo los resultados obtenidos en dichos informes, así como información proporcionada para el presente estudio.

**2011**



2018



Figura 3-1. Topografía de la cabecera de la Quebrada La Brea, antes de la construcción del botadero de lastre (2011) y después de 7 años de operación del botadero (2018).

## 4. Hidrología de la cuenca

En este capítulo se describen las características de la (sub)cuenca que aporta hacia el punto de captación, se estima la precipitación en la zona de estudio y se calculan los aportes por escorrentía superficial y subterránea.

### 4.1 Descripción del punto de captación para tratamiento y de su cuenca aportante

Arcadis (2011) realizó una visita a la Quebrada La Brea y definió la ubicación propuesta para captar los flujos superficiales y subterráneos (mediante zanja cortafuga) provenientes de la cuenca y desviarlos hacia una planta de tratamiento. La ubicación propuesta para la captación se encuentra a aproximadamente 1 km aguas abajo del depósito de lastre. Las coordenadas propuestas para la ubicación del punto de captación (con la zanja cortafuga) para el tratamiento de las aguas fueron, UTM datum PSAD 56: *Este = 443861 m* y *Norte = 6885940 m* (Figura 4-1).



Figura 4-1. Ubicación propuesta para la zanja cortafuga (Ref.060-RVT-3738-ARCADIS)

En Arcadis (2011) se observó que en ambas laderas del valle en el punto de captación hay afloramientos rocosos y se estimó que el ancho de la quebrada alcanza entre 30

m a 40 m (Fotografía 4-1, Fotografía 4-2 y Fotografía 4-3). En el lecho de la quebrada, se observó bloques provenientes de la meteorización del macizo rocoso, y se estimó que la roca basal se encontraba a una profundidad del orden de 4 m. Además se observa que al momento de la visita no hay flujos superficiales, siendo estos eventuales (Fotografía 4.3).



**Fotografía 4-1. Ladera izquierda Quebrada La Brea. Se observa el afloramiento de roca. (Fuente: Arcadis, 2011)**



**Fotografía 4-2 Ladera derecha Quebrada La Brea. Se observa roca meteorizada (Fuente: Arcadis, 2011)**



**Fotografía 4-3. Vista hacia aguas arriba Quebrada La Brea (Fuente: Arcadis, 2011).**

La subcuenca del punto de captación objeto de este estudio es parte de la cuenca de la Quebrada La Brea. Ésta se encuentra a 160 km al sureste de la Ciudad de Copiapó a una altura media de 4.300 msnm. La subcuenca de estudio se encuentra en el sector sureste de la cuenca de la Quebrada La Brea. Limita al sureste con la cuenca de la Quebrada Caserones. La subcuenca tiene un área de 449ha. Las cotas máximas y mínimas son de 4.400 msnm y 3.950 msnm respectivamente (Figura 4-2).

En la cabecera de la subcuenca se ha iniciado la construcción del depósito de lastres producto de la explotación minera. La evolución temporal del depósito causará cambios en el balance hídrico de la cuenca. El emplazamiento del botadero influirá sobre la escorrentía, la infiltración y la evaporación, teniendo como consecuencia un cambio en el caudal tanto subterráneo, como superficial y, a su vez, posiblemente generará un flujo a pie del depósito de lastres.



Figura 4-2. Cuenca de la Quebrada la Brea y la subcuenca de estudio (en sombra azul)

## 4.2 Recopilación de antecedentes

Como paso previo a la estimación del caudal de diseño, se realizó una revisión bibliográfica sobre estudios afines. Los antecedentes recopilados y revisados son los que se indican a continuación.

### 1. Modelo Hidrogeológico Cuenca Río Copiapó, Sector Ramadillas-La Puerta. Anexo 41, Informe Final SITAC (2007).

Este proyecto tuvo como objetivo construir un modelo hidrogeológico de la cuenca del río Copiapó, entre la confluencia del río Ramadillas con la quebrada de La Brea por el Este y el sector de La Puerta en el río Copiapó por el Oeste, que permitió simular las condiciones del acuífero bajo distintos escenarios de explotación de esta parte de la cuenca del río Copiapó.

En este estudio la evapotranspiración se determinó por 2 metodologías. La primera fue utilizando la información de las isólineas de evaporación del balance hídrico de Chile. En la segunda se utilizó el método de precipitación-escorrentía de Turc, el cual establece una relación para el Déficit de Escorrentía (D), como función de la precipitación (P) y de la Temperatura Media (T), en °C. La evapotranspiración para la quebrada La Brea se estimó en 198 mm/a.

La escorrentía (E) se obtiene restando a la precipitación el déficit, es decir,

$$E = P - D$$

**Ecuación 1**

La precipitación y temperatura determinadas para cada subcuenca se ingresan a la fórmula de Turc y se obtiene el déficit de escorrentía para cada subcuenca. Lo que permite determinar los caudales en cada subcuenca.

La escorrentía superficial se obtuvo de los aforos realizados por Sitac. Hay que considerar que el período con información es muy corto (3 años), por lo que esta información es sólo referencial y no representa necesariamente el comportamiento de los flujos superficiales en el largo plazo.

Finalmente, del balance hídrico estimado en este estudio, la evapotranspiración fue del 78%, la infiltración 19% y la escorrentía 2.8%.

## **2. Modelo Numérico Hidrogeológico Preliminar Proyecto Caserones. Schlumberger (2008).**

Este informe tuvo como objetivo:

- Compilar y analizar la información de terreno.
- Elaboración de un modelo conceptual.
- Construcción de un modelo numérico que abarcara el área del proyecto Caserones.
- Calibrar el modelo en estado estacionario con la información de niveles.

La precipitación usada en este informe se obtuvo del mapa de isoyetas (DGA, 1987), en el área del proyecto. Se considero una precipitación media anual de 250 mm/año.

La temperatura media anual a la cota del proyecto fue estimada en 2.78 °C (SITAC, 2007).

Para estimar la evapotranspiración fue utilizada la expresión de Turc, la cual considera como variables de entradas la precipitación media anual y la temperatura, para el área de estudio. El valor obtenido fue de 215 (mm/año).

Para el escurrimiento superficial se uso un caudal de 5 L/s. Este punto fue medido en el punto de aforo de La Poza de la Quebrada Caserones y referenciado en SITAC (2007).

Finalmente para determinar el caudal infiltrado en las cuencas emplazadas en el área de estudio se consideró la siguiente ecuación de balance:

$$P = EVT + Q_{ss} + Q_{gs}$$

**Ecuación 2**

P : Precipitación (l/s)

EVT : Evapotranspiración (l/s)

Q<sub>ss</sub> : Escorrentía superficial (l/s)

Q<sub>gs</sub> : Infiltración (l/s)

De este balance hídrico, la infiltración fue estimada en 16 L/s. La evapotranspiración se estimó en un 80%, la escorrentía superficial un 5%, y la infiltración un 9%.

### **3. Estudio Evaluación de Los Recursos Hídricos Subterráneos en Cuencas de la Región de Atacama Ubicadas entre el Río Copiapó y La Región de Antofagasta SDT 276 (Año 2009-DARH).**

Este trabajo fue realizado en base a información oficial de la DGA, más otros antecedentes de dominio público. El área de estudio correspondió a las cuencas comprendidas entre el límite Sur de la Región de Antofagasta y la cuenca del río Copiapó. El área está constituida por 3 tipos de cuencas, a saber, altiplánicas, costeras e intermedias. Específicamente en total se estudiaron 32 cuencas, de las cuales 24 fueron de origen altiplánico.

El principal objetivo del estudio fue elaborar una herramienta de apoyo a la resolución de las solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas.

De acuerdo con el trabajo desarrollado, se señala que la recarga de los acuíferos en la zona de estudio se produce principalmente por los aportes de la precipitación, la cual varía según su magnitud, dependiendo si la cuenca es costera, intermedia o altiplánica.

Se realizó una estimación de la recarga media anual a largo plazo, estimada por medio de coeficientes de infiltración y escorrentía, que ponderan las características hidrogeológicas de las unidades geológicas presentes en las cuencas analizadas.

La recarga por precipitación se calculó como la suma de una recarga lateral o de piedemonte, producida por la precipitación que cae sobre la roca impermeable o semipermeable, y una recarga directa dada por la precipitación que cae sobre los depósitos sedimentarios. La recarga lateral se estimó con la siguiente expresión:

$$RL = P_p \times CE \times C_i \times ARL$$

**Ecuación 3**

Donde:

P<sub>p</sub>: Precipitación media sobre la cuenca de análisis

CE: Coeficiente de Escorrentía

C<sub>i</sub>: coeficiente de infiltración (depende de la permeabilidad y consolidación de la unidad hidrogeológica)

ARL: superficie de la unidad

La recarga directa se calcula de la misma manera, pero sin considerar el coeficiente de escorrentía, y considerando la superficie de depósitos sedimentarios,

$$RL = P_p \times C_i \times ARL$$

**Ecuación 4**

En este estudio se determinó un coeficiente de escorrentía de 0.13 y un coeficiente de infiltración de 0.3

#### **4. Estudio Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile , regiones XV, I, II y III; DGA, SIT N° 157 (Parte 1) Y SIT N° 195 (Parte 2)-DICTUC 2009.**

En estos estudios, desarrollados por el DICTUC, se realizó la caracterización hidrológica a nivel regional de las cuencas altiplánicas chilenas, considerando variables meteorológicas como precipitaciones, temperatura y evaporación de tanque, e hidrológicas como los escurrimientos superficiales.

Con relación al cálculo de la recarga media anual de largo plazo, ésta se realizó por medio de un balance de masa y de coeficientes de escorrentía e infiltración, basado en la litología de superficie de las cuencas, la influencia de los cauces en la geomorfología y los montos de precipitación en distintas bandas de altura.

Específicamente, el método utilizado en este trabajo coincide con el aplicado en el Estudio SIT N° 276 antes descrito; es decir, se adoptaron las mismas ecuaciones (fórmulas) para determinar la recarga directa y lateral en cada cuenca (Ecuación 3 y 4).

En este estudio se estimó una recarga del 13% de la precipitación.

#### **5. Estudio Metodología para la Estimación de Recarga de Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica en el Norte de Chile XV, I, II, y III Regiones.; DGA, SIT N° 221 – GCF Ingenieros Limitada 2010.**

El objetivo de este estudio fue proponer una metodología para estimar recargas en cuencas altiplánicas y de precordillera de vertiente pacífica, aplicable en escala regional a cualquier cuenca ubicada entre las regiones XV y III, sobre la cota 1.500 m.s.n.m. Para lo anterior se analizaron los modelos conceptuales existentes y

metodologías usadas para estimar recarga en el norte de Chile, buscando los aciertos y limitaciones que se deben tener en cuenta en el desarrollo de la metodología.

El modelo conceptual aplicado tiene las siguientes consideraciones:

- Las precipitaciones pueden producirse como lluvia o nieve. La lluvia genera escorrentía superficial y la nieve se acumula produciendo escorrentía superficial en el deshielo.
- Ciertos eventos de precipitaciones son breves y de cuantías reducidas; éstos pueden no ser capaces de generar escorrentía, evaporándose completamente. Otros en cambio, son tormentas intensas de corta duración que generan una escorrentía superficial que potencialmente puede generar un flujo de recarga.
- La intensidad de los eventos de lluvia es determinante en los procesos de recarga; las lluvias de intensidad baja generalmente se evaporan antes de producir un flujo superficial o algún tipo de infiltración. A nivel regional, con datos de precipitaciones representados a través de isoyetas promedio mensuales, los eventos y sus intensidades no quedan lo suficientemente explícitos; la metodología desarrollada consideró esta distorsión.
- El cálculo de lluvias efectivas acumuladas anuales, mensuales, incluso diarias, restando la evaporación potencial, puede resultar nulo. Sin embargo, una tormenta de horas puede superar el umbral de la evaporación potencial y generar escorrentía y recarga. Este aspecto es muy relevante al modelar recarga en zonas áridas, y fue especialmente analizado en el desarrollo de la metodología.

Cada cuenca estudiada se dividió en 3 zonas según sus aportes superficiales. Para estimar la escorrentía, la recarga y la evaporación se utilizaron coeficientes que dependían de las condiciones geológicas de cada una de las tres zonas. Las ecuaciones del balance son las siguientes:

$$\begin{array}{llll}
 P_3 = E_3 + R_3 + Q_3 + \Delta S_3^a + \Delta S_3^n & E_3 = C_3^E \cdot P_3 & R_3 = C_3^R \cdot P_3 & Q_3 = C_3^Q \cdot P_3 \\
 P_2 + Q_3 = E_2 + R_2 + Q_2 + \Delta S_2^a + \Delta S_2^n & E_2 = C_2^E \cdot (P_2 + Q_3) & R_2 = C_2^R \cdot (P_2 + Q_3) & Q_2 = C_2^Q \cdot (P_2 + Q_3) \\
 P_1 + Q_2 = E_1 + R_1 + Q_1 + \Delta S_1^a + \Delta S_1^n & E_1 = C_1^E \cdot (P_1 + Q_2) & R_1 = C_1^R \cdot (P_1 + Q_2) & Q_1 = C_1^Q \cdot (P_1 + Q_2)
 \end{array}$$

Donde

$P_i$ : Precipitación zona i  
 $E_i$ : Evaporación zona i  
 $R_i$ : Recarga zona i  
 $Q_i$ : Escorrentía total zona i  
 $\Delta S_i^j$ : Almacenamiento zona i (j=a: acuífero; j=n: nival)  
 $C_i^E$ : Coeficiente de evaporación zona i  
 $C_i^R$ : Coeficiente de recarga zona i  
 $C_i^Q$ : Coeficiente de escorrentía zona i

La cuenca del Río Pulido fue parte de las 25 cuencas analizadas en este estudio. Dentro de esta cuenca se ubica la subcuenca de la quebrada la Brea, la cual es objeto principal de este estudio.

Dentro de los resultados obtenidos en la cuenca del Río Pulido, se obtuvo del balance hídrico, una recarga del 7.1%, una evapotranspiración del 46.7%, una escorrentía del 45% y unas extracciones del 1.3%.

#### **6. Propuesta Metodológica para Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas y de Vertiente Pacífico; Documento de Trabajo, Marzo 2010, Luis Rojas Badilla y Carlos Salazar M., DGA.**

En el año 2010 la DGA desarrolló un estudio para estimación de la recarga en la zona altiplánica y cuencas de la vertiente pacífico, con el cual se buscó avanzar en la formulación metodológica, y en la preparación y sistematización hidrológica e hidrogeológica de la información base.

El modelo conceptual desarrollado tiene una formulación simple, pero su aplicación requirió de antecedentes con un nivel de detalle superior al disponible, en particular, la regionalización de los parámetros no tuvo resultados adecuados para lograr su extensión generalizada, debido a que el rango de incertidumbre fue alto por la baja predictividad a escala regional.

En dicho trabajo, se intentó relacionar el coeficiente de escorrentía de la cuenca con la precipitación media anual de largo plazo de la cuenca respectiva. Así, la relación que se llegó a establecer fue:

$$Q_s = f \times P \times A \quad \text{Ecuación 5}$$

$$P = m \times f + C \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$Q_s$ = Caudal medio superficial de salida o escorrentía total (largo plazo)

$P$ = Precipitación media anual de la cuenca

$A$ = Área de la cuenca

$f$ = coeficiente de escorrentía de la cuenca

$m$  y  $C$ = coeficientes de ajuste lineal

### **7. Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica. Informe Final (2011). Aquaterra Ingenieros Limitada.**

Este estudio tiene por principal objetivo, estimar la recarga de las principales cuencas que cumplan con la condición de altiplánicas o de vertiente pacífica. Lo anterior se realizó sobre la base de la información disponible y requerida por la metodología desarrollada por la DGA en el año 2010 (ver estudio 5).

Este estudio tiene un tratamiento diferente con las precipitaciones, puesto que en la metodología usada en el estudio 5, no toma en cuenta el aumento de los montos de precipitación con la altura, ya que sólo considera las estaciones pluviométricas disponibles, y sucede que hay cuencas (especialmente las ubicadas hacia el Sur, III Región) que no cuentan, dentro de esas cuencas, con valores de precipitación observada. También se añade que las estaciones pluviométricas con información se ubican alejadas de la cuenca.

### **4.3 Estimación del caudal de diseño**

La revisión bibliográfica tuvo como principal objetivo formular una metodología que permita determinar las recargas y escorrentías en cuencas altiplánicas que no cuentan con control hidrométrico, y que sólo se cuenta con información hidrológica general como la precipitación media anual y en algunas veces una estimación de escorrentía total.

De acuerdo a la información recopilada se plantean las siguientes hipótesis que serán la base para la estimación del caudal de diseño:

1. Las precipitaciones pueden producirse como lluvia o nieve. La lluvia genera escorrentía superficial y la nieve se acumula produciendo escorrentía superficial en el deshielo.
2. Las precipitaciones de invierno en la cuenca seleccionada son bajas, y mayoritariamente sólidas. A su vez, las bajas temperaturas limitan el deshielo y las pérdidas que se producen por sublimación (evaporación). De acuerdo con lo señalado, se puede decir que no habría aportes significativos a la escorrentía de salida en los meses de invierno.
3. Ciertos eventos de precipitaciones son breves y de cuantías reducidas; éstos pueden no ser capaces de generar escorrentía, evaporándose completamente. Otros en cambio, son tormentas intensas de corta duración que generan una escorrentía superficial y potencialmente un flujo de recarga.
4. A largo plazo en una situación de equilibrio, el flujo subterráneo es la suma de las recargas por zonas y la variación de almacenamiento es nula.

El caudal de diseño en el punto de captación está compuesto por la suma de 3 aportes, uno superficial ( $Q_{sup}$ ), uno subterráneo ( $Q_{sub}$ ) y otro del drenaje del depósito de lastres ( $Q_{Dep}$ ). El valor de cada aporte depende de los factores hidrológicos y de las características intrínsecas de la cuenca (suelos, pendientes, etc.) que determinan el flujo en estado natural de la cuenca. Además el aporte de cada componente depende del crecimiento que tiene el depósito de lastres, tanto en superficie cubierta como en volumen de roca almacenado y las características de ésta. En resumen tenemos que:

$$Q_{diseño} = Q_{sub} + Q_{sup} + Q_{Dep}$$

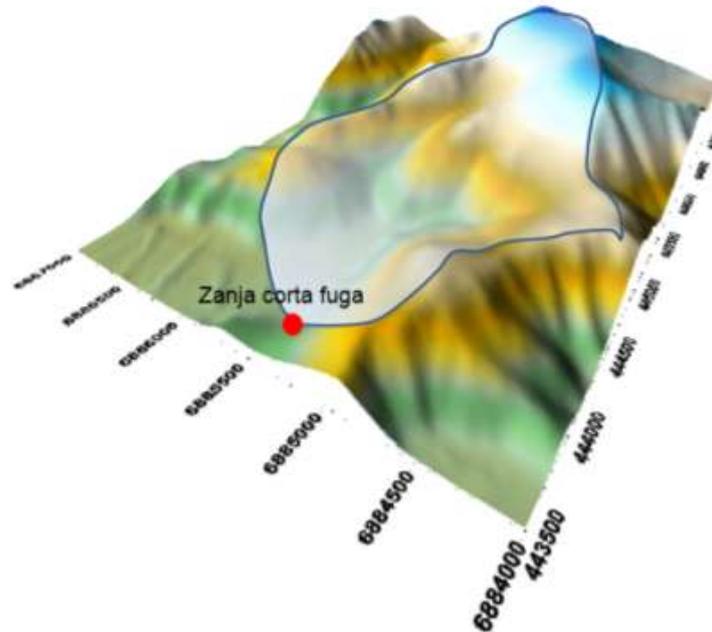
**Ecuación 7**

La estimación de cada una de estas variables se presentará en los siguientes subapartados, con la excepción del caudal de drenaje del depósito de lastres que se evalúa en el capítulo 5.

Como paso previo para estimar el caudal de diseño fue necesario:

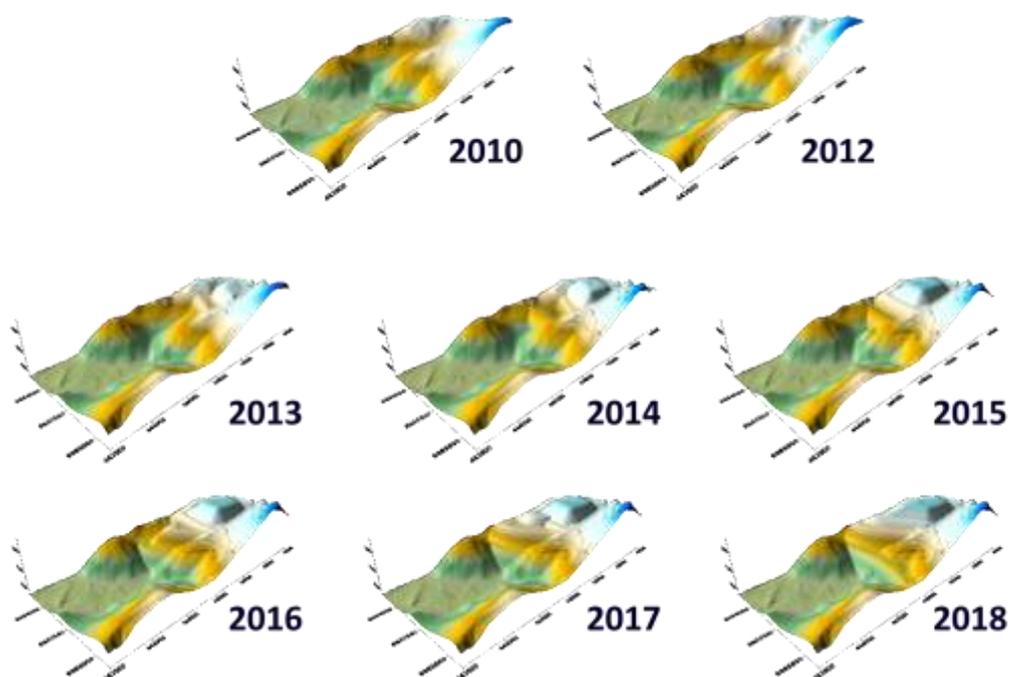
- Delimitar y calcular tanto el área de la subcuenca hidrológica de estudio, como la evolución de las áreas del botadero para los 7 años de crecimiento.
- Topografía de la cuenca

- Localización del punto de captación con la zanja cortafuga.



**Figura 4-3 Delimitación de la cuenca de estudio y ubicación de la zanja corta fuga.**

Con los datos espaciales sobre la evolución año por año del botadero se calculó el área de crecimiento y se visualizó la evolución temporal del botadero. En la Figura 4-4 se presenta la evolución temporal del botadero desde el año 2012 hasta el 2018 (el año 2012 se toma como año 1 y el 2018 como el año 7). El área total de la subcuenca se obtuvo a partir de la topografía del año 2010. Los contornos de la evolución del depósito año por año se dibujaron en Arcmap para poder estimar sus áreas. La Tabla 5-1, presenta la evolución del área cubierta año por año del depósito iniciando en el año 2012 hasta el 2018.



**Figura 4-4. Evolución temporal del botadero desde el año 2012 (año 1) y el año 2018 (año 7). El crecimiento medio anual del área durante el periodo 2012-2018 es de 173.000 m<sup>2</sup>.**

Del análisis de la topografía de la cuenca se obtiene un valor de pendiente media del 20%.

Tanto para estimar “Qsub” como “Qsup” se adoptó la metodología aplicada en 5 y 7. Según el enfoque conceptual usado por estos, la cuenca de estudio se encuentra en la zona 3. En este tipo de zona, los escurrimientos superficiales no se acumulan y es una zona principalmente rocosa.

La ecuación usada para el balance hídrico fue la siguiente:

$$Pp = Esc + Inf + Evap \quad \text{Ecuación 8}$$

En donde:

$$Esc = Area \times Pp \times Coef_{Esc}; \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\text{Inf} = \text{Area} \times \text{Pp} \times \text{Coef}_{\text{inf}};$$

**Ecuación 10**

$$\text{Evap} = \text{Area} \times \text{Pp} \times \text{Coef}_{\text{Evap}};$$

**Ecuación 11**

Siendo:

$$\text{Coef}_{\text{esc}} + \text{Coef}_{\text{esc}} + \text{Coef}_{\text{Evap}} = 1$$

**Ecuación 12**

Finalmente la estimación del Qsup se hizo de la siguiente manera:

$$\text{Qsup} = \text{Esc}_{\text{cuenca}} + \text{Esc}_{\text{Botadero}}$$

**Ecuación 13**

Donde,

$$\text{Esc}_{\text{cuenca}} = \text{Area}_{\text{cuenca\_año}(i)} \times \text{Pp} \times \text{Coef}_{\text{Esc\_Cuenca}}$$

**Ecuación 14**

$$\text{Esc}_{\text{Botadero}} = \text{Area}_{\text{Botadero\_año}(i)} \times \text{Pp} \times \text{Coef}_{\text{Esc\_Botadero}}$$

**Ecuación 15**

Por otro lado el Qsub se estima de la siguiente forma:

$$\text{Qsub} = \text{Area}_{\text{cuenca}} \times \text{Pp} \times \text{Coef}_{\text{inf}}$$

**Ecuación 16**

El valor estimado de Qsub, puede ser comparado con el que se estime mediante la Ley de Darcy en el punto de salida de la subcuenca estudiada usando la piezometría y conductividad hidráulica de la zona.

En los siguientes apartados se explica cómo se determina tanto la precipitación y los coeficientes necesarios para ser aplicados en la metodología.

## 4.4 Estimación de la Precipitación

En la zona de estudio se cuenta con la estación meteorológica Plataforma CEI (ubicada en la cota 4392 m.s.n.m.) que cuenta con un registro de datos de precipitación del 2005 al 2011. Además, en las cercanías existen las estaciones meteorológicas de la DGA con series de datos más largas (1967-2005). Debido a que la serie en la estación Plataforma CEI es estadísticamente poco representativa, se ha optado por trabajar en base a los datos de las estaciones de la DGA.

Los registros más cercanos a la zona de interés se presentan en la Tabla 4-1 y provienen de las estaciones meteorológicas de la DGA. La ubicación de las estaciones meteorológicas de la DGA se presenta en la Figura 4-5.

Los datos disponibles de las estaciones pluviométricas de la DGA constituirán la información base para estimar las precipitaciones en la zona de estudio, que a su vez serán usadas para determinar la escorrentía de agua tanto superficial como subterránea, así como para determinar los valores de evaporación e infiltración.

**Tabla 4-1. Estaciones pluviométricas de la DGA (Fuente SITAC, 2007).**

Estación	UT Norte	UTM Este	Cota (m.s.n.m)	Precipitación (mm/año)	Rango de Datos (Año)
Los Loros	6920760	390034	950	38.43	1967-2005
Embalse Lautaro	6904241	401660	1199	36.79	1967-2005
Hacienda Manflas	6895022	403373	1410	47.02	1967-2005
Iglesia Colorada	6884031	414917	1950	55.56	1988-2005
Pastos Grandes	7002370	445480	2000	40.01	1967-2005
Jorquera en la Guardia	6934055	444138	2500	46.47	1967-2005
Torin en el Potro	6873029	426439	3000	44.93	1990-1992



Figura 4-5. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la DGA (Fuente: proyecto Caserones EIA Anexo VI-4 MODELO HIDROGEOLOGICO)

Estudios anteriores estiman la precipitación en la zona de estudio relacionando la precipitación media anual con la altura o cota. El informe, Modelo numérico hidrogeológico preliminar Proyecto Caserones (Schlumberger, 2008) presentó la siguiente ecuación lineal para estimar por una correlación de altura geográfica el valor de la precipitación media en la zona de estudio a partir de la serie de datos de las estaciones de la DGA (Ecuación 2):

$$Pp=0.0036*cota+37.445. \quad \text{Ecuación 17}$$

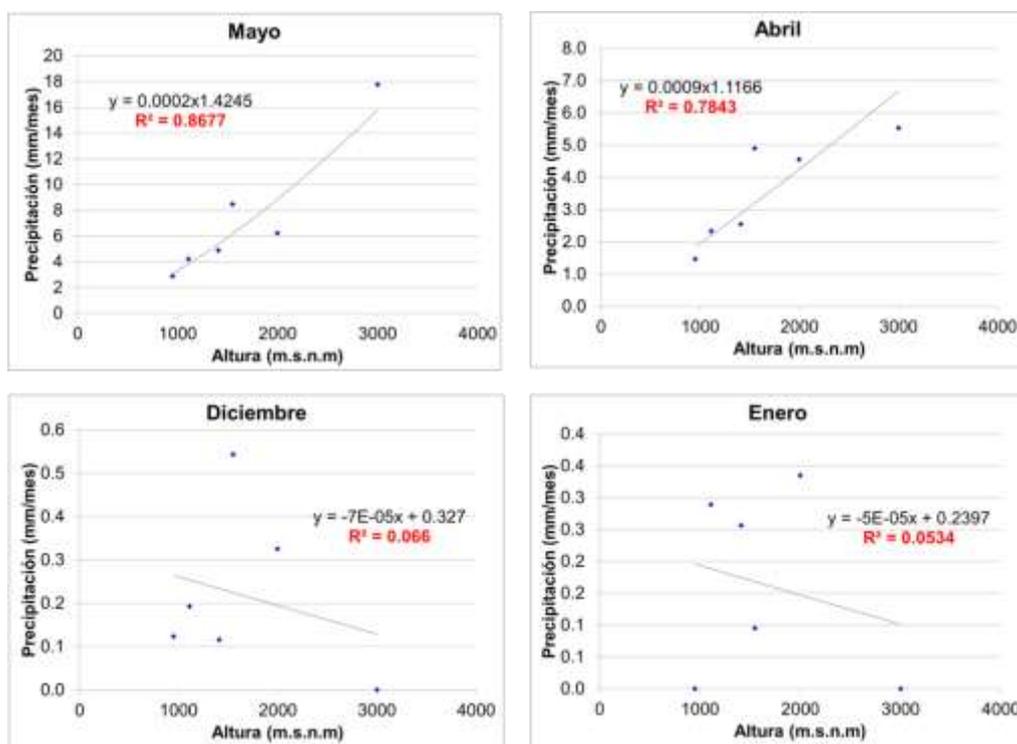
Por otro lado el *Estudio hidrológico de crecidas Quebrada La Brea* (Arcadis, 2010) presentó la siguiente función exponencial (Ecuación 3)

$$Pp=0.3286*Hmed^{0.6749}. \quad \text{Ecuación 18}$$

De acuerdo con el requerimiento de MLCC en este estudio se solicitan caudales medios mensuales para el diseño de la planta de tratamiento en el punto de captación. Por este motivo en el presente estudio para un año hidrológico se evalúa mes por mes el aporte de flujo superficial.

En la zona de estudio se presentan generalmente dos períodos de precipitaciones. En el periodo comprendido entre diciembre y marzo se presenta un periodo de lluvias producto de la influencia del invierno altiplánico. Estas precipitaciones están caracterizadas por años secos en que la mínima precipitación mensual calculada para el área de estudio es de (0.0 mm/mes) en año 1990, y años con una alta pluviometría en que la precipitación mensual máxima se estimó en 15 mm/mes para el año 1992. Durante el periodo entre abril-agosto se presentan precipitaciones cuyo origen son los sistemas frontales de invierno. Estas precipitaciones suelen ser máximas en el mes de mayo, calculándose precipitaciones de hasta 65 mm/mes para el año más húmedo. Las precipitaciones entre abril y agosto se dan en forma de lluvia o de nieve. A partir de los escasos datos de la estación Plataforma CEI, se infiere que en junio y julio son principalmente sólidas. Su posterior periodo de derretimiento se produce en primavera-verano. En esta zona la cota nival es de 4050 m.s.n.m. (Arcadis 2010).

Considerando los antecedentes climáticos de la zona, para estimar el caudal de diseño se dividieron los aportes por mes (en un año hidrológico comprendido entre Abril-Marzo). Con el valor medio de precipitación de cada mes del ciclo hidrológico (medido en las estaciones de la DGA) se estimó la precipitación media de cada mes en la zona de estudio, relacionando la altura con la precipitación media mensual. Esto es similar a los dos estudios comentados anteriormente, con la diferencia que se realiza a escala mensual en vez de anual. Se buscaron los mejores ajustes usando una función lineal, exponencial o potencial. Las funciones obtenidas presentaron índices de correlación bajos de entre 0.03 y 0.7 (Figura 4-6). Estos valores nos informan sobre la mala correlación existente entre estos dos parámetros analizados mes por mes. Sin embargo, tomando una media anual como en los dos informes citados (Schlumberger, 2008 y Arcadis 2010) este índice de correlación es aceptable.



**Figura 4-6. Estimación de la precipitación media mensual usando interpolaciones lineales, exponenciales o potenciales entre la precipitación y la altura (m.s.n.m)**

Por este motivo para estimar la precipitación media mensual se realizó una interpolación usando un krigado con deriva externa (Samper & Carrera, 1990). Los datos krigados fueron la media mensual para cada estación y su correspondiente altitud geográfica con respecto al nivel del mar. Como deriva externa se usó los datos medios anuales estimados en la zona de estudio por Arcadis (“Estudio hidrológico de crecidas Quebrada la Brea”, Arcadis, 2010). La medida del error de las estimaciones representados en la varianza (entre 0.02 y 0.9) indica que los valores son aceptables. La Tabla 4-2 presenta los valores de precipitación estimados usando esta metodología. Los valores obtenidos son similares a los datos estimados linealmente en los dos informes citados (Schlumberger, 2008 y Arcadis, 2010). Así mismo, se presentan los valores de precipitación con una probabilidad de excedencia del 50% y del 85%. Estos valores serán las variables de entrada para estimar el balance hidrológico, así como los caudales de escorrentía superficial y subterránea con una probabilidad de excedencia del 50% y del 85%.

**Tabla 4-2. Valores de precipitación en la zona de estudio estimados usando kriging con deriva externa.**

<b>Precipitaciones</b>	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Jorquera de la Guardia.	6.22	11.50	7.75	7.10	2.80	1.20	0.14	0.33	0.33	1.99	2.59	4.56
Torin en el potro	17.77	13.87	5.53		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	5.53
Iglesia Colorada	8.49	13.95	8.04	9.14	1.60	0.88	0.05	0.54	0.10	0.17	1.76	4.90
Hacienda Maflas	4.87	14.22	10.68	10.58	0.94	0.62	0.01	0.12	0.26	0.17	1.85	2.54
Embalse Lautaro	4.22	8.36	8.24	8.70	1.43	0.32	0.18	0.19	0.29	0.43	2.42	2.33
Los Loros	2.86	8.89	9.67	8.33	0.83	0.11	0.00	0.12	0.00	0.00	1.23	1.47
Pp Estimada Kriging deriva ext. (mm/mes)	<b>32.06</b>	<b>16.63</b>	<b>2.13</b>	<b>3.56</b>	<b>0.46</b>	<b>0.19</b>	<b>0.02</b>	<b>0.10</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>2.70</b>	<b>4.51</b>
Pp probabilidad de excedencia 50%	<b>33.81</b>	<b>17.54</b>	<b>2.25</b>	<b>3.75</b>	<b>0.49</b>	<b>0.20</b>	<b>0.02</b>	<b>0.10</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>2.85</b>	<b>4.76</b>
Pp probabilidad de excedencia 85%	<b>59.95</b>	<b>31.10</b>	<b>3.98</b>	<b>6.66</b>	<b>0.86</b>	<b>0.36</b>	<b>0.03</b>	<b>0.18</b>	<b>0.11</b>	<b>0.13</b>	<b>5.05</b>	<b>8.43</b>

## 4.5 Estimación de la escorrentía superficial producto de la precipitación y del derretimiento de la nieve.

Como se comento anteriormente las precipitaciones pueden producirse como lluvia o nieve. La lluvia genera escorrentía superficial y la nieve se acumula produciendo escorrentía superficial durante el deshielo en los meses de primavera y verano.

Como se comento en el apartado 4.3, el caudal por escorrentía superficial ( $Q_{sup}$ ) esperado a pie de botadero se estima con la Ecuación 13.

Para determinar el coeficiente de escorrentía tanto de la cuenca como del botadero se usaron las tablas 3.702.405.A y 3.702.503.B de *El Manual de Carreteras, Volumen N°3 Instrucciones y criterios de diseño, Gobierno de Chile (2002)*. Dicho coeficiente de escorrentía está en función del relieve, la infiltración, la cobertura vegetal y el almacenamiento superficial.

De la tabla 3.702.503.B se obtuvo un coeficiente de escorrentía para un periodo de retorno de 10 años de 0.63. Y que se ajustó, usando un factor de frecuencia para un periodo de retorno de 2 años (periodo utilizado para determinar un valor medio) de la tabla 3.702.405.A, y que finalmente dio un valor como coeficiente de escorrentía de 0.40.

Este valor fue bastante similar con el obtenido en el estudio de 6 (0.45). Así mismo el valor estimado por Amphos 21 difiere del usado por estudio 1 (5%) y 2 (2.8%) debido a que estos usaron valores obtenidos del balance hídrico nacional de Chile.

En la revisión bibliográfica no se encontró un coeficiente de escorrentía aplicado a botaderos. Por este motivo se analizó las condiciones presentadas en la tabla 3.702.503.B para asignarle un coeficiente. Los principales parámetros analizados fueron la ausencia de vegetación, una alta compactación del suelo debido al paso de los camiones o en su defecto fuertes pendientes. De este análisis se decidió dar un coeficiente de escorrentía del 0.7 para un periodo de retorno de 10 años. Finalmente, después de llevar este valor a un periodo de retorno de 2 años, el valor usado fue de 0.44.

Las precipitaciones de invierno (junio, julio y agosto) en la cuenca seleccionada son mayoritariamente sólidas. En este sector las bajas temperaturas limitan el deshielo y las pérdidas que se producen por sublimación (evaporación). Por este motivo se supone que no habría aportes significativos a la escorrentía de salida en esos meses.

Se supuso que la escorrentía superficial producida por el derretimiento de la nieve ( $Esc_{nival}$ ) se presenta entre septiembre y diciembre. Para evaluar el derretimiento potencial de nieves se utilizó la fórmula del US Corps of Engineers para cuencas sin vegetación. La fórmula usada es la siguiente:

$$M=0.005*K*(1-a)*I+(1-N)*(0.00212*Ta'-0.84)+0.029*N*Tc'+0.0084*K*V*(0.22*Ta'+0.78*Td')$$

#### Ecuación 19

Donde,

M= Tasa de fusión, en pulgadas/día

Ta= Temperatura del aire medida a 10 pies d altura, en °F.

Td= Temperatura de punto de rocío a 10 pies d altura, en °F.

Ta'= Ta-Ts. en °F.

Td'= Td-Ts en °F.

V= Velocidad del viento a 50 pies de altura en millas/ hora

I= Radicación solar incidente observada o estimada en Ly

A= Albedo medio de la nieve

Tc= Temperatura de la base de la nube en °F.

Tc'= Tc-Ts en °F.

N= Nubosidad en décimos

K'= Factor de fusión por radiación de onda corta que depende de la pendiente del terreno.

Dada la escasa información meteorológica existente y con el fin de maximizar los caudales de deshielo se han hecho una serie de simplificaciones, tales como:

- Cielos totalmente despejados
- Nieve a punto de derretirse

Con esto y haciendo el cambio de unidades correspondientes, se llega a la expresión reducida que maximiza el caudal de deshielo. Esto es muy importante de cara a trabajar con factores y valores que dan una mayor seguridad.

$$M=0.129*I*(1-a)+(0.97*Ta-21.33)+3.6*(Ta-9.36)$$

**Ecuación 20**

Donde

M= Tasa de fusión, en pulgadas/día

I= Radiación solar incidente observada o estimada en Ly

Ta= Temperatura del aire, en °C.

a= Albedo medio de la nieve.

Los datos necesarios para estimar M ( $M=0.129*I*(1-a)+(0.97*Ta-21.33)+3.6*(Ta-9.36)$  Ecuación 20), fueron obtenidos del modelo hidrogeológico presentado por Schlumberger (2008). Su valor estimado fue de 14.4 mm/día.

La Tabla 4-3 presenta los valores de escorrentía tanto pluvial como nival (para las precipitaciones medias, precipitaciones con probabilidad de excedencia del 50% y con excedencia del 85%) discretizado en los 12 meses del año hidrológico y para los 7 años requeridos. Es importante recalcar que el aporte a la escorrentía por la nieve es

menor en comparación con la producida por la lluvia. Se observa que el valor crítico de diseño se da en el mes de mayo donde se dan los valores más altos de escorrentía superficial.

Tabla 4-3. Valores de escorrentía superficial de origen tanto pluvial como nival (l/s).

Cálculo Escurrimiento.		MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Pluvial	Escurrimiento lluvia Año 0 (L/s)	22,19	11,51	1,47	2,46	0,32	0,13	0,01	0,07	0,04	0,05	1,87	3,12
	Escurrimiento lluvia Año 1 (L/s)	22,31	11,57	1,48	2,48	0,32	0,13	0,01	0,07	0,04	0,05	1,88	3,14
	Escurrimiento lluvia Año 2 (L/s)	22,39	11,61	1,49	2,49	0,32	0,13	0,01	0,07	0,04	0,05	1,89	3,15
	Escurrimiento lluvia Año 3 (L/s)	22,50	11,67	1,49	2,50	0,32	0,13	0,01	0,07	0,04	0,05	1,89	3,16
	Escurrimiento lluvia Año 4 (L/s)	22,59	11,72	1,50	2,51	0,32	0,13	0,01	0,07	0,04	0,05	1,90	3,18
	Escurrimiento lluvia Año 5 (L/s)	22,67	11,76	1,51	2,52	0,33	0,13	0,01	0,07	0,04	0,05	1,91	3,19
	Escurrimiento lluvia Año 6 (L/s)	22,72	11,78	1,51	2,52	0,33	0,13	0,01	0,07	0,04	0,05	1,91	3,20
	Escurrimiento lluvia Año 7 (L/s)	<b>22,82</b>	11,84	1,52	2,53	0,33	0,14	0,01	0,07	0,04	0,05	1,92	3,21
nival	Escurrimiento Nieve Año 0 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 1 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 2 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 3 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 4 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 5 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 6 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 7 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cál. Prob.de excedencia del 50%</b>		MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Pluvial	Escurrimiento lluvia Año 0 (L/s)	23,41	12,14	1,56	2,60	0,34	0,14	0,01	0,07	0,04	0,05	1,97	3,29
	Escurrimiento lluvia Año 1 (L/s)	23,53	12,20	1,56	2,61	0,34	0,14	0,01	0,07	0,04	0,05	1,98	3,31
	Escurrimiento lluvia Año 2 (L/s)	23,61	12,25	1,57	2,62	0,34	0,14	0,01	0,07	0,04	0,05	1,99	3,32
	Escurrimiento lluvia Año 3 (L/s)	23,73	12,31	1,58	2,63	0,34	0,14	0,01	0,07	0,04	0,05	2,00	3,34
	Escurrimiento lluvia Año 4 (L/s)	23,82	12,36	1,58	2,65	0,34	0,14	0,01	0,07	0,04	0,05	2,01	3,35
	Escurrimiento lluvia Año 5 (L/s)	23,91	12,40	1,59	2,65	0,34	0,14	0,01	0,07	0,04	0,05	2,01	3,36
	Escurrimiento lluvia Año 6 (L/s)	23,96	12,43	1,59	2,66	0,34	0,14	0,01	0,07	0,04	0,05	2,02	3,37
	Escurrimiento lluvia Año 7 (L/s)	<b>24,07</b>	12,49	1,60	2,67	0,35	0,14	0,01	0,07	0,05	0,05	2,03	3,39
nival	Escurrimiento Nieve Año 0 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,79	0,79	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 1 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,79	0,79	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 2 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,79	0,79	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 3 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,79	0,79	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 4 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,79	0,79	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 5 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,79	0,79	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 6 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,79	0,79	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 7 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,79	0,79	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cál. Prob. de excedencia del 85%</b>		MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Pluvial	Escurrimiento lluvia Año 0 (L/s)	41,50	21,53	2,76	4,61	0,60	0,25	0,02	0,13	0,08	0,09	3,49	5,84
	Escurrimiento lluvia Año 1 (L/s)	41,71	21,64	2,77	4,63	0,60	0,25	0,02	0,13	0,08	0,09	3,51	5,87
	Escurrimiento lluvia Año 2 (L/s)	41,86	21,72	2,78	4,65	0,60	0,25	0,02	0,13	0,08	0,09	3,53	5,89
	Escurrimiento lluvia Año 3 (L/s)	42,07	21,82	2,79	4,67	0,60	0,25	0,02	0,13	0,08	0,09	3,54	5,92
	Escurrimiento lluvia Año 4 (L/s)	42,24	21,91	2,81	4,69	0,61	0,25	0,02	0,13	0,08	0,09	3,56	5,94
	Escurrimiento lluvia Año 5 (L/s)	42,39	21,99	2,82	4,71	0,61	0,25	0,02	0,13	0,08	0,09	3,57	5,96
	Escurrimiento lluvia Año 6 (L/s)	42,48	22,03	2,82	4,72	0,61	0,25	0,02	0,13	0,08	0,09	3,58	5,98
	Escurrimiento lluvia Año 7 (L/s)	<b>42,67</b>	22,14	2,84	4,74	0,61	0,25	0,02	0,13	0,08	0,09	3,59	6,00
nival	Escurrimiento Nieve Año 0 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 1 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 2 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 3 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 4 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 5 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 6 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escurrimiento Nieve Año 7 (L/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00

## 4.6 Estimación de la Infiltración

Los valores estimados de precipitación se usan para calcular el  $Q_{Sub}$  y el caudal que se infiltra en el botadero, y que será necesario tanto en la estimación del  $Q_{Dep}$  como en la evaluación de la composición química del drenaje ácido del botadero.

Del estudio 6 se estimó una recarga del 7% para la cuenca del Río Pulido. Como se comentó anteriormente, en la cuenca del Río Pulido se encuentra la subcuenca de la quebrada La Brea. Por este motivo se adoptó un 7% de recarga para las estimaciones en este estudio. Finalmente la infiltración se estimó como:

$$Inf_{cuenca} = Area_{cuenca} \times Pp \times Coef_{Inf\_Cuenca} \quad \text{Ecuación 21}$$

Para calcular la infiltración en el botadero en tanto, de acuerdo a la experiencia de Amphos 21, se adopta un coeficiente de infiltración ( $Coef_{Inf\_Botadero}$ ) de 5,7%, un 20% inferior al coeficiente de infiltración de la cuenca. El coeficiente de infiltración del botadero se asume menor que en la cuenca natural principalmente debido a la alta compactación que sufre el piso de los botaderos por volteo producto del paso de los camiones. De forma similar al caso de la cuenca, la infiltración se calculó como:

$$Inf_{Botader} = Area(i)_{Botadero} \times Pp \times Coef_{Inf\_Botadero} \quad \text{Ecuación 22}$$

Los valores calculados tanto para la cuenca como para el botadero se presentan en la Tabla 4-4.

Dado que existe una mayor incertidumbre en el coeficiente de infiltración a utilizar para el botadero, en los cálculos posteriores (Capítulo 5 y 6) se realiza un análisis de sensibilidad utilizando un valor 2,5 veces superior de infiltración.

**Tabla 4-4. Valores de Infiltración (m<sup>3</sup>/mes) tanto para la zona de cuenca como para la zona de botadero para los diferentes años.**

Cálculo Infiltración media		MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Infiltración Sólo Área de cuenca	Año 0 (m <sup>3</sup> /mes)	10110,01	5244,21	671,69	1122,63	145,06	59,92	4,73	30,59	18,92	22,07	851,44	1422,21
	Año 1 (m <sup>3</sup> /mes)	9589,19	4974,06	637,09	1064,80	137,59	56,83	4,49	29,01	17,95	20,94	807,57	1348,95
	Año 2 (m <sup>3</sup> /mes)	9216,32	4780,64	612,31	1023,40	132,24	54,62	4,31	27,88	17,25	20,12	776,17	1296,49
	Año 3 (m <sup>3</sup> /mes)	8722,84	4524,67	579,53	968,60	125,16	51,69	4,08	26,39	16,32	19,05	734,61	1227,08
	Año 4 (m <sup>3</sup> /mes)	8308,21	4309,59	551,98	922,56	119,21	49,24	3,89	25,14	15,55	18,14	699,69	1168,75
	Año 5 (m <sup>3</sup> /mes)	7941,08	4119,16	527,59	881,79	113,94	47,06	3,72	24,03	14,86	17,34	668,77	1117,10
	Año 6 (m <sup>3</sup> /mes)	7720,90	4004,94	512,96	857,34	110,78	45,76	3,61	23,36	14,45	16,86	650,23	1086,13
	Año 7 (m <sup>3</sup> /mes)	7246,22	3758,72	481,42	804,63	103,97	42,94	3,39	21,92	13,56	15,82	610,26	1019,35

Cál. Inf. Prob. de ex. del 50%		MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Infiltración Sólo Área de cuenca	Año 0 (m <sup>3</sup> /mes)	10662,75	5530,93	708,41	1184,01	152,99	63,19	4,99	32,26	19,96	23,28	897,99	1499,97
	Año 1 (m <sup>3</sup> /mes)	10113,45	5246,00	671,92	1123,02	145,11	59,94	4,73	30,60	18,93	22,08	851,73	1422,70
	Año 2 (m <sup>3</sup> /mes)	9720,19	5042,01	645,79	1079,35	139,47	57,61	4,55	29,41	18,19	21,22	818,61	1367,38
	Año 3 (m <sup>3</sup> /mes)	9199,74	4772,04	611,21	1021,56	132,00	54,52	4,30	27,83	17,22	20,09	774,78	1294,16
	Año 4 (m <sup>3</sup> /mes)	8762,43	4545,20	582,16	973,00	125,72	51,93	4,10	26,51	16,40	19,13	737,95	1232,64
	Año 5 (m <sup>3</sup> /mes)	8375,24	4344,36	556,43	930,00	120,17	49,63	3,92	25,34	15,67	18,29	705,34	1178,18
	Año 6 (m <sup>3</sup> /mes)	8143,01	4223,90	541,00	904,21	116,84	48,26	3,81	24,64	15,24	17,78	685,78	1145,51
	Año 7 (m <sup>3</sup> /mes)	7642,39	3964,22	507,74	848,62	109,65	45,29	3,58	23,12	14,30	16,69	643,62	1075,08

Cál. Inf. Prob. de ex. del 85%		MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Infiltración Sólo Área de cuenca	Año 0 (m <sup>3</sup> /mes)	18903,95	9805,76	1255,94	2099,13	271,24	112,03	8,84	57,20	35,38	41,28	1592,04	2659,29
	Año 1 (m <sup>3</sup> /mes)	17930,10	9300,61	1191,24	1990,99	257,26	106,26	8,39	54,25	33,56	39,15	1510,02	2522,29
	Año 2 (m <sup>3</sup> /mes)	17232,89	8938,96	1144,92	1913,57	247,26	102,13	8,06	52,14	32,25	37,63	1451,30	2424,22
	Año 3 (m <sup>3</sup> /mes)	16310,19	8460,34	1083,62	1811,11	234,02	96,66	7,63	49,35	30,52	35,61	1373,60	2294,42
	Año 4 (m <sup>3</sup> /mes)	15534,89	8058,18	1032,11	1725,02	222,90	92,07	7,27	47,00	29,07	33,92	1308,30	2185,35
	Año 5 (m <sup>3</sup> /mes)	14848,43	7702,10	986,50	1648,80	213,05	88,00	6,95	44,93	27,79	32,42	1250,49	2088,78
	Año 6 (m <sup>3</sup> /mes)	14436,72	7488,54	959,15	1603,08	207,14	85,56	6,75	43,68	27,02	31,52	1215,82	2030,87
	Año 7 (m <sup>3</sup> /mes)	13549,17	7028,16	900,18	1504,52	194,40	80,30	6,34	40,99	25,36	29,58	1141,07	1906,01

Cálculo Infiltración media		MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Infiltración Botadero	Año 0 (m <sup>3</sup> /mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Año 1 (m <sup>3</sup> /mes)	422,29	219,05	28,06	46,89	6,06	2,50	0,20	1,28	0,79	0,92	35,56	59,41
	Año 2 (m <sup>3</sup> /mes)	724,62	375,87	48,14	80,46	10,40	4,29	0,34	2,19	1,36	1,58	61,03	101,93
	Año 3 (m <sup>3</sup> /mes)	1124,73	583,41	74,72	124,89	16,14	6,67	0,53	3,40	2,10	2,46	94,72	158,22
	Año 4 (m <sup>3</sup> /mes)	1460,92	757,80	97,06	162,22	20,96	8,66	0,68	4,42	2,73	3,19	123,03	205,51
	Año 5 (m <sup>3</sup> /mes)	1758,59	912,21	116,84	195,28	25,23	10,42	0,82	5,32	3,29	3,84	148,10	247,39
	Año 6 (m <sup>3</sup> /mes)	1937,12	1004,81	128,70	215,10	27,79	11,48	0,91	5,86	3,63	4,23	163,14	272,50
	Año 7 (m <sup>3</sup> /mes)	2321,99	1204,45	154,27	257,84	33,32	13,76	1,09	7,03	4,35	5,07	195,55	326,64

Cál. Inf. Prob. de ex. del 50%		MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Infiltración Botadero	Año 0 (m <sup>3</sup> /mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Año 1 (m <sup>3</sup> /mes)	445,38	231,02	29,59	49,46	6,39	2,64	0,21	1,35	0,83	0,97	37,51	62,65
	Año 2 (m <sup>3</sup> /mes)	764,24	396,42	50,77	84,86	10,97	4,53	0,36	2,31	1,43	1,67	64,36	107,51
	Año 3 (m <sup>3</sup> /mes)	1186,22	615,31	78,81	131,72	17,02	7,03	0,56	3,59	2,22	2,59	99,90	166,87
	Año 4 (m <sup>3</sup> /mes)	1540,80	799,23	102,37	171,09	22,11	9,13	0,72	4,66	2,88	3,36	129,76	216,75
	Año 5 (m <sup>3</sup> /mes)	1854,74	962,08	123,22	205,95	26,61	10,99	0,87	5,61	3,47	4,05	156,20	260,91
	Año 6 (m <sup>3</sup> /mes)	2043,03	1059,75	135,73	226,86	29,31	12,11	0,96	6,18	3,82	4,46	172,06	287,40
	Año 7 (m <sup>3</sup> /mes)	2448,94	1270,30	162,70	271,93	35,14	14,51	1,15	7,41	4,58	5,35	206,24	344,50

Cál. Inf. Prob. de ex. del 85%		MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Infiltración Botadero	Año 0 (m <sup>3</sup> /mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Año 1 (m <sup>3</sup> /mes)	789,61	409,58	52,46	87,68	11,33	4,68	0,37	2,39	1,48	1,72	66,50	111,08
	Año 2 (m <sup>3</sup> /mes)	1354,91	702,81	90,02	150,45	19,44	8,03	0,63	4,10	2,54	2,96	114,11	190,60
	Año 3 (m <sup>3</sup> /mes)	2103,05	1090,88	139,72	233,53	30,17	12,46	0,98	6,36	3,94	4,59	177,11	295,84
	Año 4 (m <sup>3</sup> /mes)	2731,67	1416,96	181,49	303,33	39,19	16,19	1,28	8,26	5,11	5,96	230,05	384,27
	Año 5 (m <sup>3</sup> /mes)	3288,26	1705,67	218,47	365,13	47,18	19,49	1,54	9,95	6,15	7,18	276,93	462,57
	Año 6 (m <sup>3</sup> /mes)	3622,08	1878,83	240,64	402,20	51,97	21,47	1,69	10,96	6,78	7,91	305,04	509,53
	Año 7 (m <sup>3</sup> /mes)	4341,72	2252,11	288,45	482,11	62,30	25,73	2,03	13,14	8,13	9,48	365,65	610,77

## 4.7 Estimación del caudal subterráneo

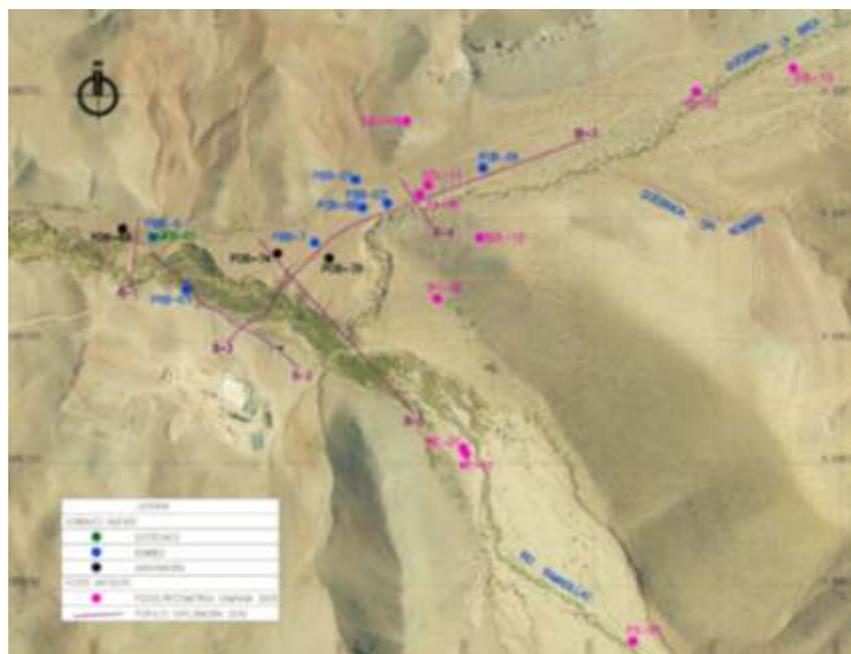
En la sección previa se estimó el caudal subterráneo a partir de un producto de la precipitación mensual y un coeficiente de infiltración (Tabla 4-4). El resumen de estos datos se encuentra en la siguiente tabla. Aquí, se presentan los valores mensuales máximo, mínimo y medio para el año 7 de construcción de botadero, resultando un caudal medio anual de 0,57 L/s para una precipitación con probabilidad de excedencia del 50%. A continuación estos valores son contrastados con los valores obtenidos mediante otra metodología aplicando la fórmula de Darcy para estimar el caudal subterráneo a través de una sección de acuífero.

**Tabla 4-5. Valores resumidos de  $Q_{sub}$  para t=7 años**

	Qmax (L/s)	Qmin (L/s)	Qmed (L/s)
Valor medio	3,9	0,39	0,54
Prob. Exc 50%	4,11	0,41	0,57
Prob. Exc 85%	7,29	0,74	1,01

Para calcular el flujo subterráneo ( $Q_{sub}$ ) a través del punto de captación mediante la fórmula de Darcy se recopiló información a partir de los estudios hidrogeológicos en la zona de la quebrada La Brea para estimar la conductividad hidráulica, la piezometría y la geometría del acuífero. Del informe *Proyecto Caserones. Estudio de Impacto Ambiental. Capítulo V-Línea Base* (Gestión ambiental consultores, 2010) se obtuvo la piezometría del sector de estudio (Figura 4-7).





**Figura 4-8. Localización de pozos de bombeo, piezómetros y sondajes geotécnicos cercanos a la zona de estudio. Fuente: SRK Consulting (2011).**

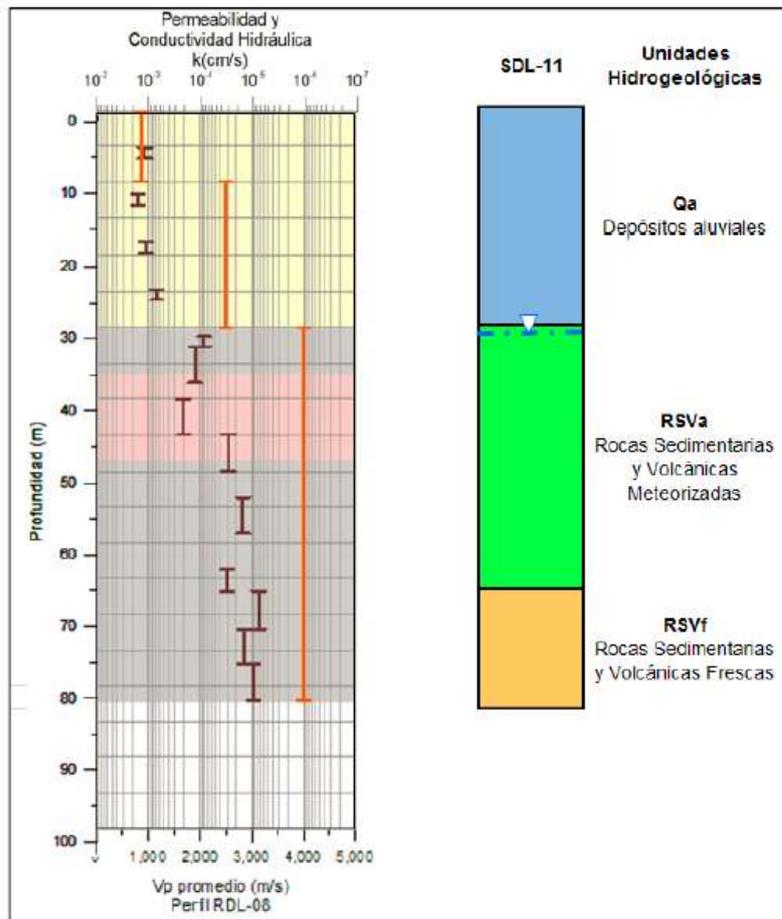
Del informe de SRK Consulting (2011), se extrajo la delimitación de unidades hidrogeológicas y los valores de permeabilidad o conductividad hidráulica para el sondeo SDL-11 localizado cerca a la futura ubicación de la zanja cortafuga. Este esquema se presenta en la Figura 4-9.

**Tabla 4-6. Valores de transmisividad en el sector de Quebrada La Brea (Fuente: SRK Consulting, 2011).**

**Tabla V-12. Tabla Resumen de Pozos de Agua Construidos por el Proyecto.**

Pozo	Estado	N	E	Profundidad	Acuífero	Nivel Estático	Espesor Acuífero	T [m <sup>2</sup> /d]	K [m/d]	S
WE-01	construido	6.886.990	437.257	150	Sedimento + Roca	3,72	146,28	462	3,2	0,0000021
WE-02	construido	6.889.545	433.216	139	Sedimento	13,73	125,4	45,6	0,4	
WE-03	construido	6.890.768	427.430	85	Sedimento	7,38	122	527	4,3	
WE-04	construido	6.889.597	425.955	150	Sedimento	27,33	122	322	2,6	
WEO-04	construido	6.889.576	425.939	62	Sedimento	28	122	457	3,7	
P1TR	construido	6.887.291	437.201	50	Sedimento + Roca	12,45	36,9	18,8	0,5	
P2 TR	construido	6.887.716	437.724	54	Sedimento + Roca	39,21	14,8	42,3	2,9	
P3 TR	construido	6.886.597	437.599	46	Sedimento + Roca	9,2	36,8	29,1 <sup>(1)</sup>	0,8	
								7,16 <sup>(2)</sup>	0,2	
Pozo 1	en construcción	6.889.667	426.021							
Pozo 2	en construcción	6.887.034	437.210							
Pozo 3	en construcción	6.887.600	437.150							

Nota: En la prueba de bombeo del pozo P3 TR se tienen dos transmisividades (primer y segundo acuífero).  
 (1): Transmisividad del acuífero superior.  
 (2): Transmisividad del acuífero inferior.



**Figura 4-9. Valores de permeabilidad en el pozo SLD-11. (Fuente: SRK Consulting, 2011).**

De las descripciones presentadas se deduce que en el punto de captura y de localización de la zanja cortafuga se tiene una conductividad media de  $10^{-3}$  (cm/s). Con este valor de conductividad, con el gradiente hidráulico ( $i = 0.2$ ) estimado a partir de la piezometría del sector y suponiendo que el acuífero (y la zanja cortafuga) tendrá unas dimensiones de 5 m de profundidad por 40 m de largo (Arcadis, 2011), se estimó que el aporte de flujo subterráneo medio sería de 0.4 L/s.

Este valor es del mismo orden de magnitud que el calculado por el balance hídrico.

El caudal aportante por el flujo de agua en el depósito de lastres ( $Q_{Dep}$ ) se estimará en el apartado 5 mediante el modelo numérico de flujo.

## 5. Estimación de caudales a pie de botadero

Con los resultados del estudio hidrológico, fundamentalmente la infiltración neta mensual que se espera tener encima de la superficie del botadero, se ha procedido a estimar el caudal de agua que se espera fluya a pie de botadero. La estimación es mensual durante los siete años estudiados e incluye únicamente el agua que ha atravesado los materiales depositados. La superficie del botadero va cambiando cada año y la posición del pie del mismo también.

Para los cálculos de este caudal, además de utilizar dos hipótesis de pluviometría (50 y 85% de excedencia), también se han utilizado dos hipótesis de tipo de flujo:

- Flujo matricial: donde los cálculos se han realizado considerando que se trata de un flujo en un medio poroso homogéneo y parcialmente saturado en agua.
- Flujo preferencial: donde, como caso extremo opuesto, se ha considerado que toda el agua infiltrada rápidamente se concentra y circula por canales preferenciales de flujo aprovechando la heterogeneidad del terreno.

### 5.1 Estimación con flujo matricial (medio poroso homogéneo)

#### 5.1.1 Metodología

Para la interpretación del flujo matricial en el interior del botadero se ha elaborado un modelo numérico de flujo subterráneo en 3D, teniendo en cuenta la evolución del propio botadero a lo largo de los 7 primeros años de funcionamiento. Para ello, se ha seguido la siguiente metodología:

1. Revisión del modelo conceptual con los nuevos datos.
2. Construcción del modelo numérico 3D adaptando la geometría a las necesidades del modelo conceptual.
3. Explotación del modelo en los distintos escenarios de precipitación (año normal y año húmedo), teniendo en cuenta las distintas fases de crecimiento del botadero.

### 5.1.2 Modelo Conceptual

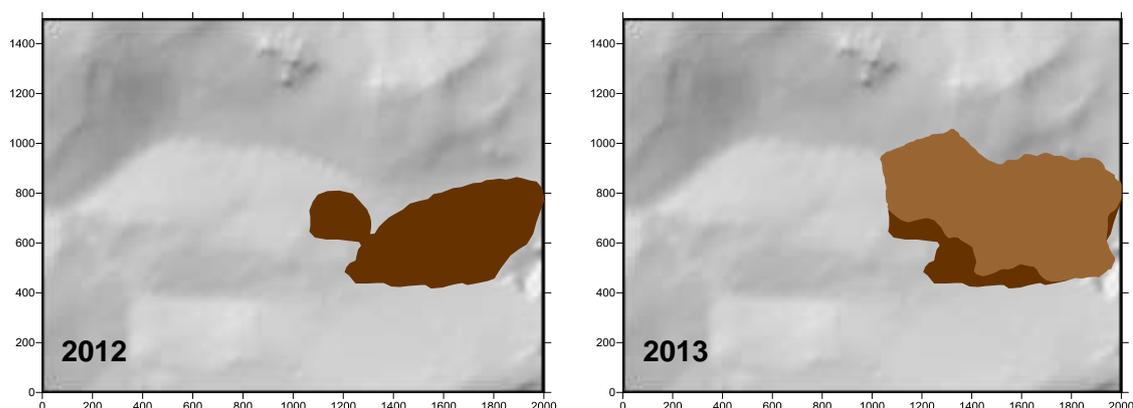
En esta fase se han actualizado las características del modelo conceptual previo, teniendo en cuenta la información nueva aportada del botadero y los nuevos datos disponibles:

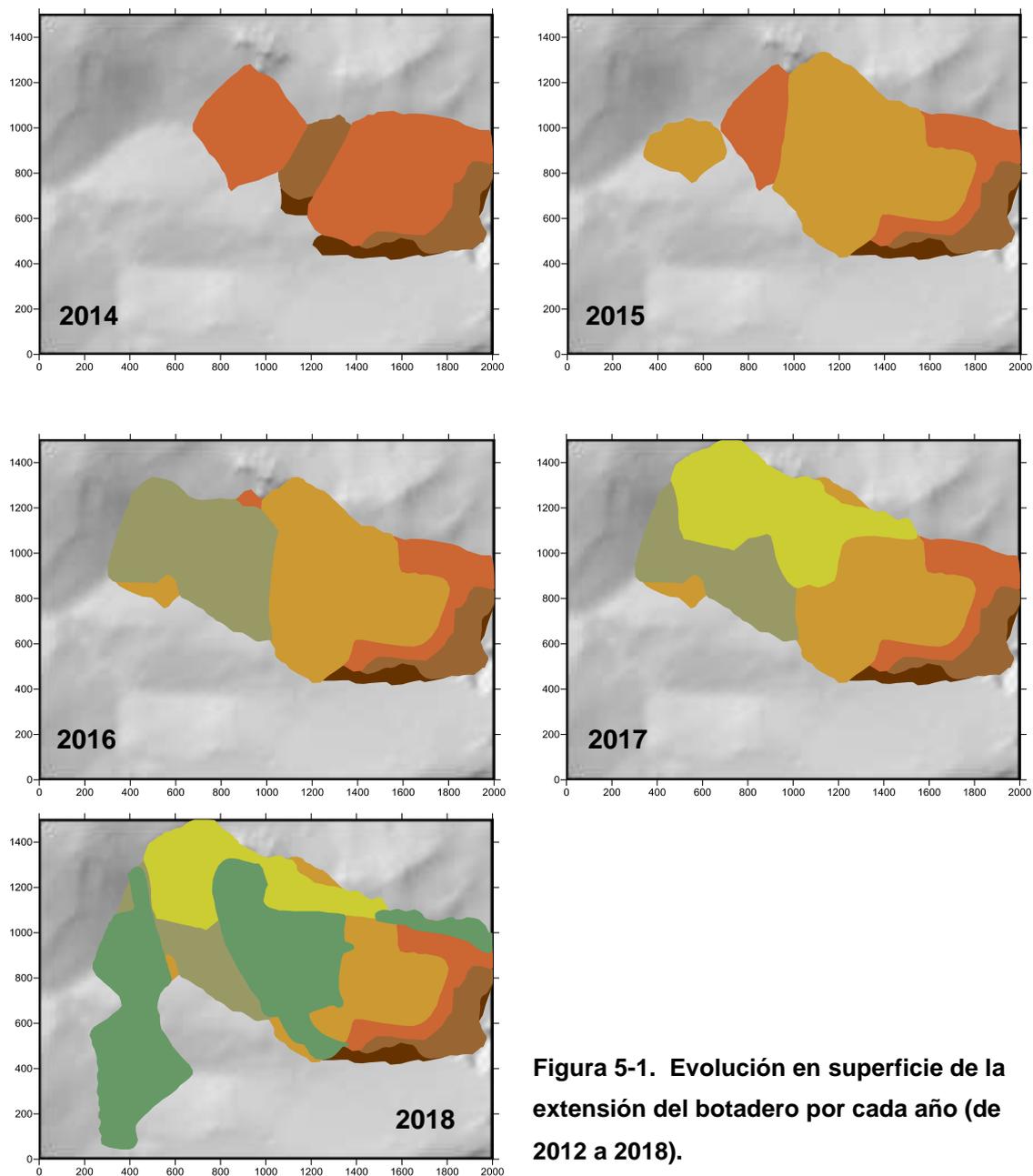
- Evolución anual de la morfología del botadero.
- Determinación de los parámetros hidráulicos característicos de los materiales.
- Recarga al sistema.

Para calcular el flujo matricial se ha utilizado el modelo de van Genuchten (1980).

#### 5.1.2.1 Morfología del botadero

El botadero de lastres evoluciona morfológicamente a lo largo del tiempo. Cada año de funcionamiento cambia su morfología, por lo tanto, cambia la superficie, la topografía y el espesor. Se ha subdividido el modelo conceptual en 7 capas distintas, teniendo en cuenta cada uno de los años de explotación del botadero (7 años) y poder determinar el funcionamiento hidrogeológico para cada una de las fases de crecimiento. La Figura 5-1 muestra la evolución en superficie de la extensión del botadero por cada año de su funcionamiento:





**Figura 5-1. Evolución en superficie de la extensión del botadero por cada año (de 2012 a 2018).**

En la tabla siguiente se expone el cambio de área y volumen del botadero por año de evolución del mismo:

**Tabla 5-1. Área y volumen de tierras del botadero a lo largo de su funcionamiento.**

Años	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
1 (2012)	231085	7913203
2 (2013)	396526	22684164
3 (2014)	615475	46459839
4 (2015)	799446	75489264
5 (2016)	962336	97092381
6 (2017)	1060031	114595769
7 (2018)	1270639	132008210

### 5.1.2.2 Caracterización de parámetros hidráulicos

Los materiales que conformarán el botadero son susceptiblemente distintos de la roca madre de la que derivarán. De éstos, hay poca información disponible para poder determinar parámetros hidrodinámicos que los caractericen con precisión (porosidad, conductividad hidráulica, curvas de retención). Para el caso de estudio, se ha establecido un medio isótropo en todo el botadero, utilizando los parámetros que se exponen a continuación.

#### 5.1.2.3 Porosidad

En el caso de la porosidad, se ha determinado a partir de una granulometría del material estéril aportada (Figura 5-2 y Figura 5-3).

Cabe destacar que únicamente el 10% de las partículas del material estéril caracterizado pertenece a partículas de tamaño inferior a 2 mm (arenas), así el 90 % de éste corresponde a gravas y bolos.

Así, el material que compone el estéril del botadero viene definido por gravas con bolos y arenas. Para éste, se ha determinado un valor de porosidad de 0.25.

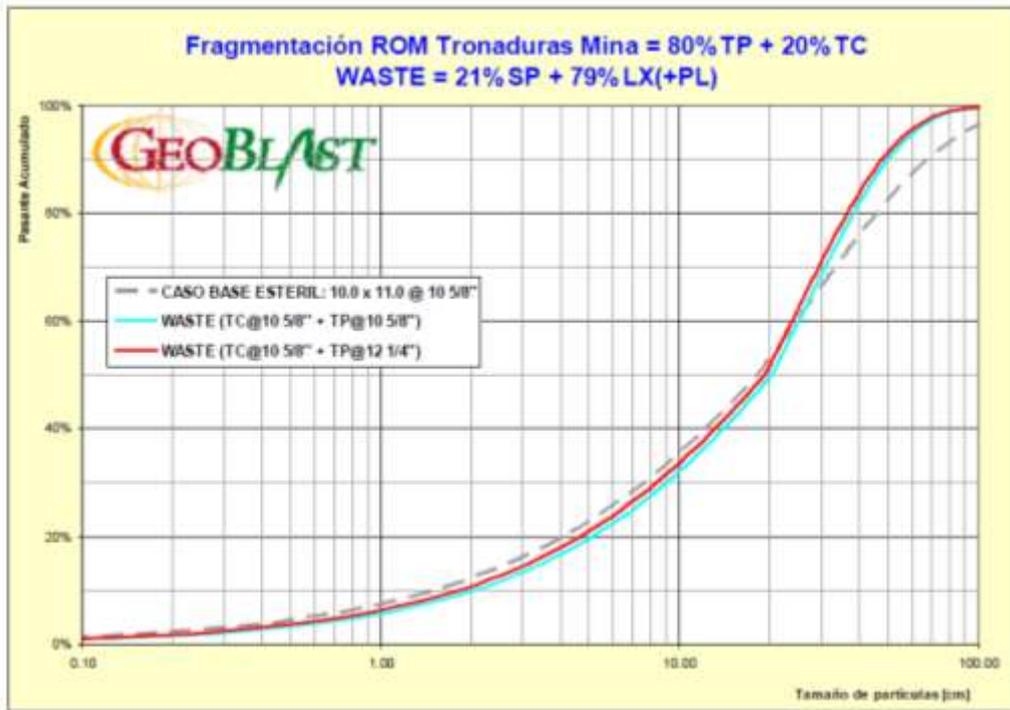


Figura 5-2. Granulometría del material estéril aportada.

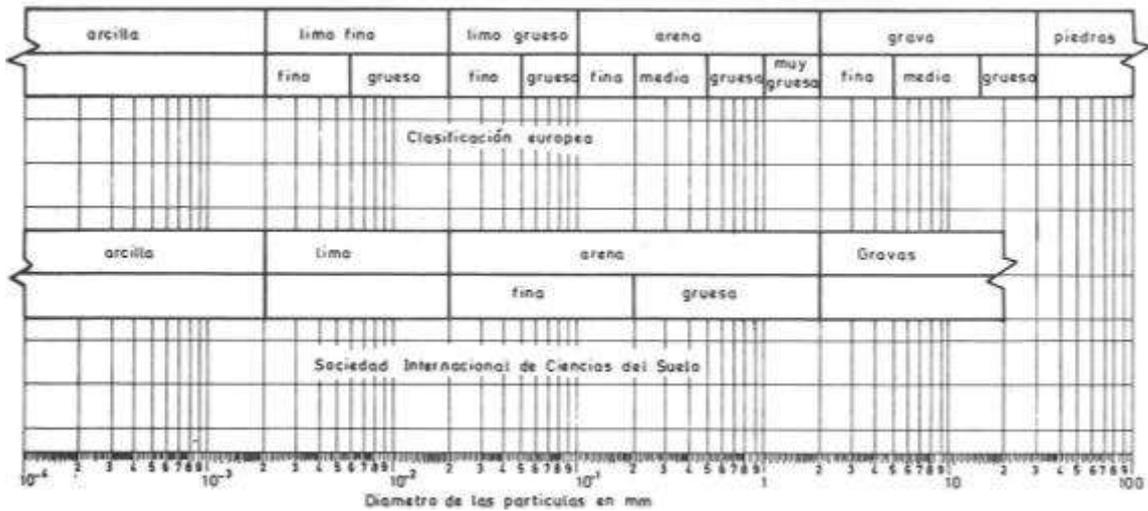


Figura 5-3. Clasificación de los materiales granulares por el tamaño de grano (Custodio & Llamas, 1983).

#### 5.1.2.4 Conductividad hidráulica

A partir de la clasificación de las curvas de Breddin (Breddin, 1963), el mismo material estéril se ha caracterizado con una permeabilidad de entre 3 y 0,7 cm/s (entre 0,03 y 0,007 m/s), eligiéndose una permeabilidad media del material de 0.01 m/s (Figura 5-4). Esta estimación esta en el rango de los valores reportados en otros estudios (e.g. Lefebvre *et. al.*, 2001)

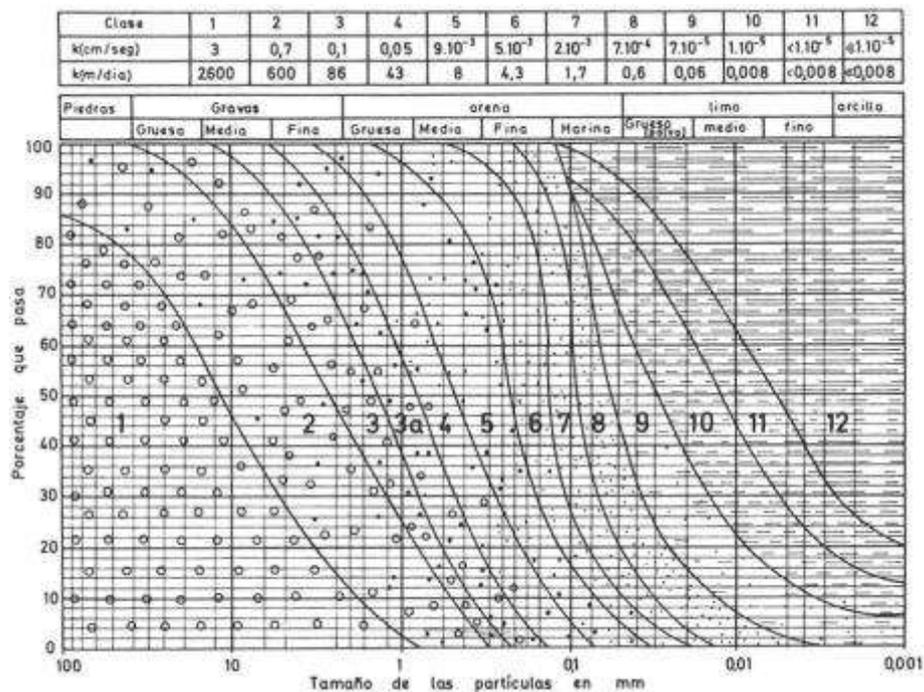


Figura 5-4. Curvas de Breddin (Breddin, 1963).

#### 5.1.2.5 Humedad residual

Para el cálculo de flujo en zona vadosa uno de los parámetros de referencia a tener en cuenta es la humedad residual.

En general, en términos de saturación residual, se puede definir que es más baja en arenas y gravas y más alta en terrenos arcillosos, pudiendo oscilar entre un rango de 0,01 a 0,4. Según información proporcionada por MLCC la humedad residual de los

materiales del botadero será de 0,02 (2%). Para ser conservadores en los cálculos realizados en este estudio se ha tomado un valor de 0,03 (3%).

Por otro lado, no se dispone de información referente a la humedad real del material del botadero al ser depositado. Esta propiedad es crítica en la respuesta del sistema, debido a que el caudal de salida de agua en el botadero dependerá en su mayor parte de este parámetro. Para dicho estudio se ha creído conveniente utilizar como humedad inicial la humedad de equilibrio en condiciones de flujo para la recarga de cada escenario.

A continuación se expone en la Tabla 5-2 un resumen de los parámetros hidráulicos indicados.

**Tabla 5-2. Parámetros hidráulicos.**

Material	Porosidad	Conductividad hidráulica	Humedad residual
	(%)	(m/s)	(%)
Gravas con bolos y arenas	25	0.01	3

#### 5.1.2.6 Parámetros de van Genuchten

Valores medios de los parámetros de van Genuchten obtenidos experimentalmente vienen reportados en Carsel & Parrish (1988); en general tanto *alpha* como *beta* aumentan con el tamaño de grano. Los parámetros utilizados en las simulaciones son los indicados en la Tabla 5-3.

**Tabla 5-3. Parámetros de van Genuchten**

Parámetros van Genuchten		Valores
<i>Alpha</i>	[1/m]	1
<i>Beta</i>	[-]	2

Estos parámetros determinan la retención de humedad así como y las características de la permeabilidad relativa (permeabilidad en función del grado de saturación).

### 5.1.2.7 Recarga

Referente a la recarga considerada, se han tenido en cuenta los datos meteorológicos estimados en el capítulo 4 de “Hidrología de la cuenca”, obteniéndose a partir de ellos la infiltración mensual media. A partir de ésta (Tabla 4-4) se han calculado unos valores de recarga con una probabilidad de excedencia de 50 % (como año normal) y con una probabilidad de excedencia de 85 % (como año húmedo). Los valores tomados se exponen en la Tabla 5-4.

**Tabla 5-4. Valores de recarga por infiltración utilizados.**

Mes	Recarga por infiltración media	Recarga con probabilidad de excedencia del 50%	Recarga con probabilidad de excedencia del 85%
	(mm/mes)	(mm/mes)	(mm/mes)
ENE	0.003	0.004	0.006
FEB	0.004	0.004	0.007
MAR	0.154	0.162	0.288
ABR	0.257	0.271	0.481
MAY	1.827	1.927	3.417
JUN	0.948	1.000	1.772
JUL	0.121	0.128	0.227
AGO	0.203	0.214	0.379
SEP	0.026	0.028	0.049
OCT	0.011	0.011	0.020
NOV	0.002	0.002	0.004
DIC	0.014	0.013	0.026

Debido a la alta incertidumbre de los datos meteorológicos, se decidió hacer un análisis de sensibilidad a la recarga por infiltración con el objetivo de tener un factor de seguridad en cuanto a la cantidad y calidad del agua a pie de botadero. Por este motivo además se multiplicó los valores de recarga por infiltración de la Tabla 5-4 por un factor de 2.5.

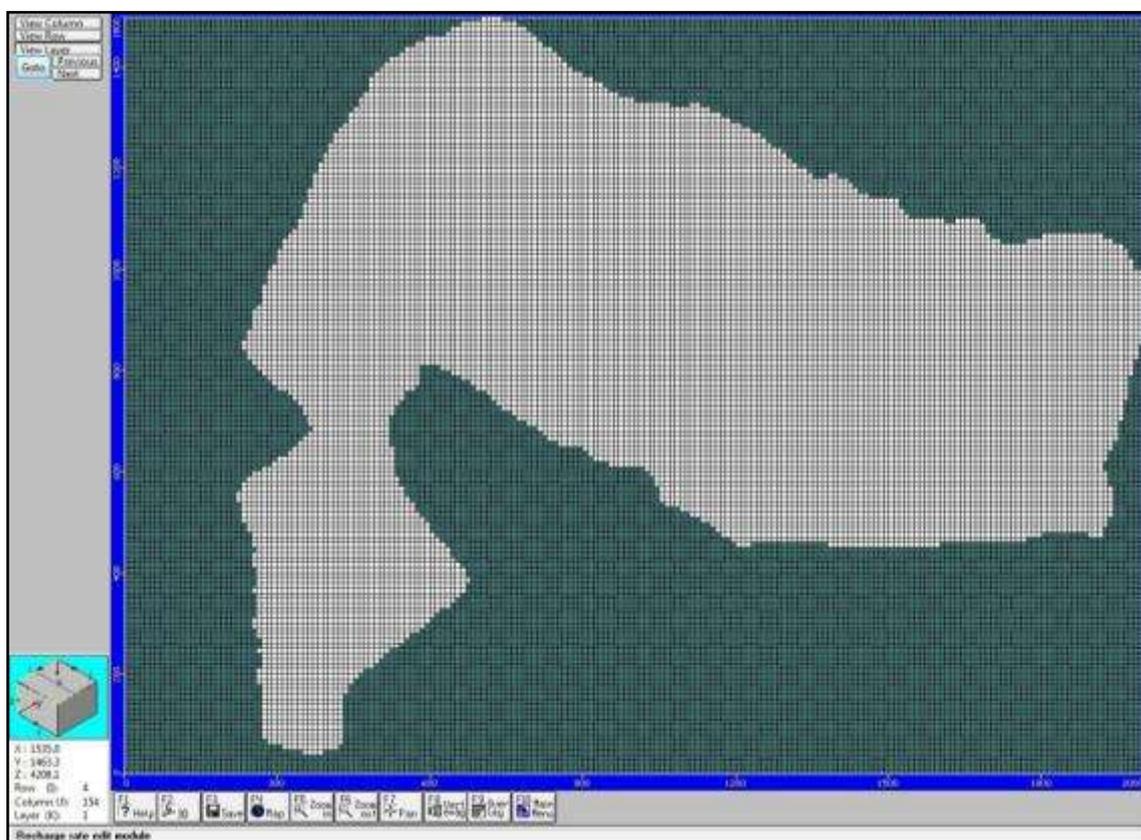
### **5.1.3 Modelo numérico**

Se ha elaborado un modelo numérico para el cálculo del flujo matricial para las distintas fases de crecimiento previstas del botadero, realizando un modelo de diferencias finitas para el cálculo de flujo en medio no saturado. Se han realizado simulaciones transitorias para los dos escenarios de recarga (50% y 85%) indicados en la Tabla 5-4. El modelo se ha implementado en el código MODFLOW-SURFACT (Panday and Huyakorn, 2008) usando la interfaz VISUAL MODFLOW como pre- y post- procesador.

#### **5.1.3.1 Dominio y malla 2D**

En la elaboración del modelo numérico, se ha adaptado la malla de diferencias finitas a la geometría del botadero. Para ello, se ha realizado una malla para cada uno de los años de funcionamiento del botadero, ajustándola a cada una de las superficies del mismo botadero.

La malla 2D (Figura 5-5) está formada por 200 columnas y 150 filas (30.000 celdas de tamaño de 10m x 10m), englobando el área de la cuenca afectada por el botadero a lo largo de los diferentes años de su evolución.



**Figura 5-5. Vista de la superficie de la Malla 2D para el año 7 de funcionamiento del botadero (2018).**

### 5.1.3.2 Malla 3D

Debido a la morfología cambiante del botadero (ver apartado 5.1.2.1) la tercera dimensión del modelo se ha elaborado por cada uno de los años de evolución del botadero. Así, para cada año, se ha utilizado su correspondiente malla 2D y se ha adaptado a la topografía del terreno correspondiente. De esta manera, resultan 7 mallas 3D distintas, utilizando como base la topografía del año 2010 (considerado como año = 0).

Verticalmente el modelo tridimensional se ha subdividido en diversas capas, para poder obtener datos de evolución del nivel piezométrico (y presión de agua) y el grado de saturación (o humedad) a lo largo de la vertical (Figura 5-7).

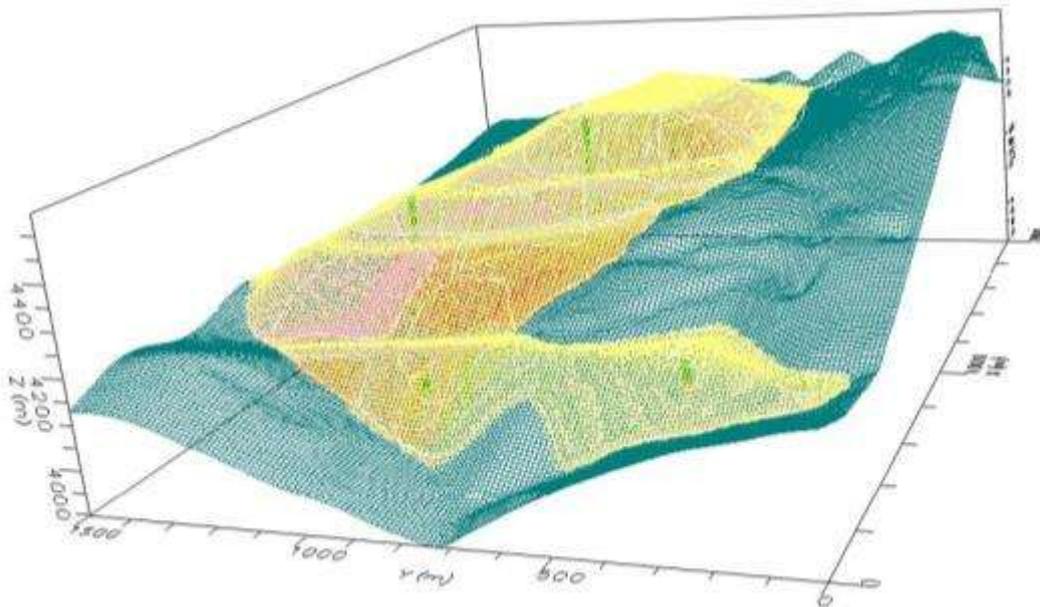


Figura 5-6. Vista general de la malla 3D en el año 7 de funcionamiento del botadero (2018).

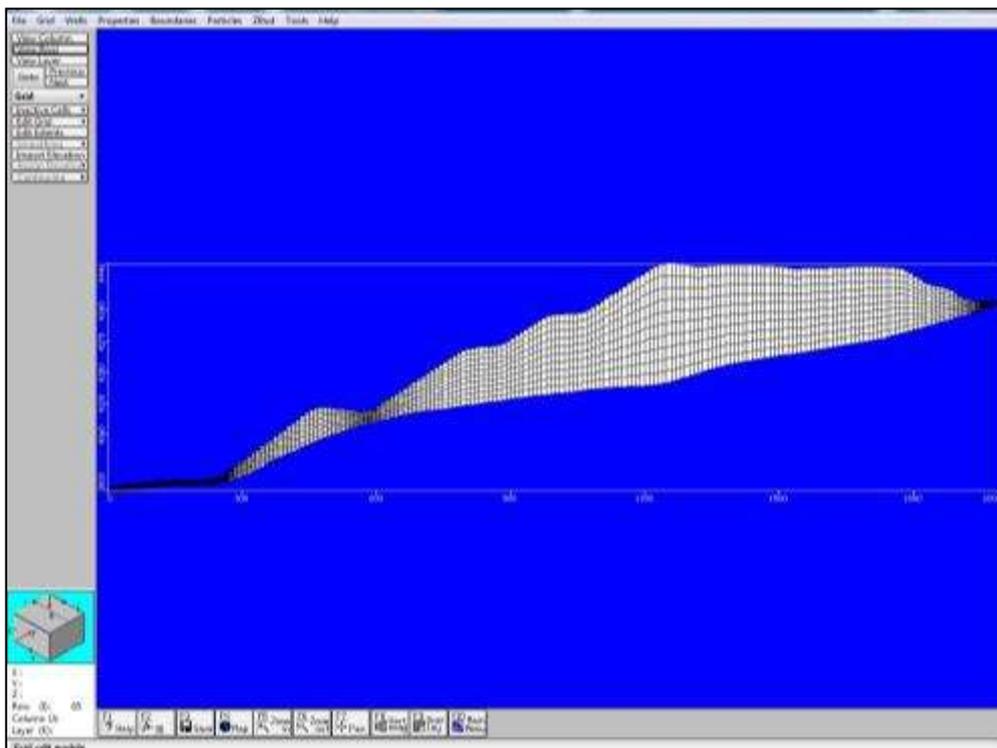


Figura 5-7. Vista sección de la malla 3D en el año 7 de funcionamiento del botadero (2018).

### **5.1.3.3 Condiciones iniciales y de contorno**

Además de la infiltración impuesta en la parte superior, se ha establecido como condición de contorno lateral un flujo nulo. Para la salida de aguas a pie del botadero, se ha introducido un nivel prescrito igual a la cota de la base de la celda, con el objetivo de obtener el volumen total de salida de agua en este punto.

Como condiciones iniciales de saturación, a falta de datos reales, se ha utilizado la humedad de equilibrio del material, en condiciones de régimen permanente de precipitación para cada uno de los escenarios (año normal y año húmedo). Para ello, se ha determinado la condición de equilibrio en cada uno de los años de crecimiento del botadero y para los dos escenarios de precipitación diferentes.

### **5.1.4 Resultados**

#### **5.1.4.1 Humedad**

El contenido en agua de los materiales depositados en el botadero es determinante en la respuesta del botadero en términos de caudal a pie de botadero. En el caso extremo, suponiendo que el material está seco (es decir, con un grado de saturación igual a la humedad residual) el agua de infiltración de los primeros años humedece el botadero hasta alcanzar las condiciones de humedad de equilibrio en que las entradas y salidas se estabilizan. Esto se traducirá en unas salidas de agua nulas o escasas los primeros años.

Si, por el contrario, el material depositado tiene una humedad elevada (superior a esta humedad de equilibrio), habrá un flujo gravitacional y el botadero tendrá tendencia a secarse con el tiempo y los caudales de salida serán mayores a los caudales de infiltración hasta equilibrarse.

Para la elaboración de los dos escenarios a simular (año normal y año húmedo) se ha supuesto que el material depositado tiene una humedad correspondiente a la humedad de equilibrio en condiciones de flujo. Para el cálculo de la humedad de equilibrio se han tomado dos puntos de control en varias de las simulaciones realizadas, uno en la parte alta del botadero y otro en la parte baja (Figura 5-8 y Figura 5-9). Los resultados de los cálculos se representan en las siguientes figuras (Figura 5-8 a Figura 5-16).

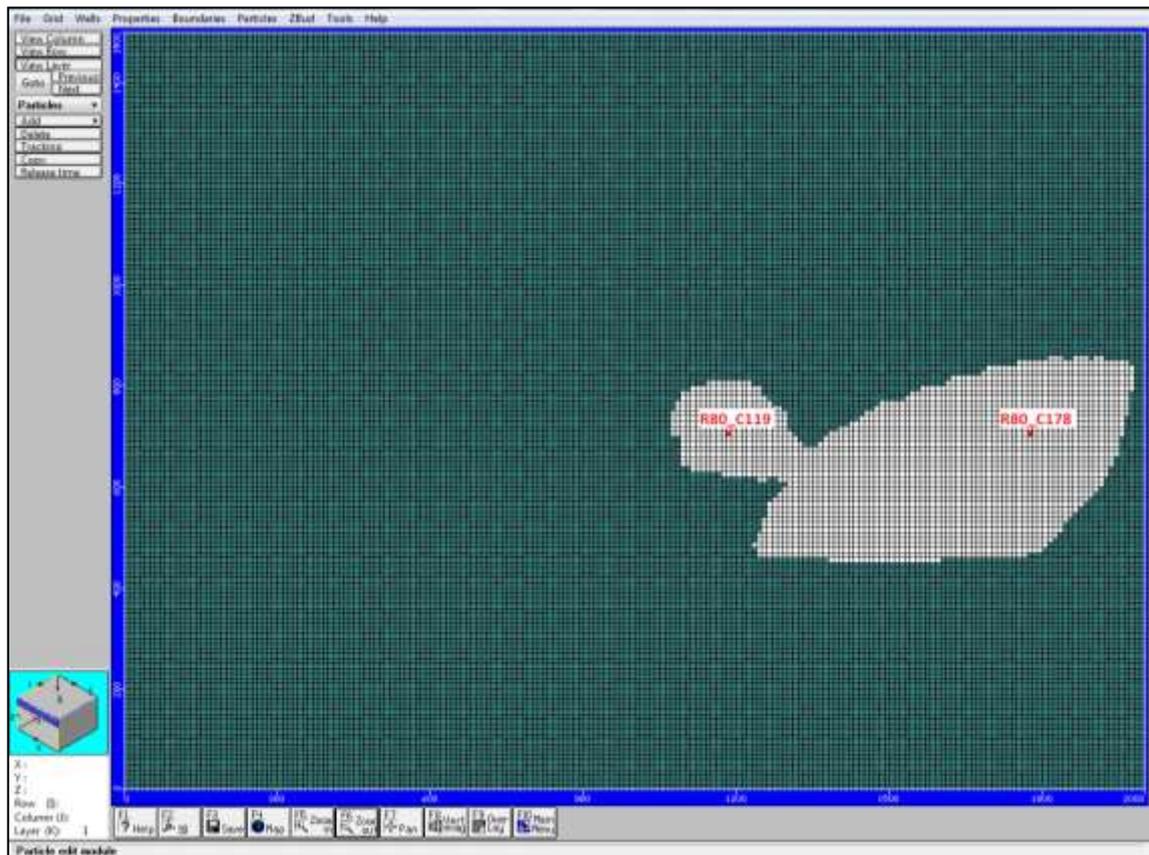


Figura 5-8. Localización en planta de los puntos de observación de perfiles verticales de saturación en la simulación del primer año de botadero.

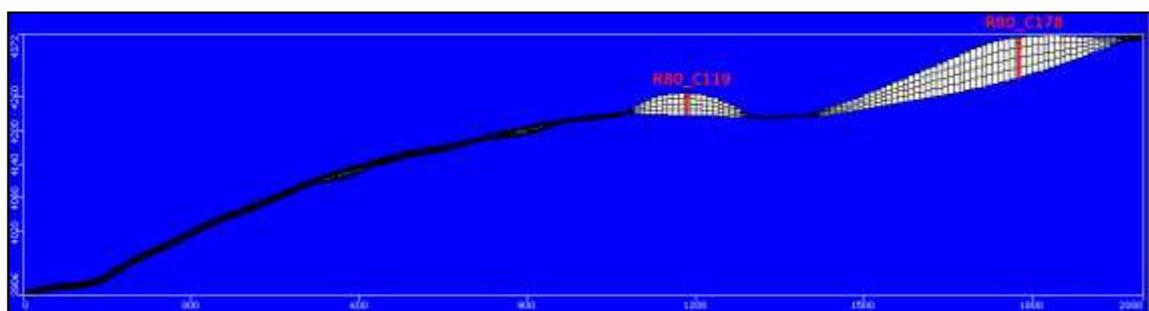


Figura 5-9. Localización en sección de los puntos de observación de perfiles verticales de saturación en la simulación del primer año de botadero.

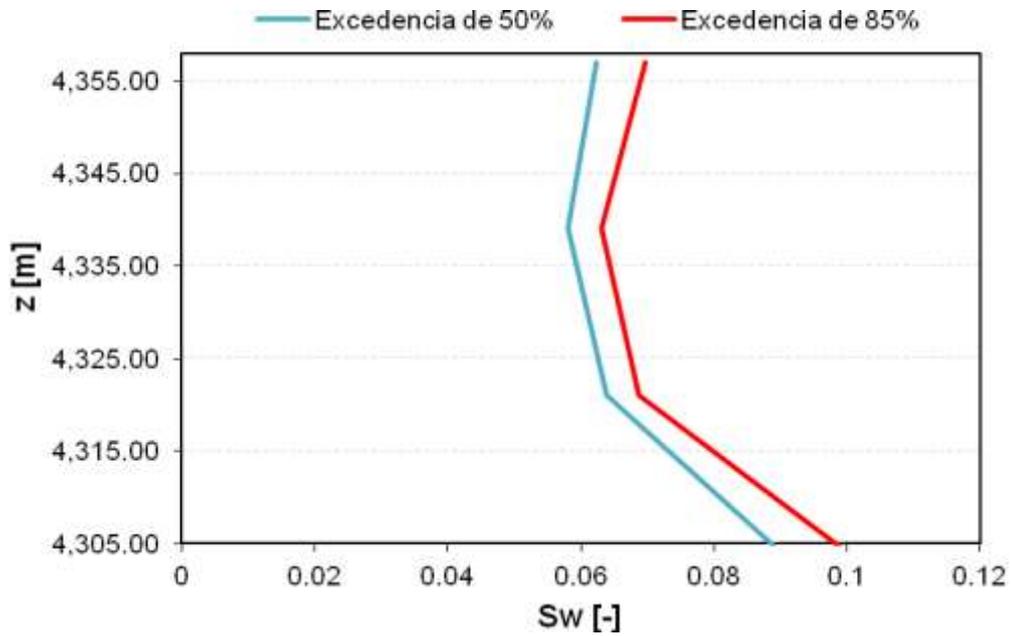


Figura 5-10. Comparativa del perfil vertical de saturación en un punto en la parte alta del botadero (R80\_C178) para el primer año de botadero y probabilidad de excedencia de 50% y de 85%.

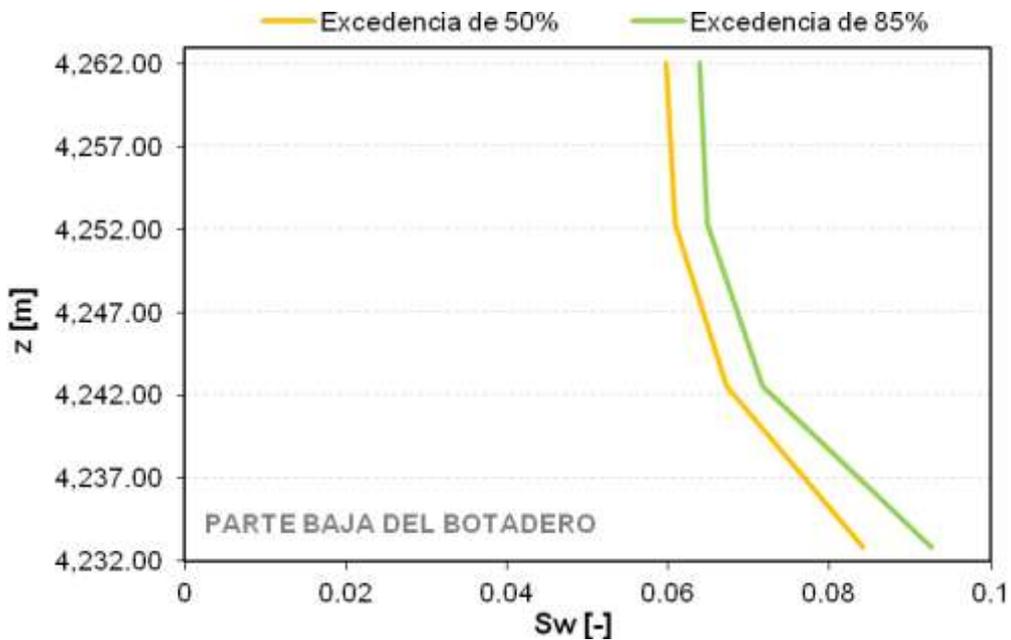


Figura 5-11 Comparativa del perfil vertical de saturación en punto en la parte baja del botadero (R80\_C119) para el primer año de botadero y probabilidad de excedencia de 50% y de 85%.

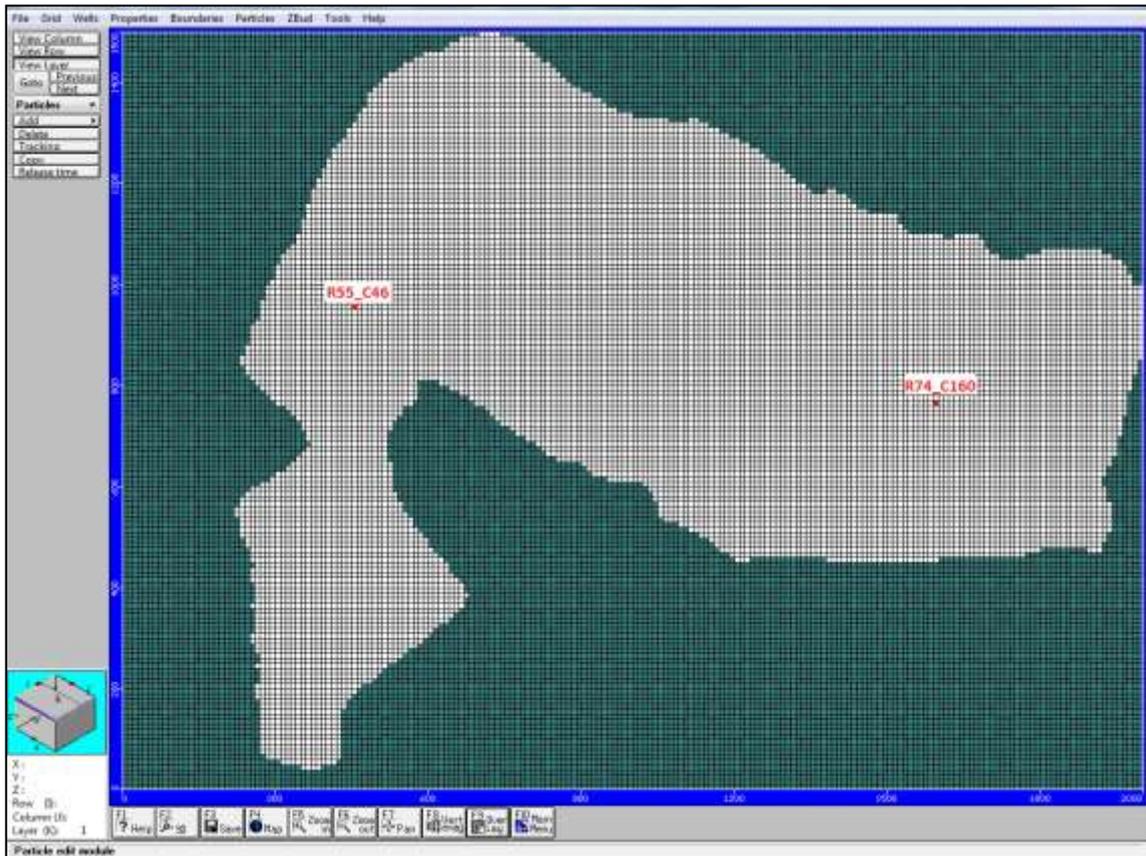


Figura 5-12. Localización en planta de los puntos de observación de perfiles verticales de saturación en la simulación del séptimo año de botadero (2018).

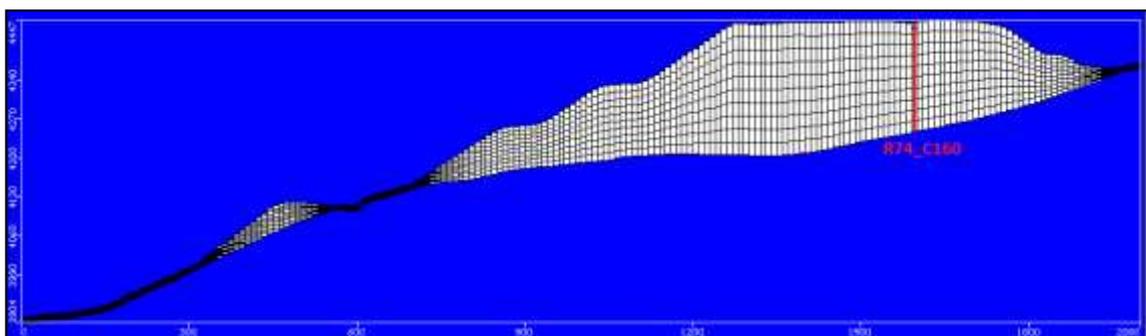


Figura 5-13. Localización en planta del punto de observación de perfil vertical de saturación en la parte alta del botadero en la simulación del séptimo año.

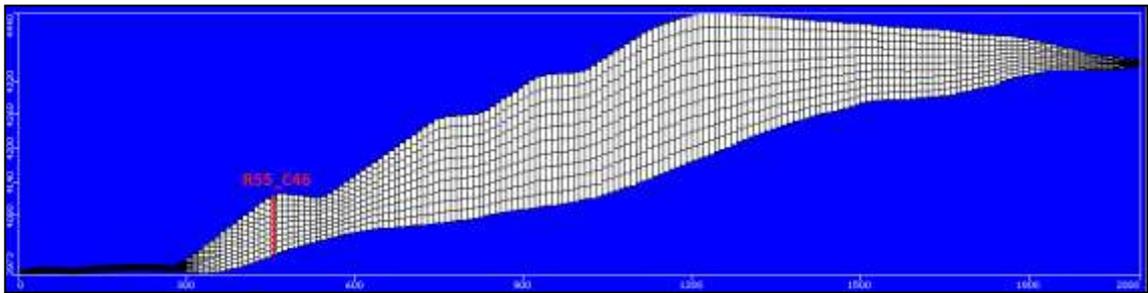


Figura 5-14. Localización en planta del punto de observación de perfil vertical de saturación en la parte baja del botadero en la simulación del séptimo año.

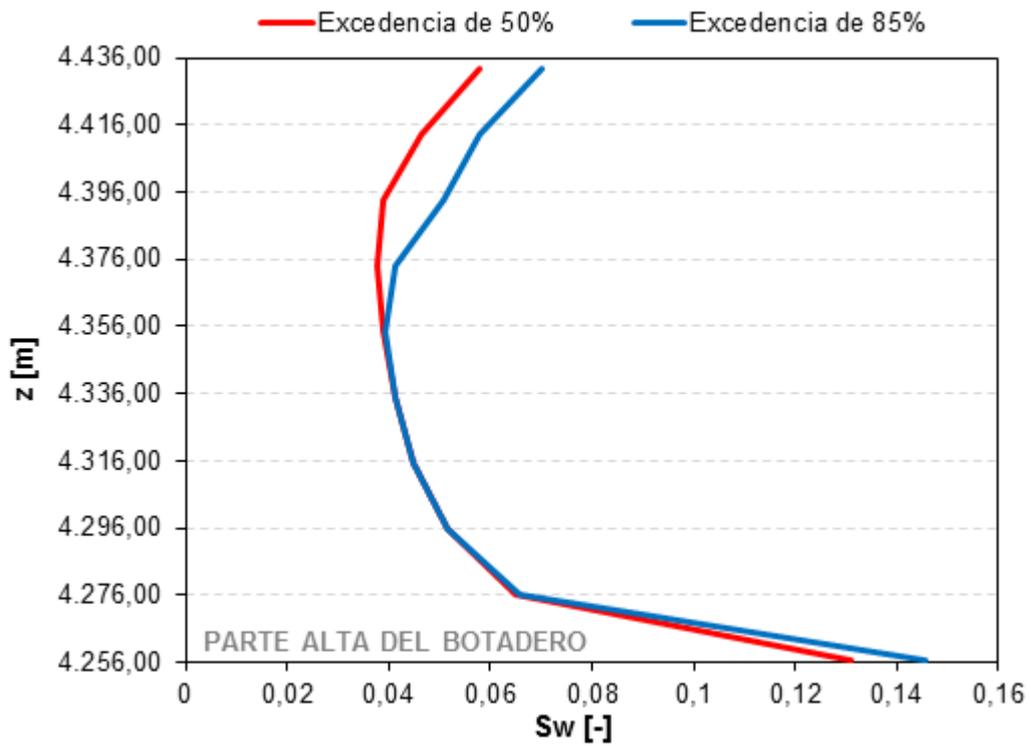
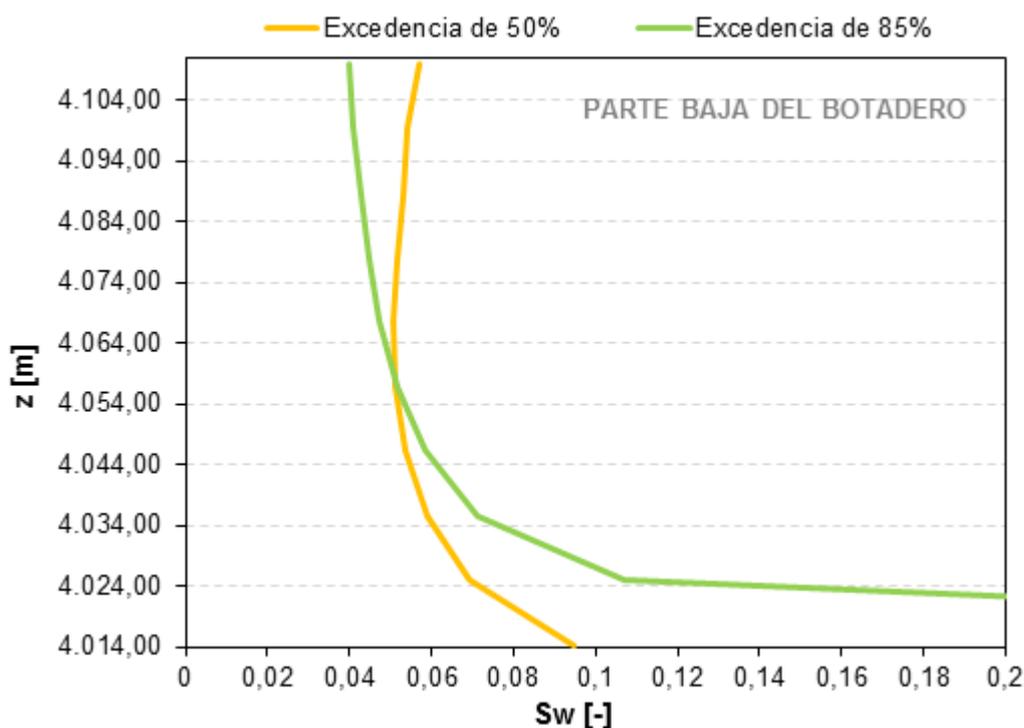


Figura 5-15. Comparativa del perfil vertical de saturación en punto en la parte alta del botadero (R74\_C160) para el primer año de botadero y probabilidad de excedencia de 50% y de 85%.



**Figura 5-16. Comparativa del perfil vertical de saturación en punto en la parte baja del botadero (R55\_C46) para el primer año de botadero y probabilidad de excedencia de 50% y de 85%.**

A partir de éstos resultados se puede observar que la humedad de equilibrio del sistema es cercana a 0,06 en ambos escenarios contemplados (año normal y año húmedo). Así, se ha observado que esta humedad es próxima a 0,06 en todas las simulaciones realizadas.

Tal y como se ha expuesto con anterioridad, los materiales del botadero se presumen como prácticamente secos inicialmente, implicando que habrá un período durante el cual la recarga en el sistema únicamente servirá para la humidificación del material.

Para llegar a la humedad de equilibrio (6%) a partir de un material inicialmente seco (con una humedad residual del 3%) son necesarios 30 l de agua para cada  $m^3$  de botadero. Con las tasas de infiltración anuales de 3,8 mm/año (año seco) y 6.7 mm/año (año húmedo) el tiempo necesario para humedecer el botadero es de entre 4 y 8 años por cada metro de espesor de botadero. Si evaluamos esto con el factor de

seguridad (2,5 veces la infiltración), las tasas de infiltración anuales serían de 8,2 mm/año (año seco) y 17 mm/año (año húmedo) y el tiempo necesario para humedecer el botadero sería de entre 2 y 4 años por cada metro de espesor de botadero.

#### 5.1.4.2 Balance de entradas y salidas

Tal y como se ha expuesto con anterioridad, la evolución del flujo en zona no saturada depende en gran medida de la humedad inicial del material. Según ésta, el agua infiltrada en el botadero tardará más o menos tiempo en salir a pie de botadero.

Para el caso de estudio se ha tomado como valores de humedad inicial, la humedad de equilibrio en los regímenes de precipitación de los dos escenarios estudiados (régimen de precipitación del 50% de excedencia (año normal) y del 85 % (año húmedo)).

A continuación se exponen los resultados obtenidos para cada uno de los años de funcionamiento de botadero (Figura 5-17).

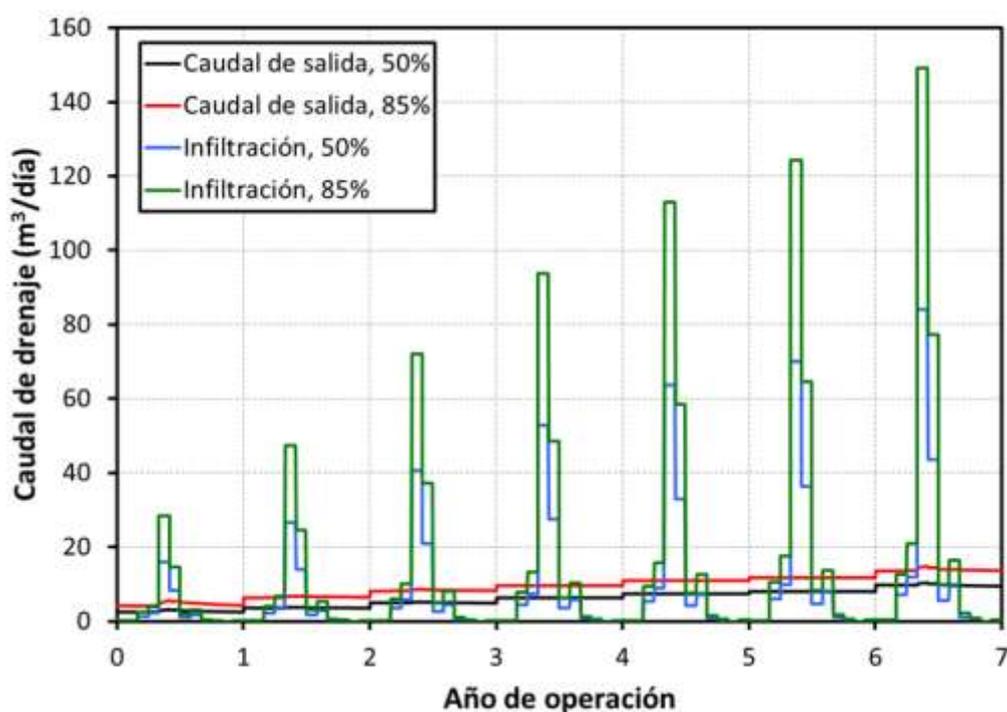


Figura 5-17. Resultados de la simulación de funcionamiento del botadero.

Para la simulación del primer año de funcionamiento del botadero y teniendo en cuenta una precipitación de año normal (50%), se puede observar que en el momento en que el sistema llega al equilibrio de humedad, éste empezaría a proveer una salida de agua con un caudal mínimo de  $2,5 \text{ m}^3/\text{d}$  ( $<0,03 \text{ l/s}$ ) y relativamente constante. En esta primera fase, al representar un volumen de botadero relativamente pequeño (próximo a los  $8 \text{ hm}^3$ ), un aumento súbito en la recarga representa un aumento también inmediato del caudal de salida del botadero. La recarga durante el mes de máxima precipitación – mayo - representa cerca del 50 % de la recarga anual al sistema; así, este pico de entrada de agua da lugar a un pico de salida de agua a través del botadero de cerca de  $90 \text{ m}^3/\text{mes}$  ( $3 \text{ m}^3/\text{d}$ ).

Esta diferencia de caudales entre el mes de máxima precipitación (mayo) y los meses de menor precipitación (de diciembre a febrero) es cercana a  $0,6 \text{ m}^3/\text{d}$  para este primer año de funcionamiento.

En este primer año y para un escenario de año húmedo, se observa que los caudales de salida del sistema son prácticamente el doble de los caudales en un año de precipitación normal: con un caudal medio cercano  $5,6 \text{ m}^3/\text{d}$  en mayo y  $4,2 \text{ m}^3/\text{d}$  en los meses más secos. Así, la divergencia de caudales entre el mes de máxima precipitación y el mes de mínima es cercana a  $1,4 \text{ m}^3/\text{d}$ .

Esta característica se ve muy atenuada en años posteriores. Para el botadero en el año 2 la diferencia entre el mes de máxima salida y el mes de mínima es de  $0,2 \text{ m}^3/\text{d}$  para el año normal de precipitación y cerca de  $0,4 \text{ m}^3/\text{d}$  para el año húmedo. En los años posteriores esta divergencia va disminuyendo. Esto es debido a que un incremento en la superficie de recarga que da lugar a una atenuación de los niveles, implicando que a pie de botadero el caudal cada vez será más constante.

De esta manera, se puede decir que el incremento anual de superficie de recarga del botadero implica un incremento de caudal de salida, y debido a que se parte de una situación de humedad en equilibrio, este incremento de caudal de salida es proporcional al incremento en la recarga (que depende directamente de la superficie de botadero).

Los caudales máximos mensuales resultantes para cada una de las simulaciones realizadas se indican en la Tabla 6-5.

Tabla 5-5. Caudales máximos mensuales a pie de botadero.

	Excedencia	Volumen anual de entrada al botadero	Caudal máx. de salida (m <sup>3</sup> /mes) - mayo
Año 1	50%	1897	99
	85%	3929	175
Año 2	50%	3255	118
	85%	6742	212
Año 3	50%	5052	161
	85%	10465	268
Año 4	50%	6562	196
	85%	13593	298
Año 5	50%	7899	502
	85%	16362	230
Año 6	50%	8701	250
	85%	18023	366
Año 7	50%	10430	321
	85%	21604	460

## 5.2 ESTIMACIÓN CON FLUJO PREFERENTE

### 5.2.1 Metodología

Para estimar el caudal que circula por los caminos de flujo preferente, se supone que el agua que se infiltra sale a pie de botadero de forma instantánea. Esta hipótesis es razonable para los primeros años de crecimiento del botadero en que la dimensión es relativamente pequeña y el tiempo de tránsito hasta el pie de botadero es de unos pocos minutos. El caudal de salida a pie de botadero se obtiene a partir del área total del botadero al final de cada año y de la infiltración estimada para los dos escenarios de precipitación.

## 5.2.2 Resultados

El caudal de salida a pie de botadero se obtiene a partir del área total del botadero (Tabla 5-1) al final de cada año y la infiltración estimada para los dos escenarios de precipitación (Tabla 5-4). Los caudales resultantes se muestran en la Figura 5-18.

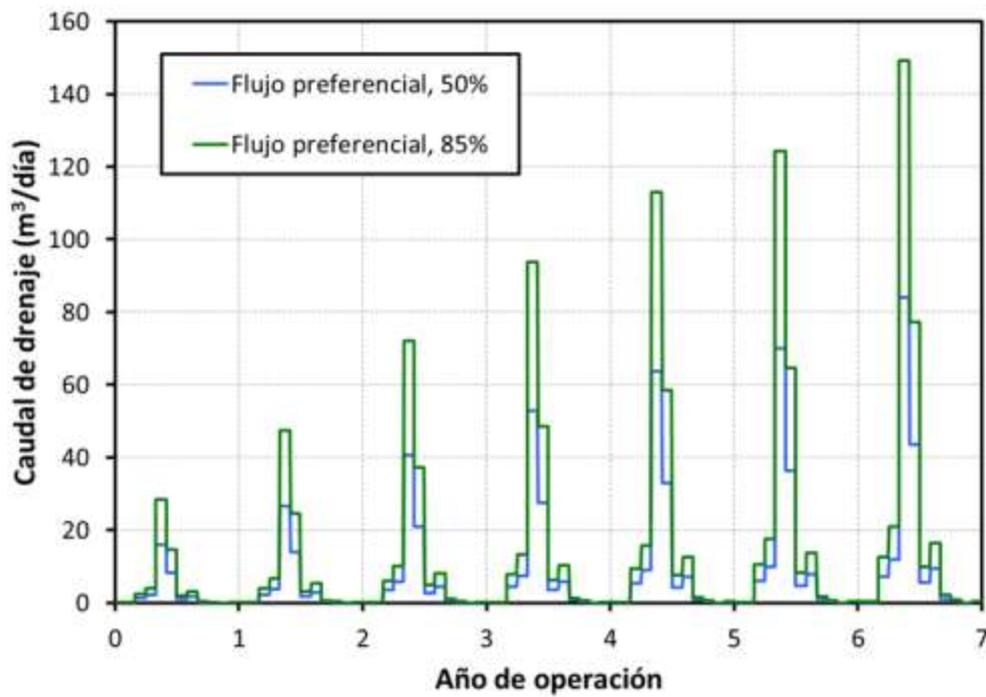


Figura 5-18. Caudales de salida a pie de botadero considerando flujo preferente para una probabilidad de excedencia del 50% y del 85%.

## 6. Evaluación de la composición química del drenaje del botadero

Se ha realizado un análisis de la información existente relativa a los materiales con destino lastre del proyecto Caserones. Este estudio se ha realizado con el fin de determinar el comportamiento que pueden presentar los distintos materiales en términos de generación de drenaje ácido de rocas (DAR). En este sentido se han determinado las principales variables geoquímicas que condicionarán el comportamiento de estas unidades.

Los principales aspectos a tener en cuenta, en base a los datos existentes hasta la fecha, son la mineralogía y la proporción de pirita.

En lo que respecta al contenido mineral, y teniendo en cuenta que la mayor parte del material a lastre procede de las zonas minerales de lixiviado y de sulfuros primarios, las principales diferencias de estos últimos materiales con respecto a los primeros son:

- Mayor contenido de jarosita en lixiviado
- Mayor contenido de siderita en lixiviado
- Mayor contenido de calcita, y quizás ankerita, en sulfuros primarios
- Mayor contenido de pirita en sulfuros primarios
- Mayor contenido de calcopirita, molibdenita y otros sulfuros de cobre en sulfuros primarios

Estas diferencias pueden observarse claramente en los gráficos de la Figura 6-1.

### 6.1 Metodología y Modelo Conceptual

Es importante destacar que el comportamiento de los distintos materiales en términos de potencial generación DAR, siempre considerando los datos disponibles hasta la fecha, estará condicionado mayoritariamente por el contenido en pirita. Este

argumento está basado en datos experimentales obtenidos a partir de estudios en celdas húmedas. Los datos presentados en la Figura 6-2 indican claramente la correlación que existe en contenido de pirita y valores de pH medidos en las aguas de drenaje. A mayor contenido de pirita de las muestras un mayor descenso de pH es determinado experimentalmente, independientemente del contenido en carbonatos de las muestras (en azul muestras con contenidos medidos de carbonatos superiores a 1% en peso).

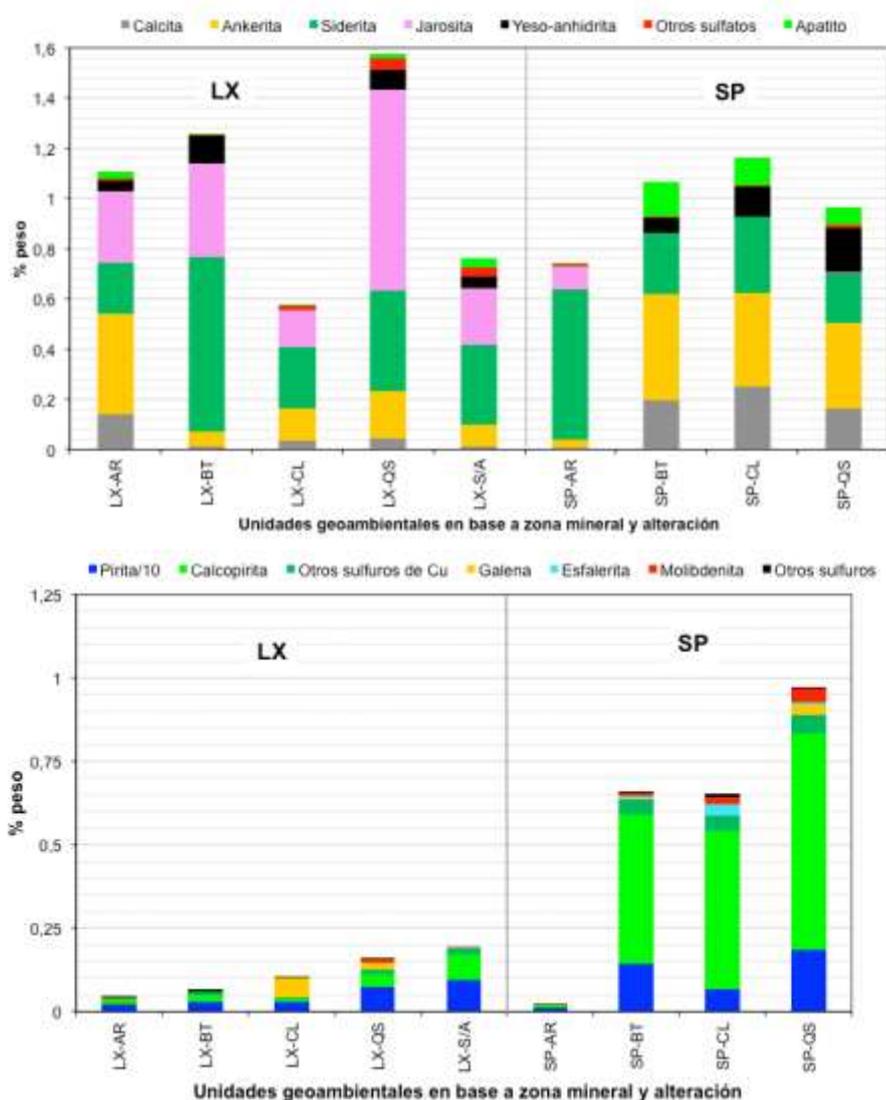
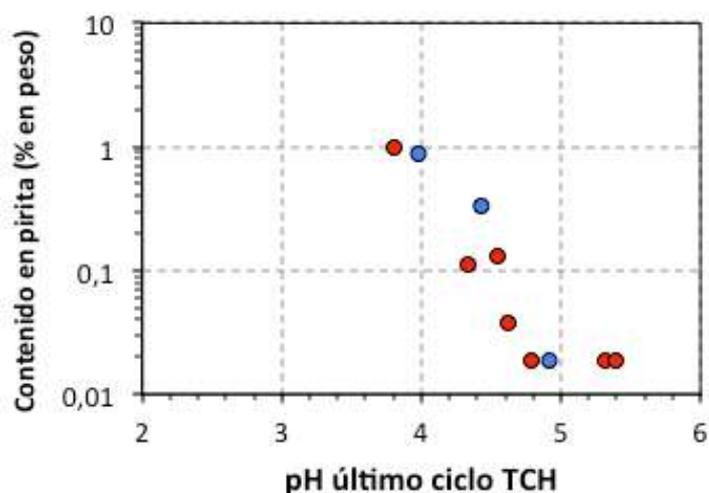


Figura 6-1. Gráficos mostrando la composición mineralógica en función de la zona mineral.



**Figura 6-2. Datos del último ciclo de las celdas húmedas en función del contenido en pirita de las muestras (calculado a partir del contenido en S(-II)).**

Es de esperar que mayores contenidos en pirita puedan generar una mayor acidez, sin embargo, esto no se ha podido verificar dado que los contenidos de pirita de las muestras sometidas a TCH son siempre inferiores a 1%. Por otra parte, el análisis de la información del modelo de bloques indica que si bien hasta un 60% de los bloques con destino a lastre presentan contenidos de pirita por debajo del 1 % en peso, existe un porcentaje significativo de dichos bloques que puede llegar hasta el 4% en peso de pirita.

A partir del análisis de los materiales a extraer durante toda la operación de la mina, se determinó el número óptimo de unidades geoambientales (UGAs) en base a la zona mineral y el contenido en pirita. Estas UGAs se muestran en la Tabla 6-1.

**Tabla 6-1. Identificación de las UGAs definidas en base al contenido en pirita y la zona mineral. LX: Material de lixiviado. SP: Sulfuros Primarios**

Zona mineral	Contenido en pirita (% en peso)					
	0,1-0,4	0,4-0,9	0,9-1,4	1,4-2,0	2,0-3,0	3,0-4,5
LX	LX-1	LX-2	LX-3	LX-4		
SP			SP-3	SP-4	SP-5	SP-6

Para el caso de los primeros 7 años de operación del botadero, la mayor parte de los bloques a extraer del rajo con destino al botadero de lastre presentan un contenido en pirita inferior a 1,8 % en peso (Figura 6-3). La distribución en base anual de las distintas UGAs con destino a botadero para los primeros 7 años de operación se muestran en la Figura 6-4 y en la Tabla 6-2.

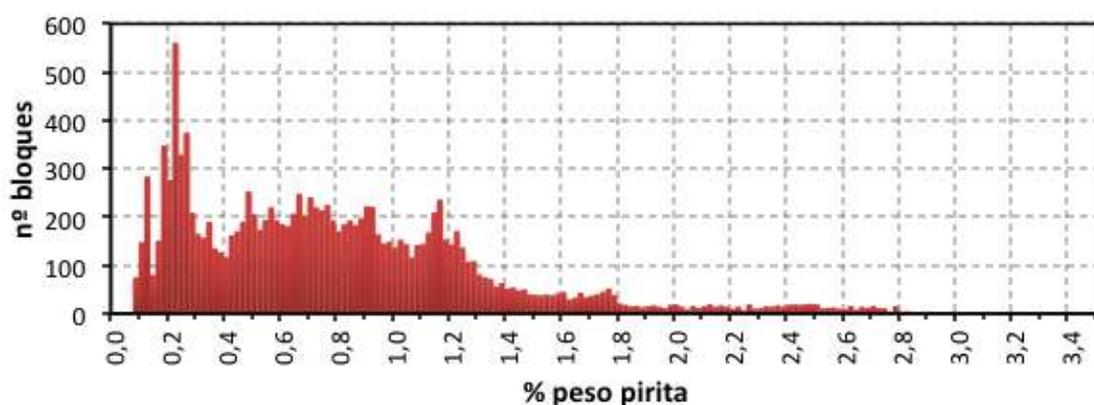


Figura 6-3. Número de bloques con destino a botadero de lastre en función del contenido en pirita para los primeros 7 años de operación.

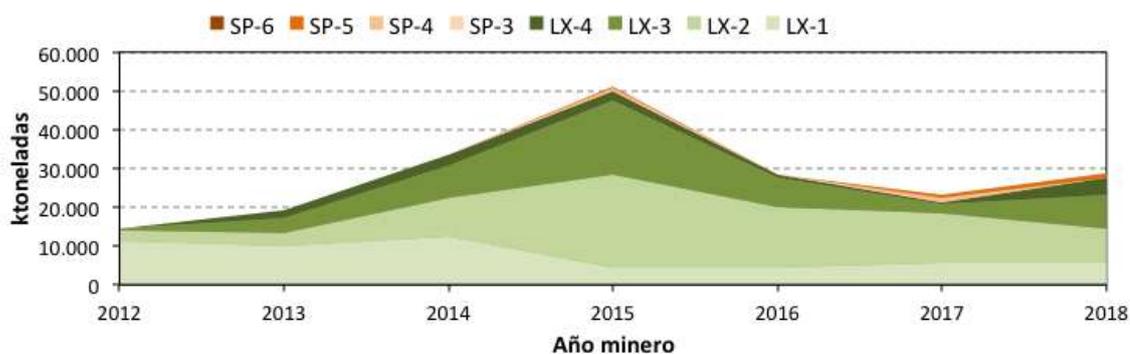
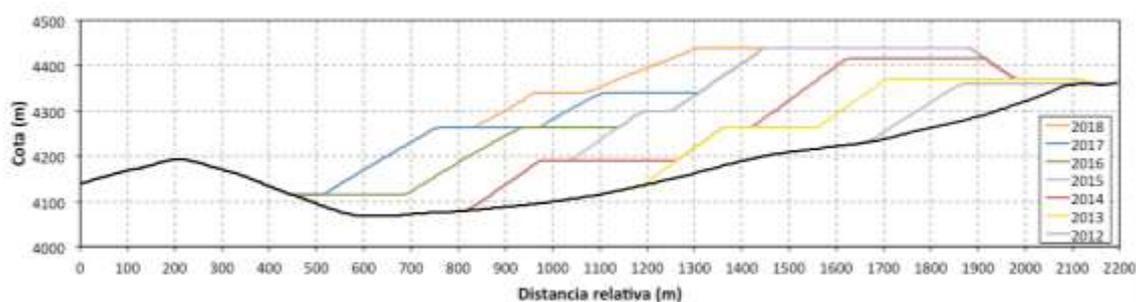


Figura 6-4. Distribución en base anual de las UGAs con destino a botadero para los primeros 7 años de operación (periodo 2012 a 2018).

**Tabla 6-2. Distribución en peso y porcentual de las diferentes UGAs en base anual y para los primeros 7 años de operación.**

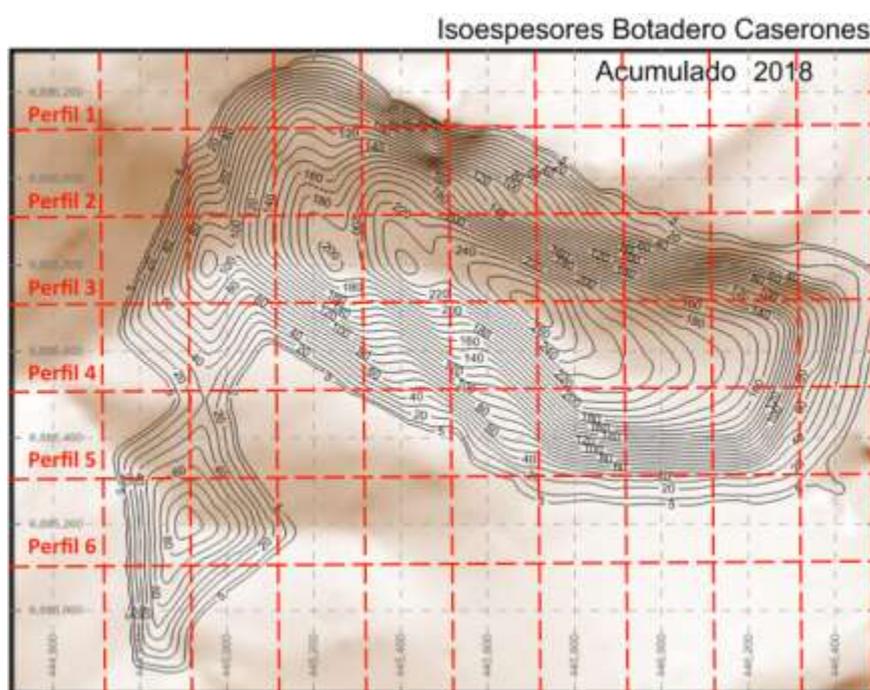
ktoneladas	Pirita (% peso)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
LX-1	0,1-0,4	11.035	10.060	12.299	4.559	4.351	5.554	5.580
LX-2	0,4-0,9	2.962	3.279	9.907	23.734	15.580	12.850	8.803
LX-3	0,9-1,4	215	4.035	8.627	19.186	7.802	2.563	8.994
LX-4	1,4-2,0	77	1.903	2.824	2.487	752	31	4.037
SP-3	0,9-1,4	0	0	0	156	0	0	0
SP-4	1,4-2,0	62	0	0	655	16	1.345	0
SP-5	2,0-3,0	0	0	0	452	0	999	1.310
SP-6	3,0-4,5	0	0	0	0	0	0	78
<b>Total</b>		<b>14.351</b>	<b>19.277</b>	<b>33.657</b>	<b>51.230</b>	<b>28.500</b>	<b>23.342</b>	<b>28.802</b>
% anual		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
LX-1	0,1-0,4	76,9%	52,2%	36,5%	8,9%	15,3%	23,8%	19,4%
LX-2	0,4-0,9	20,6%	17,0%	29,4%	46,3%	54,7%	55,0%	30,6%
LX-3	0,9-1,4	1,5%	20,9%	25,6%	37,5%	27,4%	11,0%	31,2%
LX-4	1,4-2,0	0,5%	9,9%	8,4%	4,9%	2,6%	0,1%	14,0%
SP-3	0,9-1,4	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%
SP-4	1,4-2,0	0,4%	0,0%	0,0%	1,3%	0,1%	5,8%	0,0%
SP-5	2,0-3,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	0,0%	4,3%	4,5%
SP-6	3,0-4,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%

Por otra parte, los diseños anuales de la construcción del botadero, junto con la información topográfica de base, han permitido elaborar mapas anuales de isoespesores del botadero (Anexo 1) que permiten determinar la evolución volumétrica del botadero (Figura 6-5). Al cruzar esta información de isoespesores del botadero con la distribución anual de UGAs, es posible identificar la posición espacial de cada UGA o conjunto de UGAs en función del tiempo.



**Figura 6-5. Perfil de crecimiento del botadero en el periodo 2012-2018. Orientación aproximada W-E.**

Con el fin de optimizar los cálculos geoquímicos, la superficie del botadero se dividió en una malla de 200 x 200 m y se definió la distribución de UGAs en función del tiempo en columnas verticales (Figura 6-6). Con este método se ha podido reconstruir el crecimiento anual para cada columna durante los 7 primeros años de operación (Figura 6-7).



**Figura 6-6. Mollado de la superficie del botadero para determinar la posición de las columnas 1D y su crecimiento anual. Los perfiles corresponden a la posición de los gráficos de la Figura 6-7.**

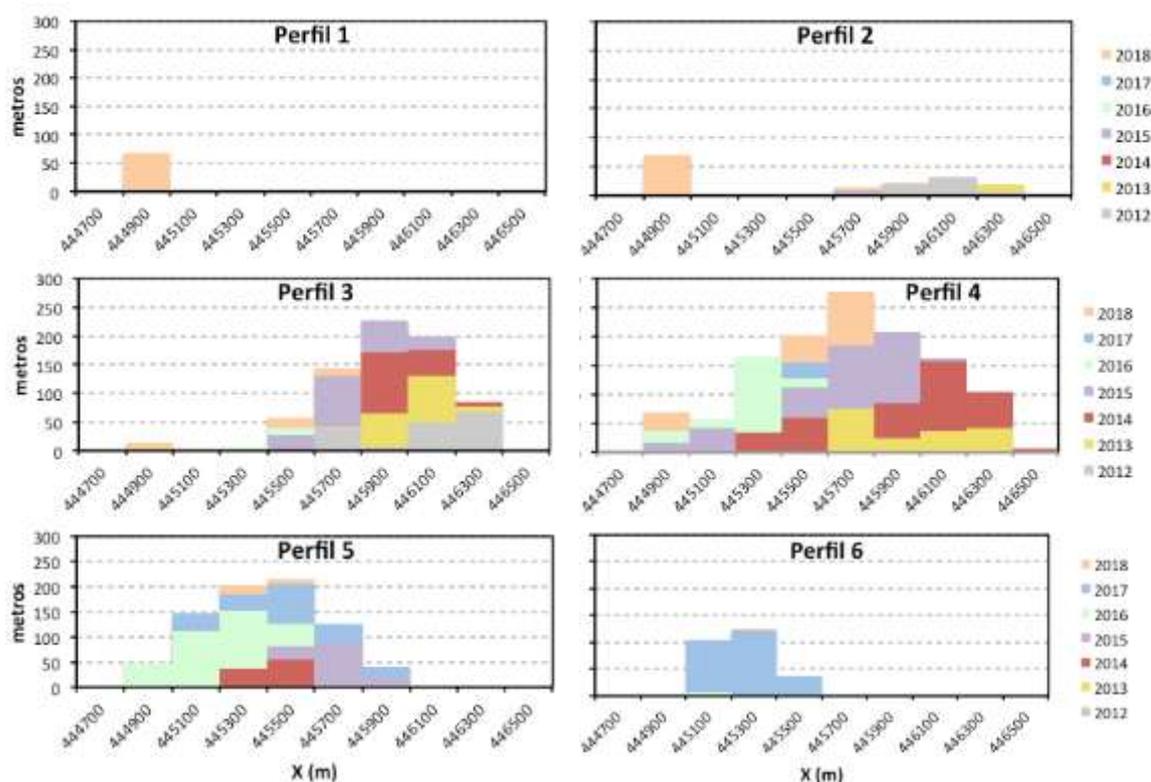


Figura 6-7. Gráficos para los perfiles indicados en la Figura 6-6 mostrando el incremento de espesor anual en cada columna.

El resultado de este análisis es la construcción de 31 columnas verticales que representan el botadero (Tabla 6-3), para las cuales se han identificado los metros depositados anualmente, en base al análisis anterior, y se le ha asignado la UGA a la corresponde cada tramo anual de cada columna, considerando los datos de la Tabla 6-2.

Tabla 6-3. Identificación de las 31 columnas 1D para los cálculos geoquímicos con los metros anuales de crecimiento y la UGA asignada para cada tramo anual.

COLUMNA	X	Y	METROS	UGA	AÑO
P-01	444900	6885100	65	LX-3	2018
P-02	444900	6885300	70	LX-1	2018
P-03	444900	6885500	15	SP-5	2018
P-04	444900	6885700	35	LX-2	2018

<b>COLUMNA</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>METROS</b>	<b>UGA</b>	<b>AÑO</b>
<b>P-04</b>	444900	6885700	20	LX-1	2016
<b>P-04</b>	444900	6885700	20	LX-1	2015
<b>P-05</b>	444900	6885900	50	LX-1	2016
<b>P-06</b>	445100	6885700	15	LX-4	2016
<b>P-06</b>	445100	6885700	40	LX-4	2015
<b>P-07</b>	445100	6885900	35	LX-2	2017
<b>P-07</b>	445100	6885900	110	LX-2	2016
<b>P-08</b>	445100	6886100	100	LX-2	2017
<b>P-08</b>	445100	6886100	5	LX-1	2016
<b>P-09</b>	445300	6885500	5	LX-1	2016
<b>P-10</b>	445300	6885700	130	LX-3	2016
<b>P-10</b>	445300	6885700	35	LX-1	2014
<b>P-11</b>	445300	6885900	15	LX-1	2018
<b>P-11</b>	445300	6885900	30	LX-3	2017
<b>P-11</b>	445300	6885900	115	LX-2	2016
<b>P-11</b>	445300	6885900	35	LX-3	2014
<b>P-12</b>	445300	6886100	125	LX-2	2017
<b>P-13</b>	445500	6885500	20	LX-3	2018
<b>P-13</b>	445500	6885500	10	LX-3	2016
<b>P-13</b>	445500	6885500	25	LX-2	2015
<b>P-14</b>	445500	6885700	45	LX-3	2018
<b>P-14</b>	445500	6885700	30	LX-3	2017
<b>P-14</b>	445500	6885700	15	LX-2	2016
<b>P-14</b>	445500	6885700	50	LX-2	2015
<b>P-14</b>	445500	6885700	60	LX-2	2014
<b>P-15</b>	445500	6885900	10	LX-2	2018
<b>P-15</b>	445500	6885900	80	LX-1	2017
<b>P-15</b>	445500	6885900	45	LX-2	2016
<b>P-15</b>	445500	6885900	25	LX-2	2015
<b>P-15</b>	445500	6885900	55	LX-4	2014
<b>P-16</b>	445500	6886100	35	SP-5	2017
<b>P-17</b>	445700	6885300	5	LX-4	2018
<b>P-17</b>	445700	6885300	10	SP-4	2015
<b>P-18</b>	445700	6885500	15	LX-3	2018

<b>COLUMNA</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>METROS</b>	<b>UGA</b>	<b>AÑO</b>
<b>P-18</b>	445700	6885500	90	LX-3	2015
<b>P-18</b>	445700	6885500	40	LX-1	2012
<b>P-19</b>	445700	6885700	95	LX-2	2018
<b>P-19</b>	445700	6885700	110	LX-2	2015
<b>P-19</b>	445700	6885700	75	LX-2	2013
<b>P-20</b>	445700	6885900	35	LX-1	2017
<b>P-20</b>	445700	6885900	90	LX-2	2015
<b>P-21</b>	445900	6885300	20	LX-1	2012
<b>P-22</b>	445900	6885500	55	LX-3	2015
<b>P-22</b>	445900	6885500	110	LX-2	2014
<b>P-22</b>	445900	6885500	60	LX-3	2013
<b>P-22</b>	445900	6885500	5	LX-2	2012
<b>P-23</b>	445900	6885700	125	LX-3	2015
<b>P-23</b>	445900	6885700	60	LX-3	2014
<b>P-23</b>	445900	6885700	25	LX-4	2013
<b>P-24</b>	445900	6885900	20	SP-4	2017
<b>P-24</b>	445900	6885900	20	LX-2	2015
<b>P-25</b>	446100	6885300	30	LX-2	2012
<b>P-26</b>	446100	6885500	25	LX-1	2015
<b>P-26</b>	446100	6885500	45	LX-3	2014
<b>P-26</b>	446100	6885500	80	LX-1	2013
<b>P-26</b>	446100	6885500	55	LX-1	2012
<b>P-27</b>	446100	6885700	5	SP-5	2015
<b>P-27</b>	446100	6885700	120	LX-1	2014
<b>P-27</b>	446100	6885700	40	LX-1	2013
<b>P-28</b>	446300	6885300	10	LX-4	2013
<b>P-28</b>	446300	6885300	10	LX-2	2012
<b>P-29</b>	446300	6885500	10	LX-3	2014
<b>P-29</b>	446300	6885500	10	LX-3	2013
<b>P-29</b>	446300	6885500	65	LX-1	2012
<b>P-30</b>	446300	6885700	65	LX-1	2014
<b>P-30</b>	446300	6885700	40	LX-1	2013
<b>P-31</b>	446500	6885700	5	LX-2	2014

Una vez reconstruidas las 31 columnas verticales con su distribución anual de UGAs, es necesario determinar los parámetros geoquímicos correspondientes a cada UGA para poder realizar los correspondientes cálculos. Los datos geoquímicos necesarios son: minerales reactivos (identificación y cuantificación) y superficie reactiva de los minerales.

La mineralogía de las diferentes UGAs se ha evaluado en base a los estudios mineralógicos presentados anteriormente (Tabla 6-4). De todos los minerales que pueden considerarse reactivos, solamente se ha descartado en los cálculos la presencia de calcita. Esta consideración se ha realizado, a pesar de conocer la existencia de este mineral en los materiales del yacimiento, debido al desconocimiento de la distribución real de calcita. De esta forma los resultados indicarán con toda probabilidad el caso geoquímico más desfavorable dado que no se considera un mineral de alta reactividad y con capacidad neutralizante.

**Tabla 6-4. Contenido de minerales en % en peso para cada UGA considerada en el sistema.**

Minerales reactivos	LX-1	LX-2	LX-3	LX-4	SP-4	SP-5	Consideración geoquímica
Pirita	0,25	0,65	1,15	1,7	1,7	2,5	Cinética
Calcopirita	0,02	0,03	0,08	0,2	0,6	1	Cinética
Jarosita	1	1	1	1	0	0	Equilibrio
Calcita	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	No considerado
Yeso	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1	Equilibrio
Óxidos Fe(III)	0	0	0	0	0	0	Equilibrio
Biotita	6	6	6	6	6	6	Cinética
Moscovita-sericita	12	12	12	12	12	12	Cinética
Plagioclasas	15	15	15	15	15	15	Cinética
Feldespato-K	15	15	15	15	15	15	Cinética
Cuarzo	35	35	35	35	35	35	No considerado
Caolinita	1	1	1	1	1	1	No considerado

Clorita	2	2	2	2	2	2	No considerado
Montmorillonita	1	1	1	1	1	1	No considerado

Por otra parte, aunque existen óxidos de hierro en el sistema, se considera que éstos solo ejercerán un efecto como consecuencia de la posible precipitación en fase amorfa de ferrihidrita. No se considera la posibilidad de la disolución de óxidos de hierro más cristalinos como la goethita o la hematites.

Además de los minerales indicados en la Tabla 6-4 existe una serie de minerales a los que se permite precipitar si llegan a sobresaturarse durante los cálculos geoquímicos. Básicamente, se trata de óxidos, hidróxidos e hidroxisulfatos de Fe y/o Al, así como fases secundarias de cobre. Estos minerales son los siguientes: schwertmannita, alunita, jurbanita, basaluminita,  $\text{Al(OH)}_3$  amorfo,  $\text{SiO}_2$  amorfo,  $\text{Cu(OH)}_2(\text{s})$ , azurita, malaquita,  $\text{CuCO}_3(\text{s})$ , antlerita, brocantita y langita.

Para determinar la superficie reactiva de los minerales se ha considerado la granulometría de los materiales con destino a botadero. Esta granulometría ha sido evaluada por GeoBlast y suministrada a Amphos 21 por MLCC (Figura 6-8). En base a estos datos se ha evaluado la superficie de material disponible al contacto con el agua de infiltración en relación con el volumen de sólido para cada tramo granulométrico (Tabla 6-5), así como la suma total de superficie por unidad de volumen que corresponde a  $267 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Es importante destacar que la mayor superficie, y por tanto donde se producirá una reactividad mayor, corresponden a la franja granulométrica de menor tamaño. Por tanto, es de esperar que si se aumenta la proporción de finos la reactividad pueda aumentar sustancialmente y consecuentemente también la generación de drenaje ácido.

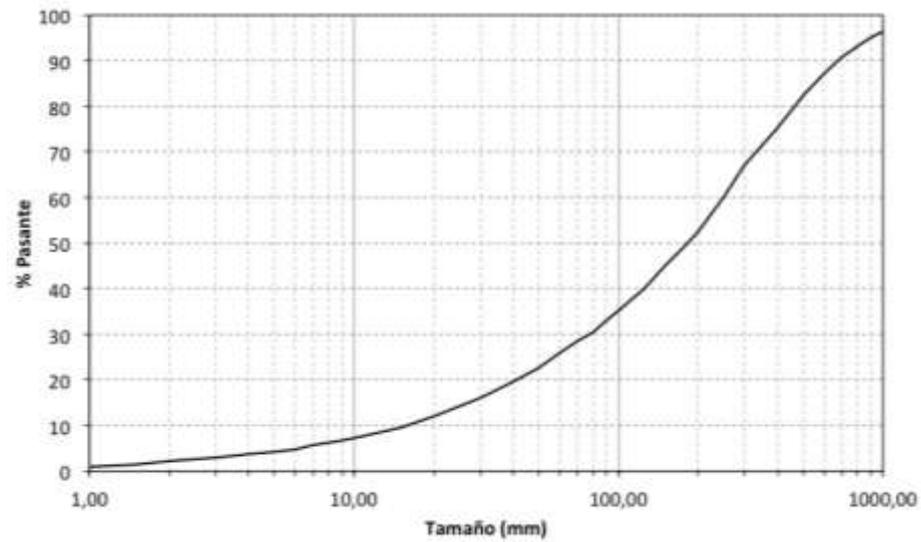


Figura 6-8. Granulometría evaluada por GeoBlast para el material con destino a botadero y suministrada por MLCC.

Tabla 6-5. Resultados del cálculo de superficie para cada tramo granulométrico por unidad de volumen de sólido.

mm	% acumulado	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
1	0,8	90,0
1,5	1,5	28,0
2	2,2	24,0
3	3	14,0
4	3,7	7,5
5	4,2	7,2
6	4,8	10,0
7	5,8	3,4
8	6,2	4,5
9	6,8	2,7
10	7,2	13,8
15	9,5	10,0
20	12	12,0
30	16	7,0
40	19,5	4,8
50	22,7	3,7
60	25,8	2,6
70	28,4	1,8

mm	% acumulado	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
80	30,5	1,9
90	33	1,5
100	35,3	2,8
125	40	2,4
150	45	1,6
175	49	1,2
200	52,5	2,3
250	60	1,7
300	67	1,7
400	75,5	1,1
500	82,5	0,6
600	87,3	0,4
700	90,8	0,2
800	93	0,2
900	95	0,1
>1000	100	0,2
TOTAL		266,7

La fracción de superficie en contacto con el agua correspondiente a cada mineral considerado en los cálculos y para cada UGA se considera equivalente a la fracción de volumen del mineral en la roca. A partir de los datos de la Tabla 6-4 y considerando una densidad de roca de 2,7 g/cm<sup>3</sup> y la densidad de los diferentes minerales, se puede calcular la fracción de volumen de estos minerales (Tabla 6-6).

**Tabla 6-6. Fracciones de volumen calculadas para los minerales de cada UGA en la roca.**

Minerales	LX-1	LX-2	LX-3	LX-4	SP-4	SP-5
Pirita	0,0013	0,0035	0,0062	0,0092	0,0092	0,0135
Calcopirita	0,0001	0,0002	0,0005	0,0013	0,0038	0,0063
Jarosita	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086	0,0000	0,0000
Yeso	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0012	0,0012
Biotita	0,1860	0,1860	0,1860	0,1860	0,1860	0,1860
Moscovita-sericita	0,1145	0,1145	0,1145	0,1145	0,1145	0,1145
Plagioclasa	0,1467	0,1467	0,1467	0,1467	0,1467	0,1467
Feldespatos-K	0,1582	0,1582	0,1582	0,1582	0,1582	0,1582

## 6.2 Implementación del modelo numérico

La modelización de la geoquímica del botadero en medio no saturado se ha realizado con el código TOUGHREACT (Xu et al. 2008). Este software permite simular procesos termo-hidro-geoquímicos y surge de acoplar el cálculo de las reacciones geoquímicas al simulador TOUGH2 v2 (Pruess et al. 1999), que resuelve problemas de flujo multifásico y no isoterma, flujo de calor y transporte de solutos y contaminantes multi-componente. En este trabajo, el flujo no saturado se ha considerado isoterma (25°C) y se ha representado mediante la ecuación de Richards (que en TOUGHREACT está implementado mediante el módulo de *Equation Of State* (EOS) 9. Esto implica suponer que la fase gaseosa se encuentra a presión constante (es decir, no hay gradientes de presión) e igual a la atmosférica. La formulación utilizada en este trabajo puede encontrarse en la guía del usuario de TOUGH2 (Pruess et al. 1999). Las principales características de TOUGHREACT son las siguientes (para más detalles, ver Pruess et al. 1999 y Xu et al. 2008):

- Discretización espacial (1D a 3D) basada en el método de las Diferencias Finitas Integrales
- Discretización temporal implícita, basada en Diferencias Finitas (Backward Euler de 1<sup>er</sup> orden)
- El acoplamiento entre flujo, transporte de masa y reacciones geoquímicas se realiza mediante el *operator splitting approach*
- Complejación acuosa en equilibrio local
- Precipitación y disolución de minerales en equilibrio y/o cinética
- Corrección por fuerza iónica basada en el modelo de Debye-Hückel extendido

Tal y como se ha descrito anteriormente, se ha dividido la superficie total del botadero con una cuadrícula de 200 x 200 m<sup>2</sup> de tamaño para representar la compleja evolución temporal y espacial del botadero prevista para los próximos siete años. El resultado son 31 columnas diferentes con un área transversal de 40.000 m<sup>2</sup> cada una. Cada columna puede estar formada por una o varias capas que evolucionan de manera diferente en el tiempo (ver Tabla 6-8). Cada una de las 31 columnas se ha modelado

en 1D. Esto supone flujo exclusivamente vertical, sin componentes horizontales. Esta hipótesis es válida en el presente contexto, especialmente en el caso de los flujos preferenciales.

Los parámetros geoquímicos utilizados como datos de entrada del modelo se han presentado en la descripción del modelo conceptual del apartado anterior. La composición química del agua de lluvia que se consideró como agua de infiltración y la del agua intersticial del botadero se presentan en la Tabla 6-7. En el primer caso se consideró un agua de lluvia estándar tomada de Molson *et al.* (2005) en equilibrio con condiciones atmosféricas ( $O_2$  y  $CO_2$ ) y en el caso del agua de poro del botadero, se tomó la misma agua de lluvia anteriormente citada pero en este caso equilibrada con calcita, jarosita, yeso y  $O_2$  atmosférico.

**Tabla 6-7. Composición química de las aguas iniciales consideradas en el modelo**

mg/L	Agua de Lluvia		Agua de Poro
	No Equilibrada	Equilibrada	
pH	6.1	6.1	5.91
$O_2$ (aq)	5.06E-14	4.16E-06	4.11E-06
Aluminio	5.80E-12	5.80E-12	5.78E-12
Silicio	6.00E-10	6.00E-10	5.99E-10
Sodio	1.61E-06	1.61E-06	1.61E-06
Potasio	1.96E-07	1.96E-07	1.71E-03
Calcio	8.02E-07	8.02E-07	7.10E-04
Magnesio	4.86E-07	4.86E-07	4.84E-07
DIC (total)	1.22E-06	1.04E-06	4.76E-03
Sulfato	7.10E-06	7.10E-06	2.53E-03
Cloruro	7.10E-07	7.10E-07	5.40E-08
Hierro (total)	5.59E-10	5.59E-10	1.82E-09
Cobre (total)	6.35E-14	6.35E-14	6.32E-14

En cuanto al flujo no saturado, se ha considerado una serie de parámetros que definen un flujo preferencial a partir de una formulación en modelo poroso. Para esto, se

adopta una curva de retención con presiones capilares muy bajas y una permeabilidad alta. De esta manera, se consigue simular el flujo como preferencial, con una velocidad aproximada de 30 metros por día. El grado de saturación inicial adoptado en estas simulaciones es del 6%, en concordancia con los resultados obtenidos para el grado de saturación de equilibrio con el modelo de flujo matricial. Los datos de infiltración que definen las condiciones de contorno para los dos regímenes de lluvia (50 y 85% de excedencia de precipitaciones) son idénticos a los utilizados para el flujo matricial, así como la porosidad (25%).

**Tabla 6-8. Evolución temporal de las 31 columnas en las que se ha dividido el botadero para las simulaciones geoquímicas y proporciones de mezcla para calcular la composición del agua a la salida del botadero.**

Mes-Año	Identificación columnas P																															Número de columnas	Proporción de mezcla			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
ene-12																																		7	0,143	
ene-13																																			11	0,091
ene-14																																			16	0,063
ene-15																																			22	0,045
ene-16																																			26	0,038
ene-17																																			28	0,036
ene-18																																			31	0,032

Para modelar la evolución geoquímica de las 31 columnas, sus correspondientes evoluciones temporales, los diferentes regímenes de lluvias, y la consecuente mezcla de las aguas salientes de cada columna, se han tenido que automatizar varias instancias del proceso. Para esto se han desarrollado dos programas en lenguaje Fortran 90. Las principales dificultades que se han debido solventar están relacionadas con dos aspectos fundamentales:

1. La evolución temporal del botadero supone el crecimiento gradual del tamaño del dominio a modelar para cada intervalo de tiempo (ver Tabla 6-3 y Tabla 6-8). Esto implica que cuando se añade material a la columna se deben utilizar los resultados de la columna previos a la adición de la UGA como datos de entrada para la siguiente simulación. Se debe considerar además la adición de otra capa, así como cambiar las condiciones de contorno. Todo este proceso se representa esquemáticamente en la Figura 6-9. El programa Fortran 90 desarrollado automatiza el proceso de evolución de cada columna en base a los datos de

entrada de la Tabla 6-3. En total, se han realizado 62 simulaciones (31 columnas para 2 regímenes de lluvias). Para cada una de estas, el programa desarrollado ha sido utilizado para automatizar el proceso de crecimiento de la columna.

2. La composición del agua calculada a la salida de cada columna en función del tiempo se debe mezclar con los resultados a la salida de todas las columnas en una proporción que depende de la evolución temporal del botadero (ver Tabla 6-8). Este proceso implica la realización de cientos de mezclas de aguas, lo cual debe ser automatizado para evitar errores de manejo de datos y para optimizar y acelerar el proceso de mezclado. El segundo programa Fortran 90 automatiza este proceso de forma rápida y eficaz.

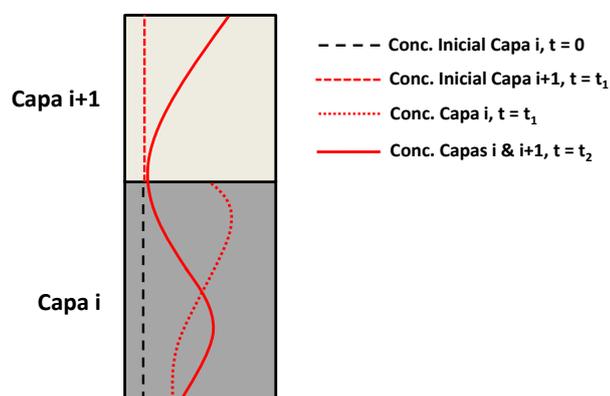


Figura 6-9. Representación esquemática mediante el transporte de un trazador conservativo del proceso de crecimiento de las columnas en el tiempo ( $0 < t_1 < t_2$ ). Las concentraciones (conc.) iniciales de las capas  $i$  ( $t = 0$ ) y la  $i+1$  ( $t = t_1$ ) son equivalentes.

## 6.3 Resultados

### 6.3.1 Procesos en las columnas

Como se mencionó anteriormente, cada una de las 31 columnas descritas (Figura 6-7) e introducidas en el cálculo tienen una composición diferente determinada por la evolución espacial y temporal del botadero. Con el objetivo de ilustrar los procesos que ocurren en dichas columnas se ha seleccionado la columna P-27 (ver Tabla 6-3) para realizar un análisis detallado. Dicho análisis se llevó a cabo para los dos casos considerados en este estudio con probabilidades de excedencia de precipitaciones de 50 y 85%. Para esta descripción se seleccionaron los minerales que tienen un mayor

impacto en el marco de la evolución geoquímica del sistema (jarosita, yeso, alunita, pirita y calcopirita) y para el análisis de la composición química del agua de poro en la columna sólo se han incluido los parámetros más relevantes para evaluar la calidad química del agua: pH, sulfato, Al, Cu y Fe).

En primer lugar se analizaron las variaciones temporales de la mineralogía en la columna. Observando los contenidos en jarosita en la columna P-27 se puede observar que los valores se mantienen constantes a lo largo de la columna con concentraciones próximas a las cantidades iniciales presentes en la UGA LX-1 (1%) hasta el año 2015 (Figura 6-10). A partir de 2015 y hasta el año 2018 se observa una reducción pronunciada en las cantidades de jarosita en la parte superior de la columna debido a las características mineralógicas de la UGA SP-5 que no contiene jarosita inicialmente. Aunque en muy bajas concentraciones, la presencia de jarosita en la UGA SP-5 está indicando que los procesos de oxidación de sulfuros primarios están activos. Los resultados que se presentan en la Figura 6-10 fueron calculados para el caso con probabilidad de excedencia de 50%. Si se comparan con los obtenidos para una excedencia de 85% se puede constatar que la tendencia es la misma con valores idénticos para los depósitos que involucran a la UGA LX-1 y mayores contenidos de jarosita secundaria en la UGA SP-5 a partir del año 2016 (Anexo B). Este hecho evidencia que la presencia de agua es un detonante importante de los procesos de oxidación.

Es importante destacar que la jarosita es un mineral que está presente en algunas UGAs pero también puede precipitar como mineral secundario. La jarosita es un mineral frecuente en los ambientes mineros donde aguas ácidas ricas en sulfato y Fe producen las condiciones geoquímicas necesarias para su formación de acuerdo a la siguiente ecuación:



donde  $\text{A}^+$  es un catión tal como  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ .

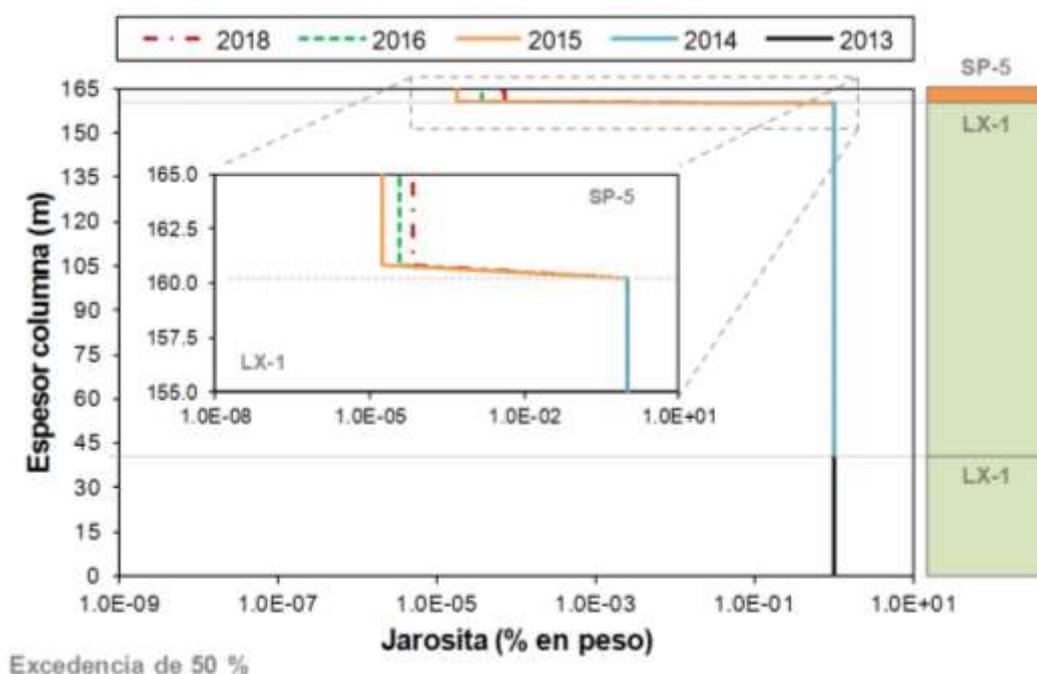
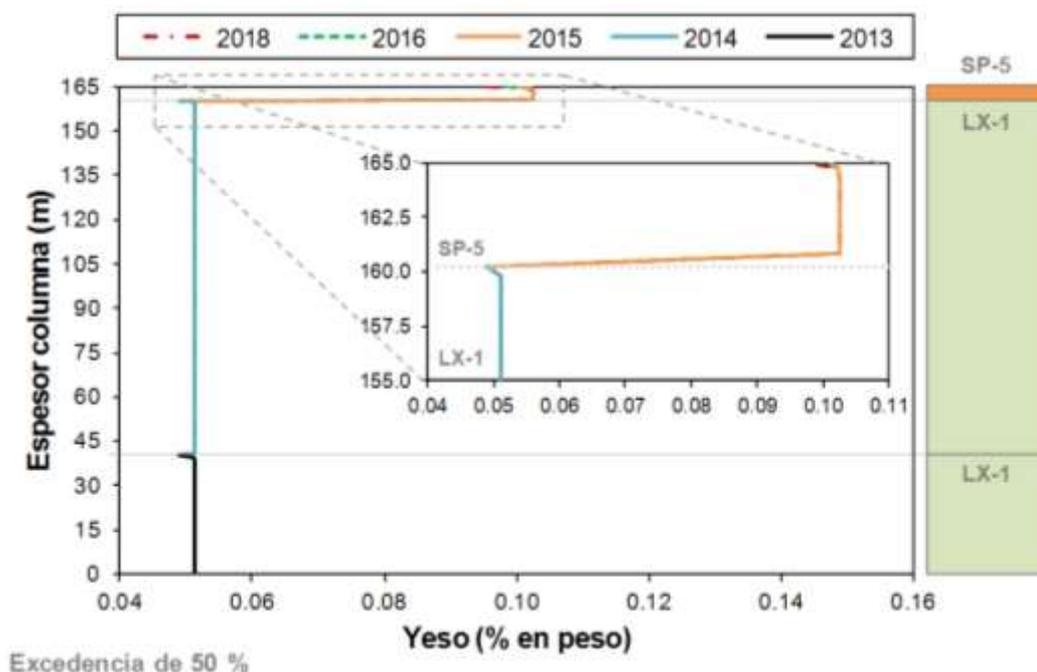


Figura 6-10. Evolución temporal de las concentraciones de jarosita a lo largo de la columna P-27. Concentraciones calculadas al final de cada año.

La velocidad de las reacciones de precipitación depende principalmente de la temperatura, la relación  $\text{Fe}^{3+}/\text{H}^+$ , el pH y las concentraciones de hierro, metales y sulfato en la solución.

El yeso no muestra variaciones importantes a lo largo de la columna si se compara con los contenidos originales de las UGAs involucradas en esta columna (0,05 % para la UGA LX-1 y 0,1% para la UGA SP-5). El leve incremento en las concentraciones de yeso a lo largo de la columna con respecto a las concentraciones iniciales evidencia que este mineral, conjuntamente con la jarosita, está actuando como sumidero de sulfato en este sistema Figura 6-11. Comparando estos resultados con los obtenidos para el régimen de lluvia con probabilidad de 85% de excedencia (Anexo B), se aprecia que las concentraciones calculadas al final de cada año son ligeramente superiores en este último caso. Una vez más, se pone de manifiesto la influencia que tiene la presencia de agua en la columna en el desarrollo de los procesos geoquímicos que van a controlar la calidad del agua en la columna y en la salida de la columna.



**Figura 6-11. Evolución temporal de las concentraciones de yeso a lo largo de la columna P-27. Concentraciones calculadas al final de cada año.**

La alunita ( $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ ) es un mineral de aluminio que se forma a partir del Al presente en las soluciones ácidas y el sulfato aportado por la oxidación de los sulfuros. Este mineral no está presente originalmente en la columna por lo que su presencia se debe exclusivamente a los procesos que se desarrollan en relación con la reactividad de los minerales presentes en el botadero (Figura 6-12).

A pH muy bajos como los que se desarrollan durante la oxidación de la pirita, los aluminosilicatos se disuelven y aportan sílice y Al a la solución. Al mismo tiempo la oxidación de la pirita suministra el sulfato necesario para la formación de alunita. En la Figura 6-12 puede observarse que si bien las concentraciones de alunita en la columna son bajas, las mismas aumentan constantemente a lo largo de los 7 años considerados en los cálculos. Concentraciones mayores se observan para todos los tiempos considerados si se analiza el mismo mineral para una excedencia de precipitaciones de 85% (Anexo B).

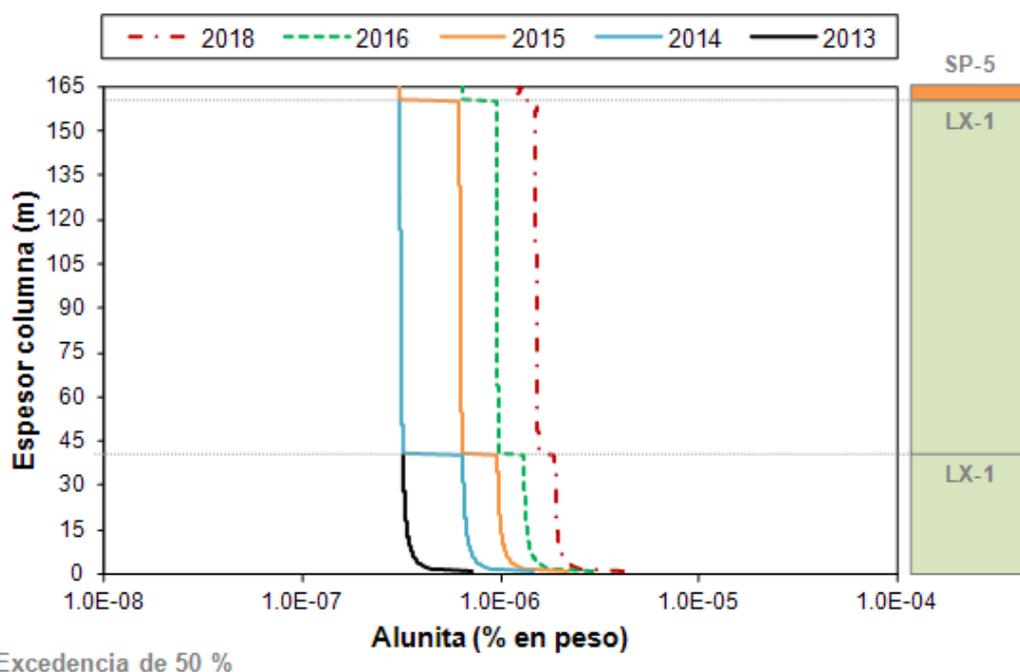
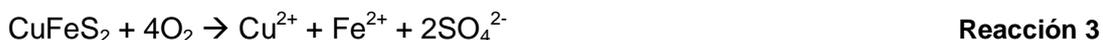
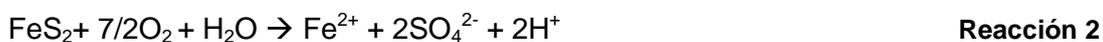
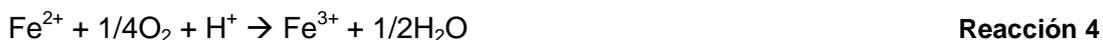


Figura 6-12. Evolución temporal de las concentraciones de alunita a lo largo de la columna P-27. Las concentraciones fueron tomadas al final de cada año.

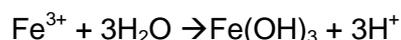
La pirita y la calcopirita son los dos sulfuros más importantes desde un punto de vista de la generación de drenaje ácido. La oxidación de sulfuros tales como la pirita y la calcopirita, normalmente tiene lugar cuando estos minerales entran en contacto con el oxígeno atmosférico y el agua. La oxidación abiótica de la pirita y de la calcopirita puede describirse mediante las Reacciones 2 y 3. Es importante destacar que no todos los sulfuros generan ácido cuando se oxidan mediante el oxígeno, como por ejemplo en el caso de la calcopirita (Reacción 3).



Si el ambiente es lo suficientemente oxidante, el Fe(II) liberado se oxida a Fe(III) mediante la siguiente reacción:



A pH superiores a 2,3 – 3,5, el  $\text{Fe}^{3+}$  puede hidrolizarse y dar lugar a la precipitación de ferrihidrita  $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ . Durante la reacción se liberan protones, bajando el pH:



#### Reacción 5

La oxidación de la pirita mediante el oxígeno (Reacción 2) es una reacción relativamente rápida para pH superiores a 4,5 y más lenta a menor pH. El suministro de oxígeno es lo que controla la velocidad de la oxidación química.

En la Figura 6-13 se puede ver la evolución de los contenidos de pirita en la columna P-27. Los valores presentados en dicha figura corresponden prácticamente a los contenidos de pirita de cada UGA (0,25% para la UGA LX-1 y 2,5 para la UGA SP-5) y si bien existe un consumo de pirita en el sistema, es difícil apreciarlo en las figura porque el consumo de mineral calculado para el tiempo delimitado para este análisis (7 años) no permite ver variaciones con respecto a las cantidades iniciales. Sin embargo, observando las figuras del Anexo B, donde se presentan los resultados para el mismo caso con una excedencia de precipitación mayor, el consumo de pirita puede observarse con más claridad. La presencia de agua tiene una importancia crucial en el desarrollo de este proceso y determinará fuertemente la velocidad de oxidación de la pirita y por ende, la evolución geoquímica del sistema entero.

En el caso de la calcopirita, se observa un comportamiento similar al anteriormente descrito para la pirita con un consumo mínimo para el caso pluviométrico de 50% de excedencia (Figura 6-14) y uno más notorio con concentraciones de calcopirita que bajan de 1% (cantidad inicial) a alrededor de 0,7% para el caso pluviométrico de 85% (Anexo B).

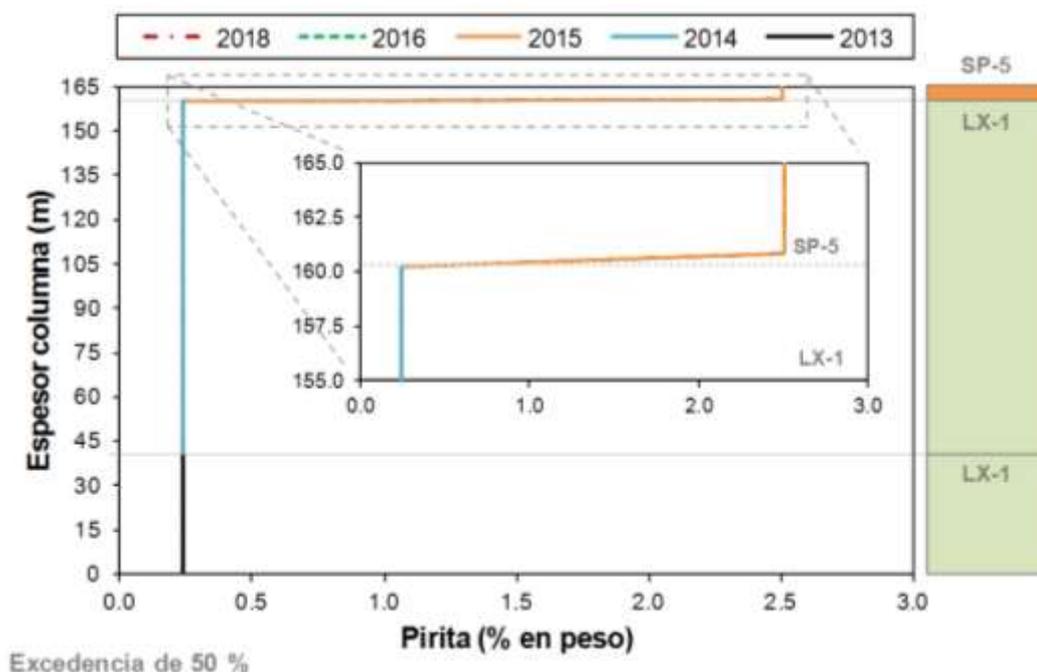


Figura 6-13. Evolución temporal de las concentraciones de pirita a lo largo de la columna P-27. Las concentraciones fueron tomadas al final de cada año.

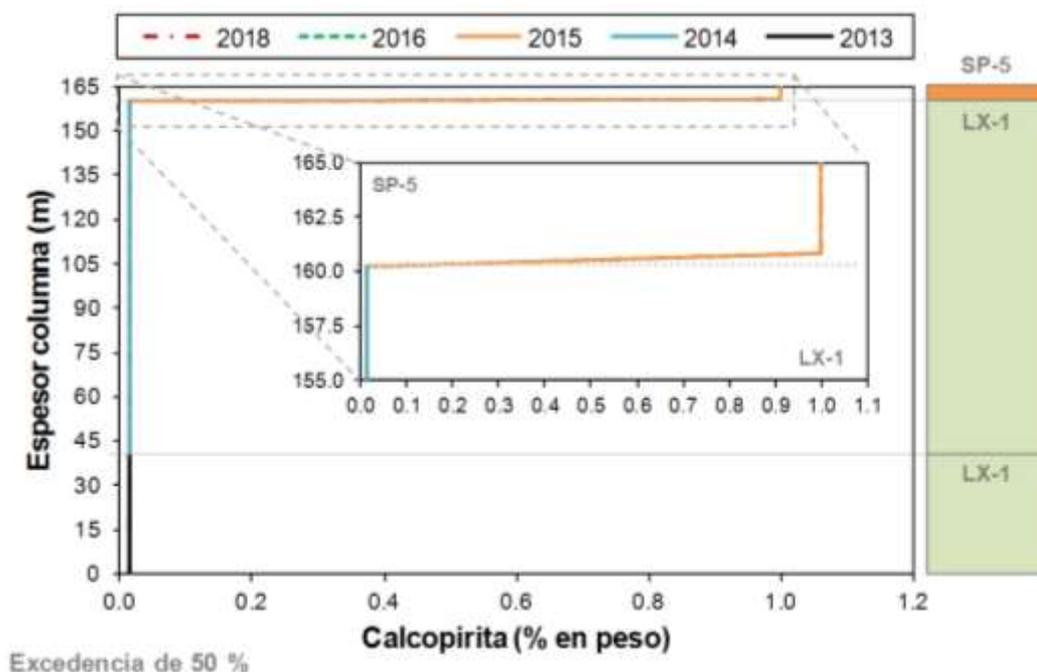


Figura 6-14. Evolución temporal de las concentraciones de calcopirita a lo largo de la columna P-27. Las concentraciones fueron tomadas al final de cada año.

Obviamente, los cambios observados a nivel de la mineralogía de la columna se correlacionan con la evolución de la composición química del agua de poro de la columna. A partir del análisis anterior es evidente que los sulfuros primarios presentes en la columna son reactivos y se están oxidando. Es de esperar entonces que estas reacciones produzcan una disminución en los valores de pH del agua de la columna y esto se evidencia claramente en la UGA SP-5 donde la concentración de pirita es más importante. Puede observarse el contraste que existe entre los tipos de UGAs presentes en la columna. También se destaca la evolución en el tiempo de los valores de pH que llegan a 1 para 2018 en sólo 3 años de evolución. Para ambos casos pluviométricos los resultados son muy similares (Figura 6-15 y Anexo B). Sin embargo, a pesar de existir estos valores tan bajos en la parte superior de la columna si se observa el valor de pH en la salida de la columna puede apreciarse el efecto de dilución y neutralización de los materiales de la columna ya que el pH de salida es muy similar al de las aguas inicialmente consideradas en los modelos (Tabla 6-7).

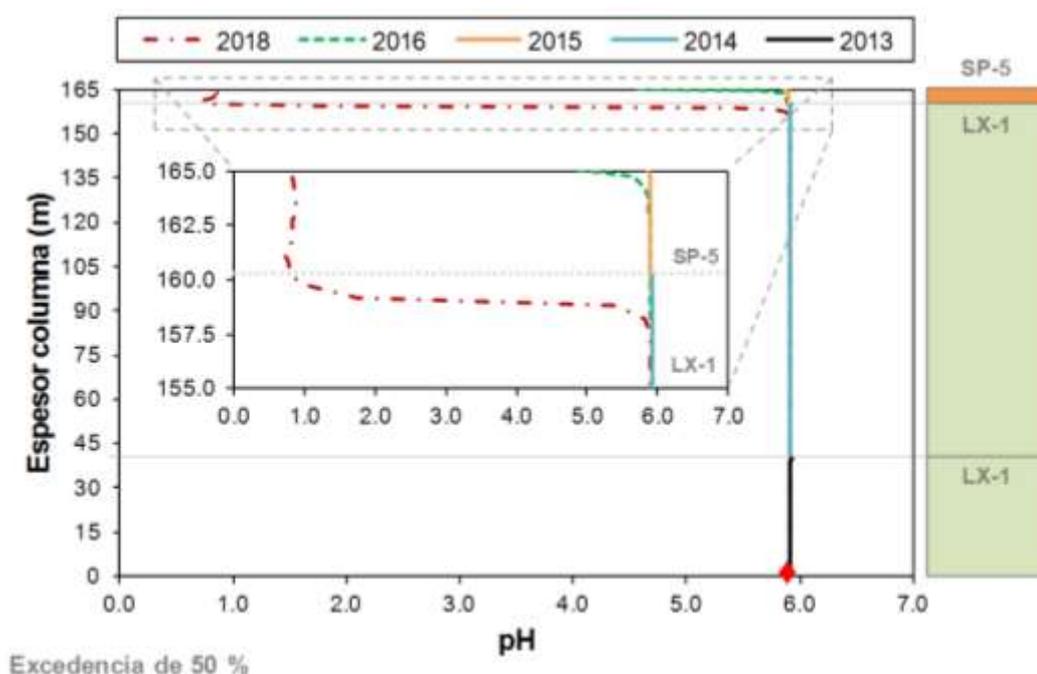


Figura 6-15. Evolución temporal del pH en el agua poral de la columna P-27. Las concentraciones fueron tomadas al final de cada año. ♦ pH a la salida de la columna

Las concentraciones de sulfato en la columna varían poco debido a la coexistencia de dos procesos que controlan su generación (oxidación de pirita y calcopirita) y su captura *vía* la precipitación de yeso, jarosita y alunita. Como es de esperar en la UGA SP-5 se observan los mayores cambios y teniendo en cuenta la evolución temporal entre 2015 y 2018 puede apreciarse claramente que los valores tienden a bajar debido a una mayor precipitación de minerales secundarios en el caso de 50% de excedencia (Figura 6-16) y a subir en el caso de 85% de excedencia (Anexo B). El aumento de sulfato en la UGA SP-5 para el año 2008 se debe a un cambio en la precipitación de minerales secundarios. Las condiciones ácidas del sistema no propician la precipitación de alunita y yeso y a pH con valores de 1 como los que se desarrollan en la UGA SP-5 en 2018 sólo la jarosita puede precipitar y las concentraciones de sulfato en las aguas aumentan en consecuencia.

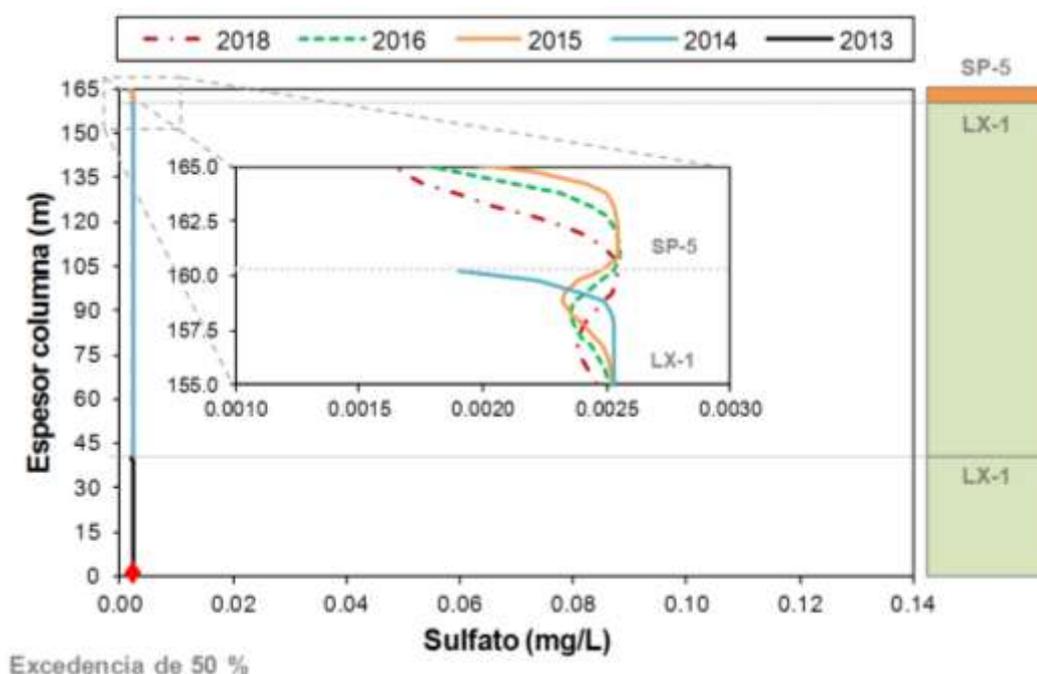


Figura 6-16. Evolución temporal de las concentraciones de sulfato en el agua poral de la columna P-27. Las concentraciones fueron tomadas al final de cada año. ♦ pH a la salida de la columna.

La presencia de Al en el agua intersticial de la columna está controlada por los procesos que se mencionaron anteriormente (disolución de aluminosilicatos en medio ácido y precipitación de alunita). En términos generales se observan concentraciones muy bajas con valores mayores en la UGA SP-5 en 2018 cuando las condiciones ácidas del agua de poro inhiben la precipitación de alunita y mínimos en el agua de salida de columna (Figura 6-17).

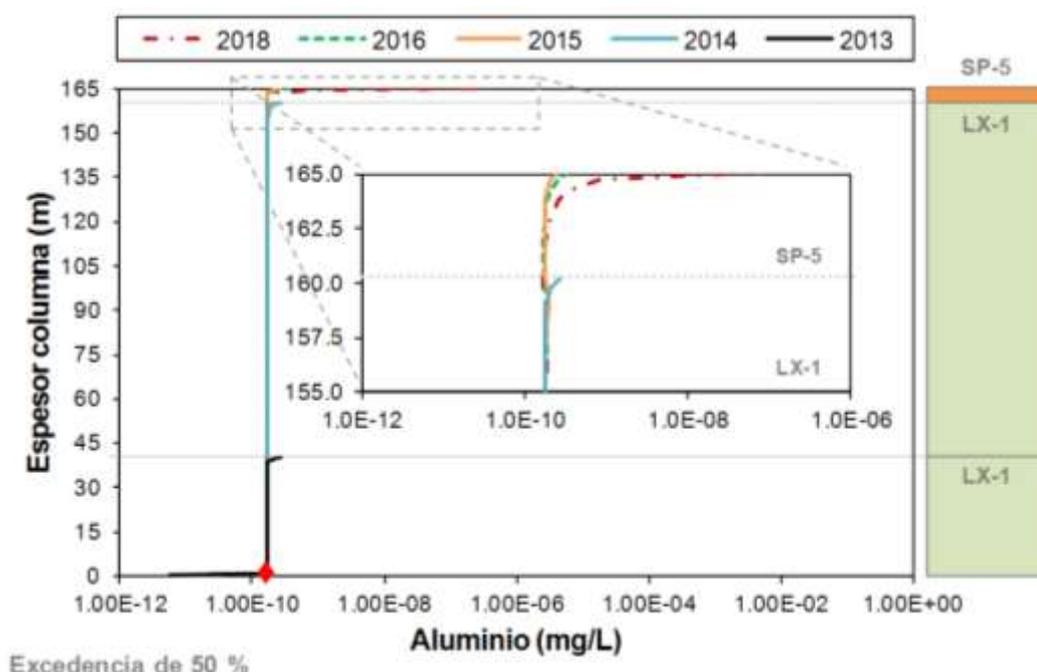


Figura 6-17. Evolución temporal de las concentraciones de aluminio en el agua poral de la columna P-27. Las concentraciones fueron tomadas al final de cada año. ♦ pH a la salida de la columna.

Las concentraciones de Cu están relacionadas directamente con la oxidación de la calcopirita. Cabe recordar que en nuestros modelos no hemos considerado la disolución/precipitación de calcita como parte del modelo conceptual para presentar el caso más desfavorable desde un punto de vista geoquímico. Esto explica que las concentraciones de Cu aumenten con el paso del tiempo, con especial énfasis en la UGA SP-5 donde la calcopirita es más abundante, debido a un proceso de acumulación de Cu en el agua de poro de la columna (Figura 6-17). Comparando los

dos casos pluviométricos se observa que los resultados son similares con concentraciones levemente mayores para el caso de 85% de excedencia (Anexo B).

Es importante destacar que si se hubiera considerado el mismo sistema en presencia de carbonatos se habría observado la precipitación de malaquita reduciendo la cantidad de Cu en el agua de poro y en la salida de la columna P-27. Otros sulfuros no determinados en estos depósitos minerales tales como arsenopirita, esfalerita, galena, etc. podrían además aportar As, Zn, Pb respectivamente en el agua de poro de las columnas y al agua de salida de las mismas. Sin embargo, para poder hacer un análisis de estos procesos una caracterización mineralógica de detalle es imprescindible. La presencia de metales pesados en las aguas de drenaje ácido es uno de los aspectos más sensibles relacionados con la calidad de aguas. Existen además, procesos que atenúan naturalmente esta contaminación como la co-precipitación o adsorción con óxidos de Fe.

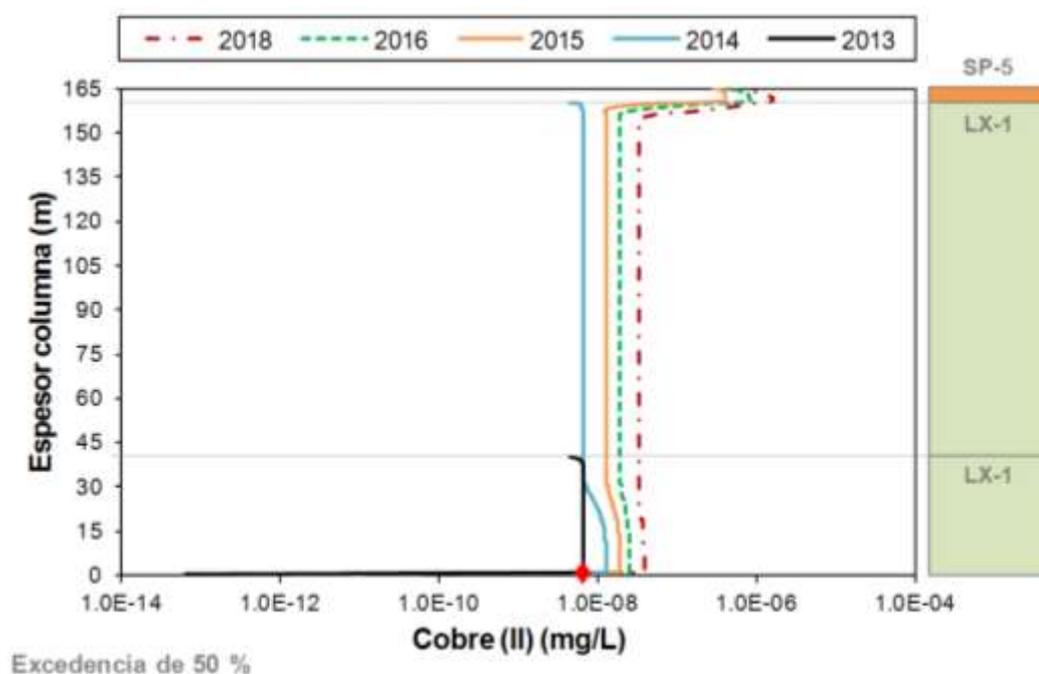


Figura 6-18. Evolución temporal de las concentraciones de cobre en el agua poral de la columna P-27. Las concentraciones fueron tomadas al final de cada año. pH a la salida de la columna.

Finalmente las concentraciones de Fe (Figura 6-19) se mantienen prácticamente sin cambios a lo largo de la columna porque, también en este caso, dos procesos controlan los contenidos de este elemento (aportes por disolución de pirita y calcopirita y captura por precipitación de jarosita (Figura 6-10). El aumento que se observa en las concentraciones en la UGA SP-5 entre 2015 y 2018 está relacionado con los cambios de pH que modifican el comportamiento geoquímico del sistema. Si bien a pH 1 la jarosita sigue actuando como sumidero de Fe, los bajos pH propician una mayor disolución de la pirita y la calcopirita y las concentraciones de Fe aumentan un orden de magnitud para el año 2018 y para el caso de excedencia de precipitación del 85% (Anexo B). Las condiciones meteorológicas tienen un alto impacto en el desarrollo de los procesos que se llevan a cabo en la columna.

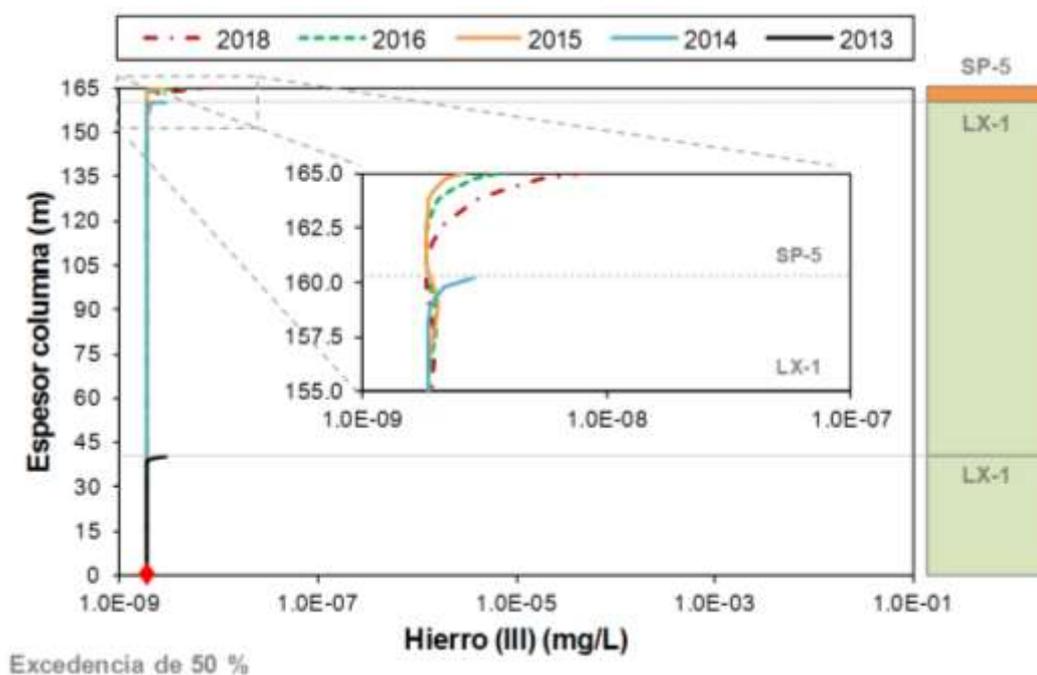
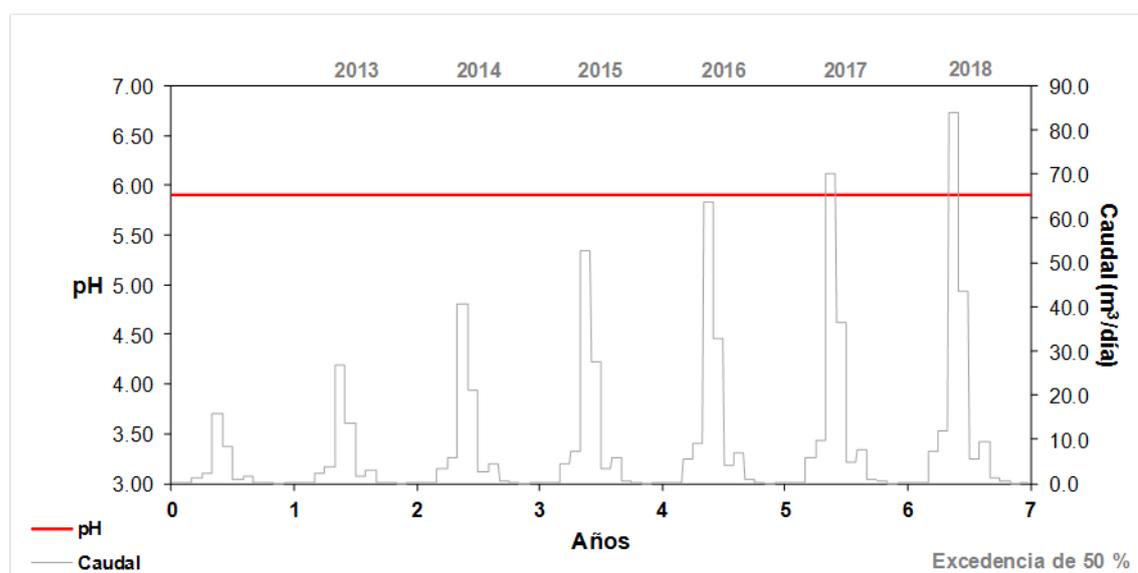


Figura 6-19. Evolución temporal de las concentraciones de cobre en el agua poral de la columna P-27. Las concentraciones fueron tomadas al final de cada año. ♦ pH a la salida de la columna.

### 6.3.2 Composición del agua a pie de botadero

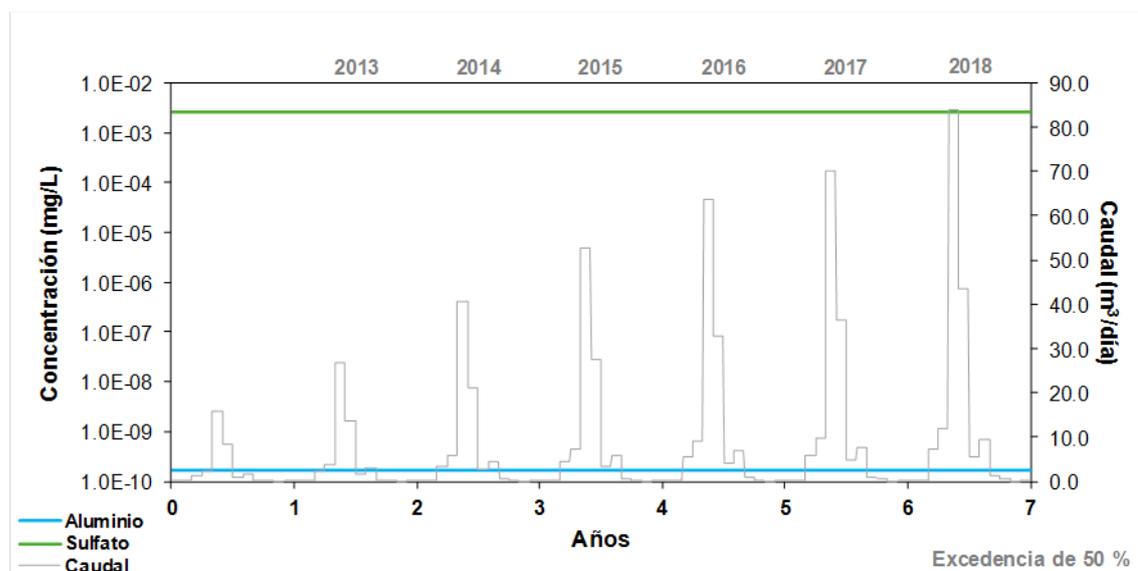
La composición del agua a pie de botadero ha sido calculada considerando una mezcla del agua de salida de las 31 columnas de acuerdo al esquema presentado en la Tabla 6-3. La composición final fue calculada mensualmente para un periodo total de 7 años. Los resultados obtenidos para estas aguas a pie de botadero muestran una composición muy estable en el tiempo. En las Figura 6-20 y Figura 6-21 y Figura 6-22 se muestran los resultados para los parámetro seleccionados para evaluar la calidad del agua de drenaje del botadero. En las mismas figuras se han graficado los caudales de salida del botadero en condiciones de flujo preferencial (en L/s) como referencia de la evolución de dichos caudales en el tiempo.



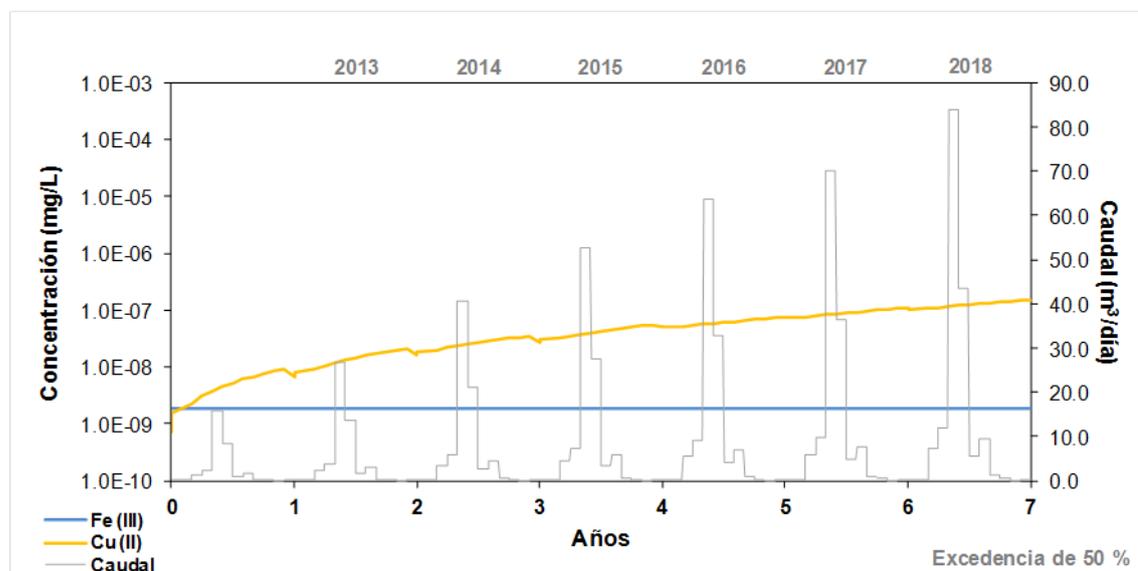
**Figura 6-20. Valores de pH calculados para las aguas a pie de botadero para un periodo de 7 años teniendo en cuenta la evolución temporal y espacial del mismo.**

Como puede observarse en la Figura 6-20, los valores de pH se mantienen alrededor de 6 a lo largo del tiempo considerado en este estudio mostrando que los aportes ácidos de las UGAs con contenidos mayores de pirita no afectan el pH final de la mezcla. Esto se debe a la capacidad de dilución que tienen las distintas UGAs que componen las columnas estudiadas y que, como resultado final, producen una atenuación natural del sistema que amortigua el impacto de drenajes ácidos en el

tiempo que se consideró para este análisis. Se observan comportamientos idénticos para los dos regímenes de lluvia incluidos en este estudio (Anexo C). Igual situación puede describirse para las concentraciones de Al y sulfato (Figura 6-21 y Anexo C).



**Figura 6-21. Concentraciones de aluminio y sulfato para las aguas a pie de botadero para un periodo de 7 años teniendo en cuenta la evolución temporal y espacial del mismo.**



**Figura 6-22. Concentraciones de hierro y cobre para las aguas a pie de botadero para un periodo de 7 años teniendo en cuenta la evolución temporal y espacial del mismo.**

El Cu presenta un comportamiento diferente y se observan, en ambos casos pluviométricos, concentraciones crecientes en el tiempo (Figura 6-22). Esto se debe, como se mencionara anteriormente, al hecho de no haber incluido en este análisis la disolución/precipitación de la calcita en nuestro modelo. De estar presente, esta reacción podría propiciar la precipitación de malaquita y, por ende, su captura de las aguas.

Las concentraciones de Fe (Figura 6-22) al igual que las de sulfato y Al permanecen constantes en el tiempo y similares a las calculadas para el régimen pluviométrico de 85% de excedencia (Anexo C).

En el Anexo C se han incluido los mismos datos de pH, concentraciones de Al, sulfato, Cu y Fe presentados en las Figura 6-21 y Figura 6-22 pero en escala normal para mostrar que se computaron pequeñas variaciones que evidencian los procesos que se describieron previamente en las columnas (Anexo C). Una vez obtenidas las mezclas se calcularon los índices de saturación con respecto a alunita, jarosita, ferrihidrita, malaquita, basaluminita, yeso, jurbanita, schwertmannita, azurita, antlerita, brocantita, langita,  $\text{Al(OH)}_3$  amorfo y  $\text{Cu(OH)}_2(\text{s})$ . Las mezclas resultantes del caso pluviométrico de 50 % de excedencia están subsaturadas con respecto a todos estos minerales y, por lo tanto, no se espera precipitación de minerales secundarios bajo este régimen pluviométrico. Para el caso de excedencia de precipitaciones de 85% se obtuvieron aguas sobresaturadas con respecto a ferrihidrita en 2013 y con respecto a alunita y jarosita en 2018. Pequeñas cantidades de minerales pueden precipitar, manteniendo de esta forma constantes las concentraciones del agua de las mezclas (Figura 6-23, Figura 6-24 y Figura 6-25).

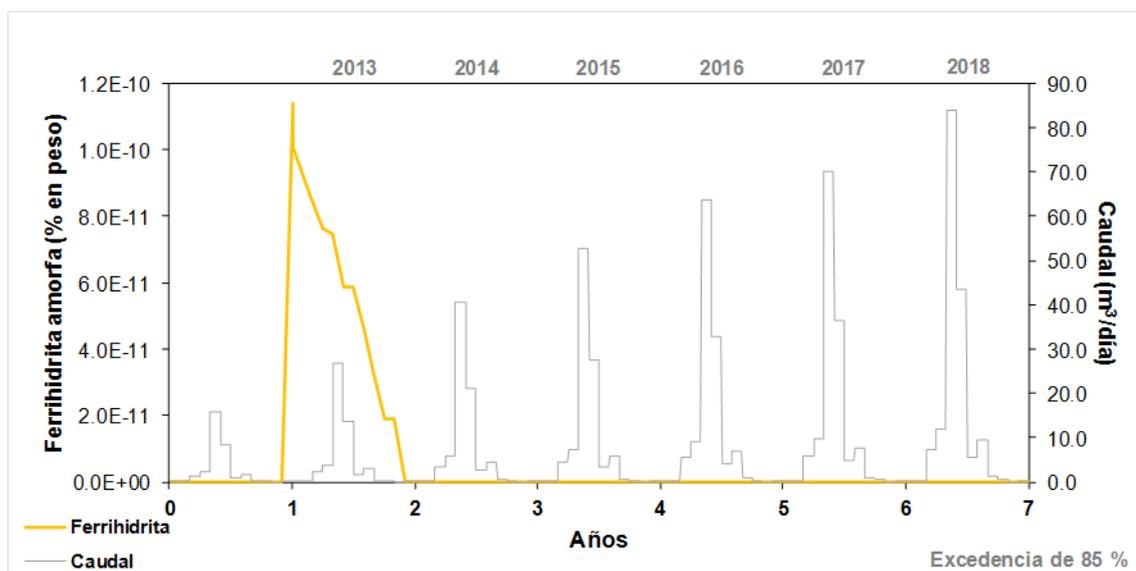


Figura 6-23. Precipitación de ferrihidrita en las aguas de mezcla a pie de botadero.

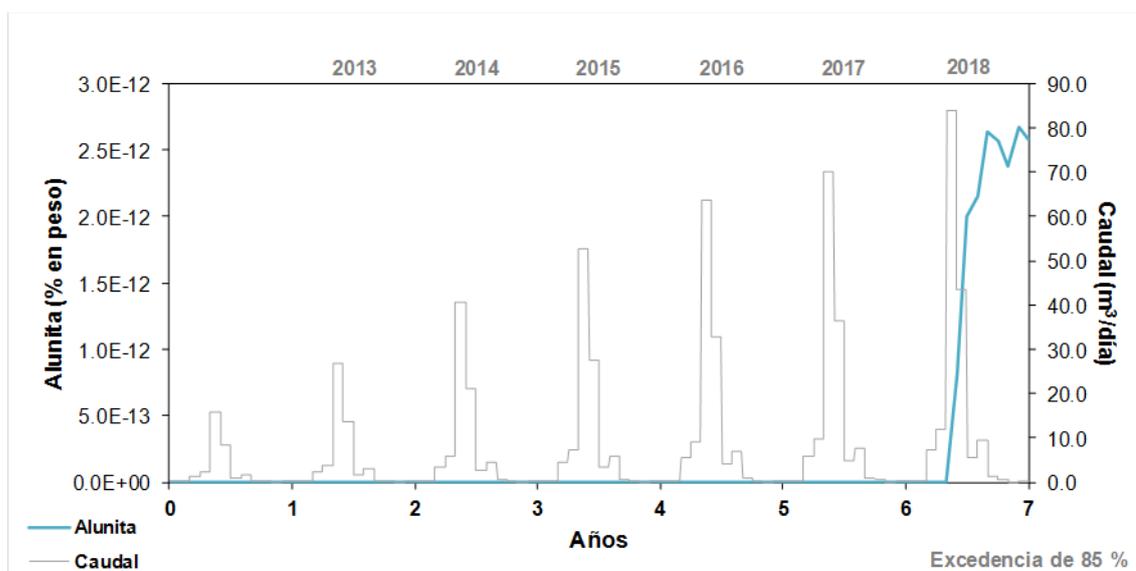


Figura 6-24. Precipitación de alunita en las aguas de mezcla a pie de botadero.

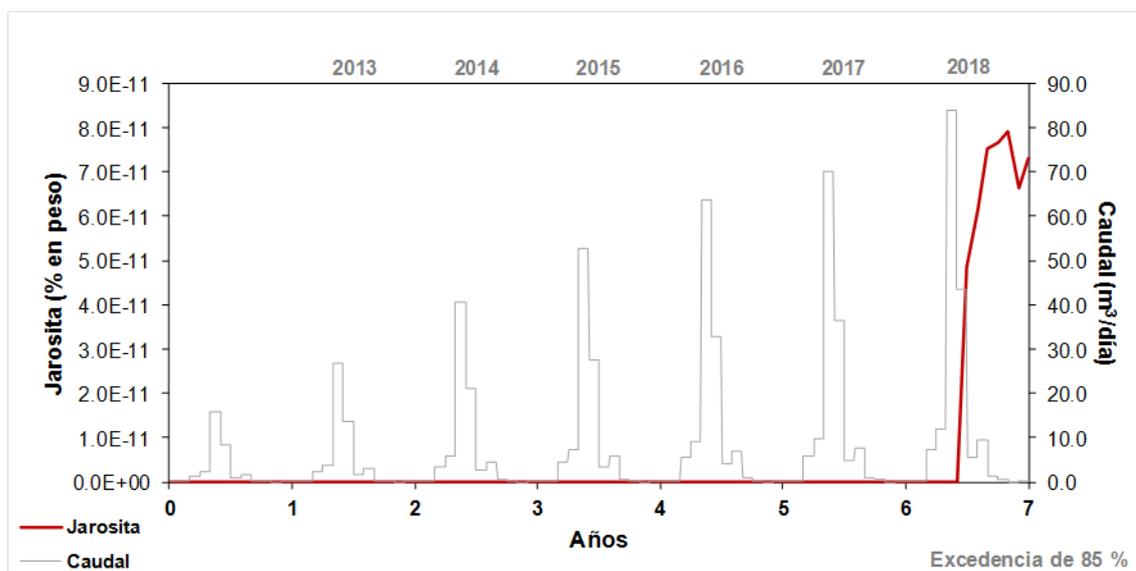


Figura 6-25. Precipitación de jarosita en las aguas de mezcla a pie de botadero.

### 6.3.3 Composición del agua en el punto de captación

La composición de las aguas descritas en el apartado anterior han sido calculadas teniendo en cuenta exclusivamente las aguas que infiltran en el botadero y las composiciones calculadas reflejan los aportes por drenaje. Sin embargo, es importante considerar que estas aguas de drenaje estarán sometidas a una dilución con aguas de escorrentía de la cuenca antes de alcanzar el punto de captación. Para realizar este cálculo se consideraron los caudales de escorrentía de la Tabla 6-9 para los dos casos pluviométricos considerados y estas aguas se mezclaron con las de drenaje de los botaderos en proporciones que reflejan las relaciones de caudales para cada mes a lo largo de 7 años. La composición química del agua de escorrentía se tomó a partir de la composición promedio del agua de la Estación LM-23: Río Ramadillas antes Quebrada Caserones (Tabla 6-9). Estas aguas fueron equilibradas con condiciones atmosféricas ( $O_2$  y  $CO_2$  atmosférico).

**Tabla 6-9. Composición química del agua de cuenca, valor promedio de concentraciones anuales de las aguas de la Estación LM-23: Río Ramadillas antes Quebrada Caserones.**

mg/L	Agua de Cuenca	
	No Equilibrada	Equilibrada
pH	7.5	7.5
O <sub>2</sub> (aq)	3.55E-06	1.32E-08
Aluminio	3.15E-07	3.15E-07
Silicio	5.77E-06	5.77E-06
Sodio	2.10E-05	2.10E-05
Potasio	2.07E-06	2.07E-06
Calcio	6.74E-05	6.74E-05
Magnesio	2.94E-05	2.94E-05
DIC (total)	3.11E-05	1.25E-05
Sulfato	1.67E-04	1.67E-04
Cloruro	2.21E-05	2.21E-05
Hierro (total)	2.47E-07	2.47E-07
Cobre (total)	7.99E-08	7.99E-08

Los resultados se presentan sólo para el año 2018 dado que no presentan cambios a lo largo del tiempo y se ha considerado como caso más desfavorable el último año.

En la Figura 6-26, se observa un cambio mínimo de pH en el mes de junio para el caso de 50% de excedencia y en agosto para 85% de excedencia. Sin embargo, estas variaciones son insignificantes a nivel de un sistema geoquímico. Puede considerarse además que los valores calculados para ambos ciclos pluviométricos son iguales y no presentan impacto de drenajes ácidos en el punto de captación a pesar de que en el año 2018 el máximo número de UGAs con pirita estará activo en el botadero. Los resultados muestran claramente que bajo estos regímenes pluviométricos el sistema tiene una importante capacidad de atenuación natural de drenajes ácidos. Es importante tener en cuenta que estos resultados son válidos para un tiempo de 7 años. A más largo plazo la situación cambiará, ya que la proporción de UGAs con alto

contenido en pirita y los mayores tiempos de exposición acentuarán los procesos de generación de drenaje ácido y éste acabará saliendo por la base del botadero.

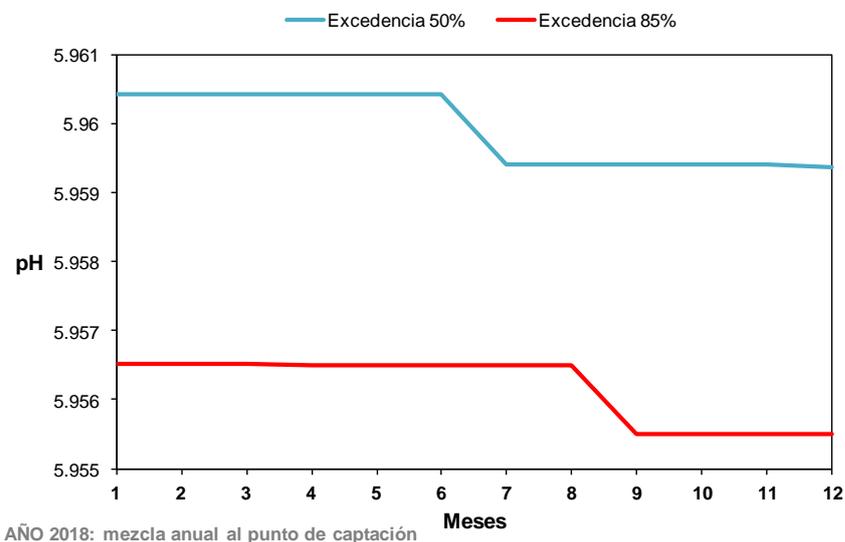
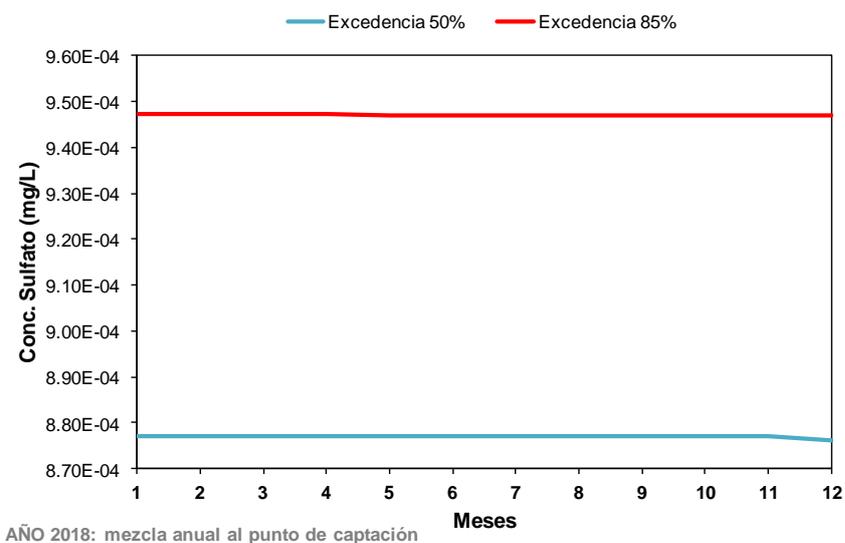


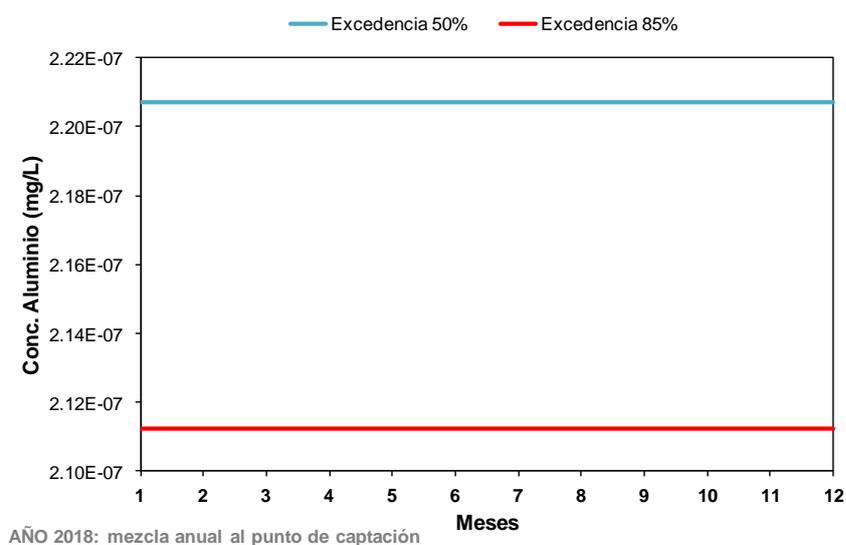
Figura 6-26. Evolución mensual del pH en el punto de captación para el año 2018.

Las concentraciones de sulfato también muestran concentraciones muy estables en el tiempo y similares en ambos casos pluviométricos. Las concentraciones calculadas se encuentran en el rango de concentraciones de las aguas de escorrentía de la cuenca (Tabla 6-9).



**Figura 6-27. Variación mensual de las concentraciones de sulfato en las aguas de mezcla en el punto de captación para el año de 2018.**

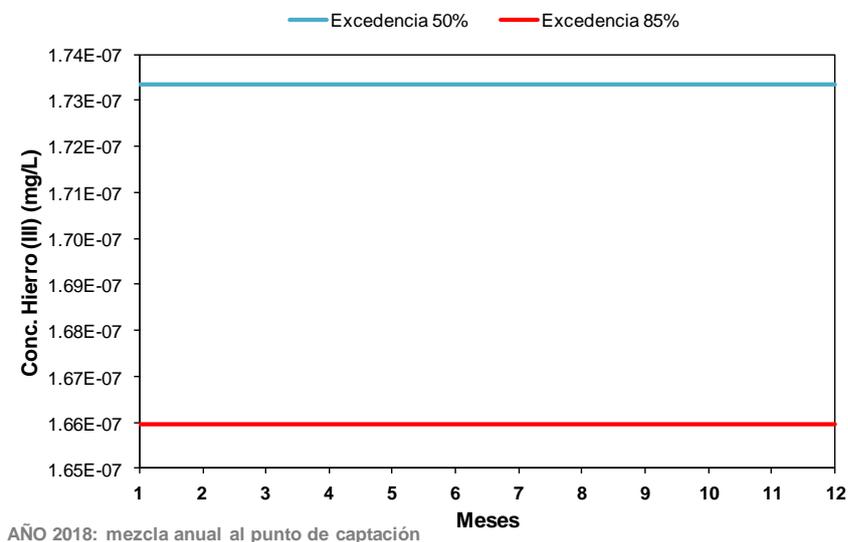
Las concentraciones de Al calculadas en el punto de captación presentan concentraciones más bajas que las del agua de escorrentía debido a la precipitación de alunita durante todo el año 2018 como se mencionara anteriormente (Figura 6-12).



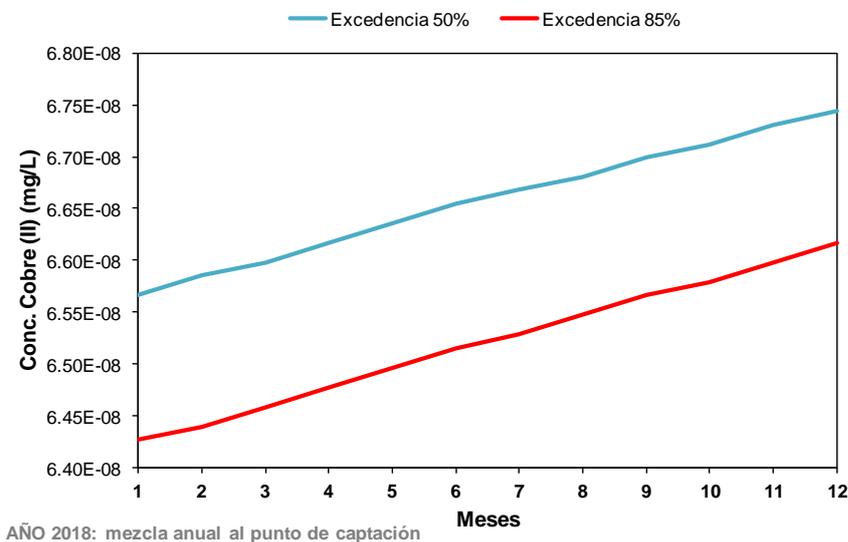
**Figura 6-28. Variación mensual de las concentraciones de aluminio en las aguas de mezcla en el punto de captación para el año de 2018.**

Las concentraciones de Fe para las aguas en el punto de captación se encuentran también en el rango de concentraciones de las aguas de escorrentía. En cambio, las concentraciones de Cu aumentan a lo largo del tiempo producto de la liberación de metal a partir de la oxidación de calcopirita. Esto demuestra la importancia de la evaluación cuantitativa de sulfuros primarios para una adecuada evaluación de la presencia de metales pesados en aguas aún en áreas alejadas de los botaderos. Una evaluación más detallada considerando la presencia de carbonatos permitiría una determinación de los rangos de variación de concentraciones de Cu posibles para esta cuenca. Sin embargo, es importante destacar que el caso presentado en este informe representa el caso más desfavorable desde un punto de vista geoquímico. La presencia de carbonatos podría favorecer, dependiendo de las concentraciones, la

precipitación de malaquita y la por tanto disminución de los contenidos de Cu en las aguas de mezcla en el punto de captación.



**Figura 6-29. Variación mensual de las concentraciones de hierro en las aguas de mezcla en el punto de captación para el año de 2018.**



**Figura 6-30. Variación mensual de las concentraciones de cobre en las aguas de mezcla en el punto de captación para el año de 2018.**



## 7. Referencias

**Arcadis (2010)** – Estudio hidrológico de crecidas quebrada la brea.. Informe N° 3616-664-IH-INF-001, 30 pp.

**Arcadis (2011)** – Reporte visita a terreno. Informe de terreno 060-RVT-3738, 4 pp.

**Breiddin, H. (1963)** – *Die Grundribkarnten des Hydrogeologischen Kartenwekes der Wasserwistschafteverwaltung von Norgrhein-Westfalen*. Geologische Mitteilungen, v. 2, n. 4, p. 393-416.

**Carsel, R.F. and Parrish, R.S. (1988)** – Developing Joint Probability-Distributions of Soil-Water Retention Characteristics. *Water Resources Research*. **24**: 755-769.

**Custodio E. y M. R. Llamas (1983)** – *Hidrología Subterránea*. Omega (2 Vol.) 2359 pp.

**Dirección de Vialidad de Chile (2002)** – Volumen N°3, Instrucciones y criterios de diseño, Versión Junio 2002, Manual de Carreteras-Dirección de vialidad.474pp.

**GAC (2010)** – Proyecto Caserones. Estudio de impacto ambiental. Capítulo V: Descripción de la línea base.. 240 pp.

**Lefebvre, R., Hockley, D., Smolensky, J. & Gélinas, P. (2001)** – Multiphase transfer processes in waste rock piles producing acid mine drainage 1: Conceptual model and system characterization. *Journal of Contaminant Hydrology*. **52**: 137–164

**Panday, S. & Huyakorn, P.S. (2008)** – MODFLOW SURFACT: A State-of-the-Art Use of Vadose Zone Flow and Transport Equations and Numerical Techniques for Environmental Evaluations. doi: 10.2136/vzj2007.0052 *Vadose Zone Journal*. **7**, 2: 610-631

**Pruess K, Oldenburg C, Moridis G. (1999)** – TOUGH2 User's Guide, Version 2.0. Report LBNL-43134. Lawrence Berkeley National Laboratory.

**Samper, F. & Carrera, J. (1990)** – Geoestadística aplicada a la hidrología subterránea. Centro internacional de métodos numéricos en ingeniería. 484pp. ISBN:8440460457.

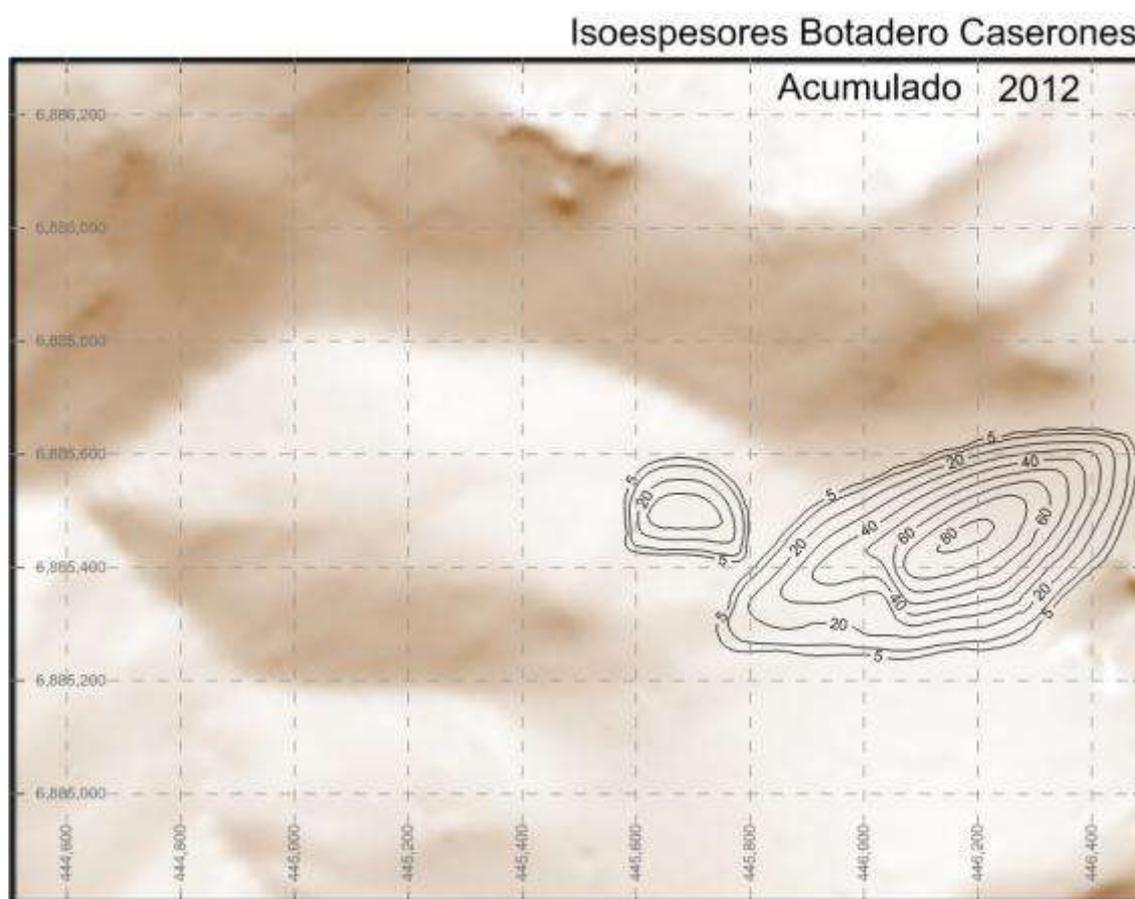
**Schlumberger (2008)** – Proyecto Caserones. Estudio de impacto ambiental. Anexo V-8: Calidad de aguas.

**SRK Consulting (2011)** – Estudios hidrogeológicos complementarios control de infiltraciones depósitos de lamas quebrada La Brea, Número de Proyecto 02-2161-03

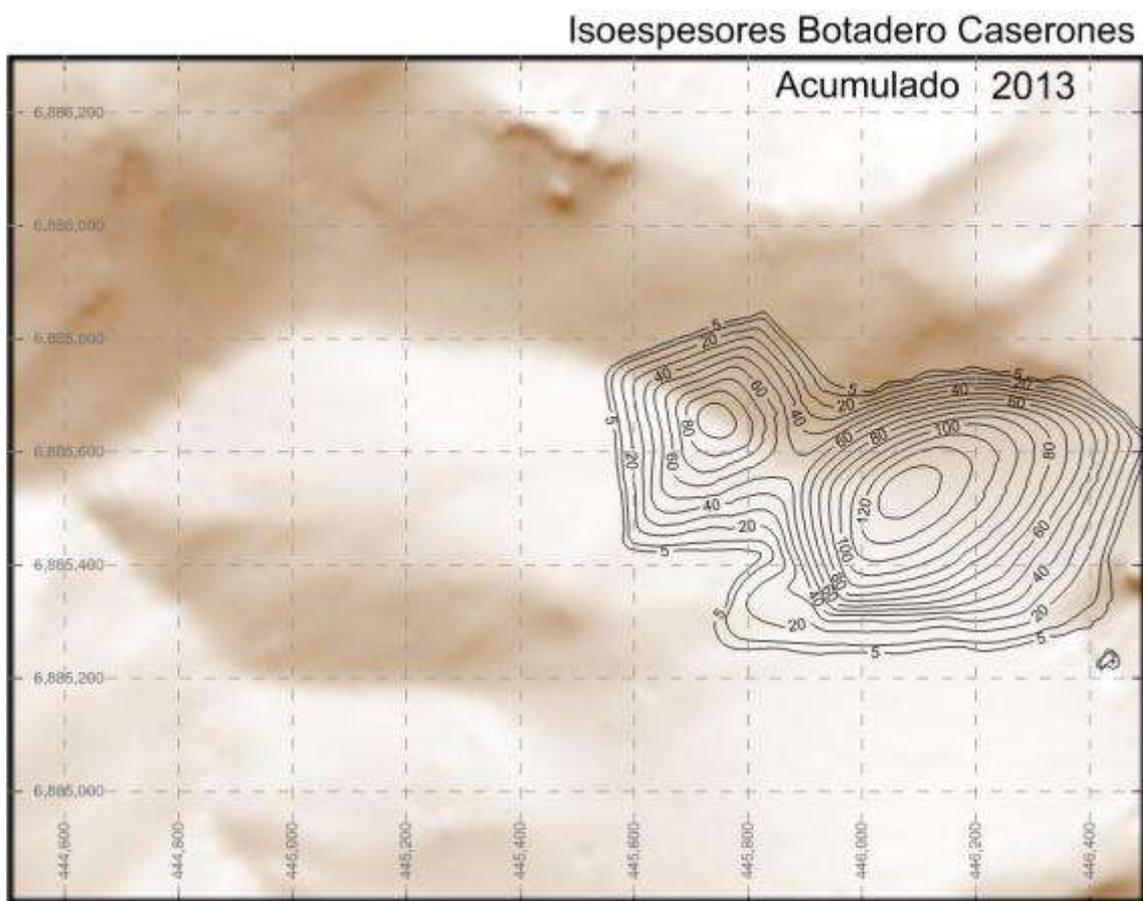
**van Genuchten, M. Th. (1980)** – A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* **44**: 892-898.

**Xu T, Sonnenthal E, Spycher N, Pruess K. (2008)** – TOUGHREACT User's Guide: A simulation program for non-isothermal multiphase reactive geochemical transport in variably saturated geologic media. Version 1.2. Berkeley, CA.: Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California.

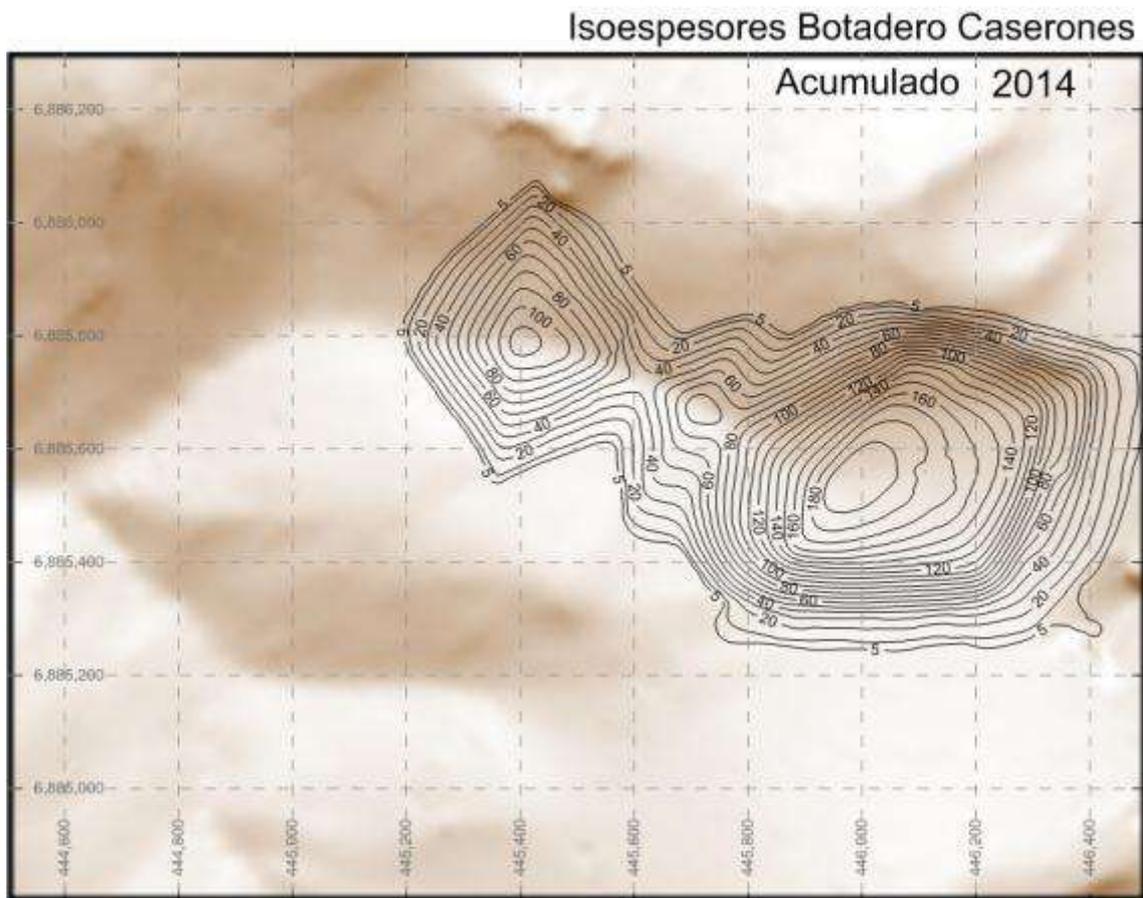
## Anexo A. Mapas de isoespesores anuales del botadero



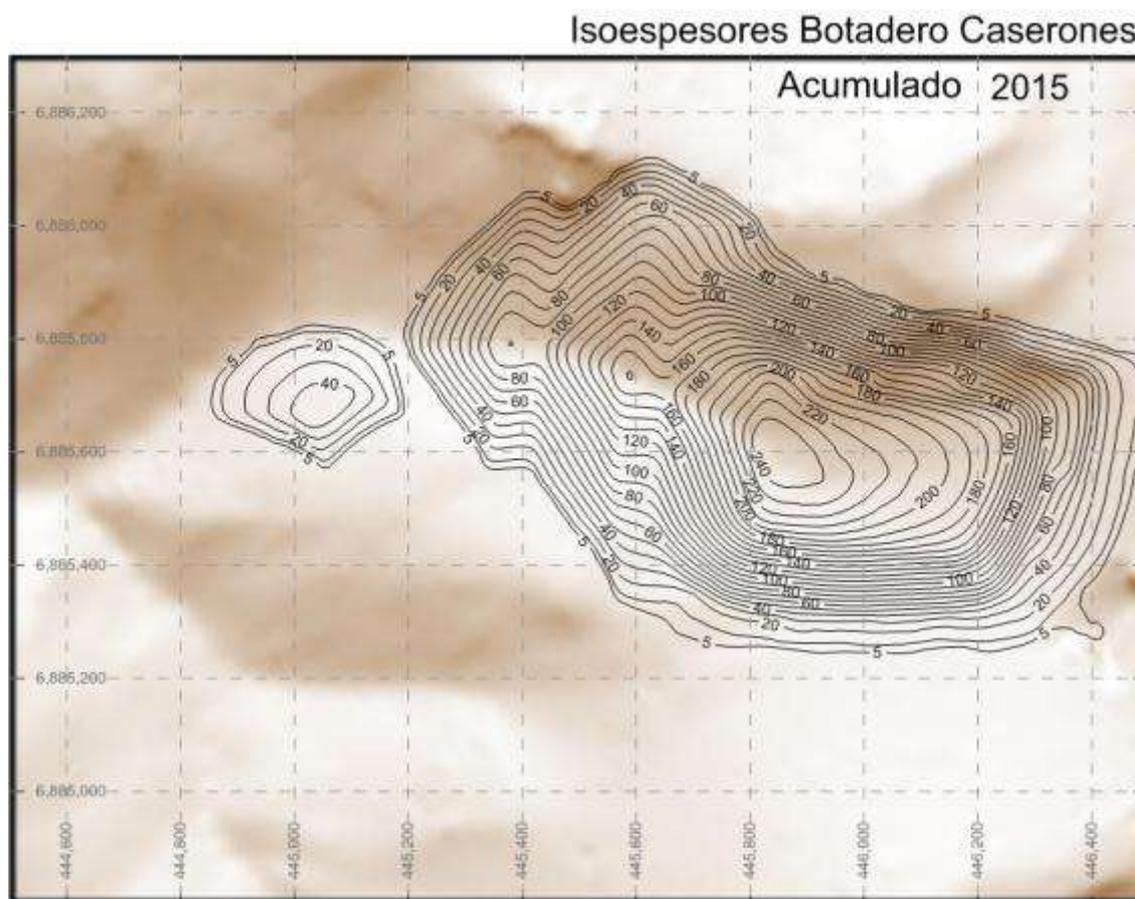
Anexo A- 1. Isoespesores del Botadero de Caserones para el acumulado de 2012.



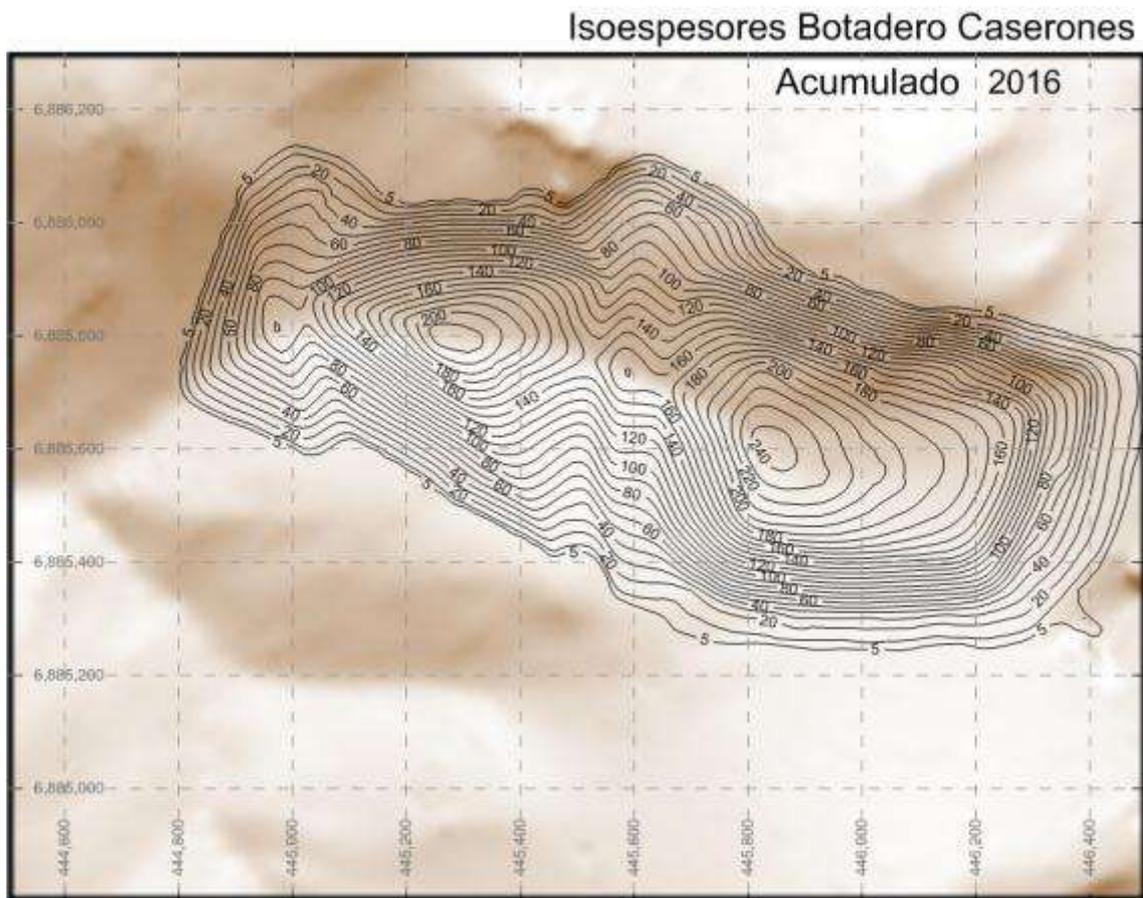
**Anexo A- 2. Isoespesores del Botadero de Caserones para el acumulado de 2013.**



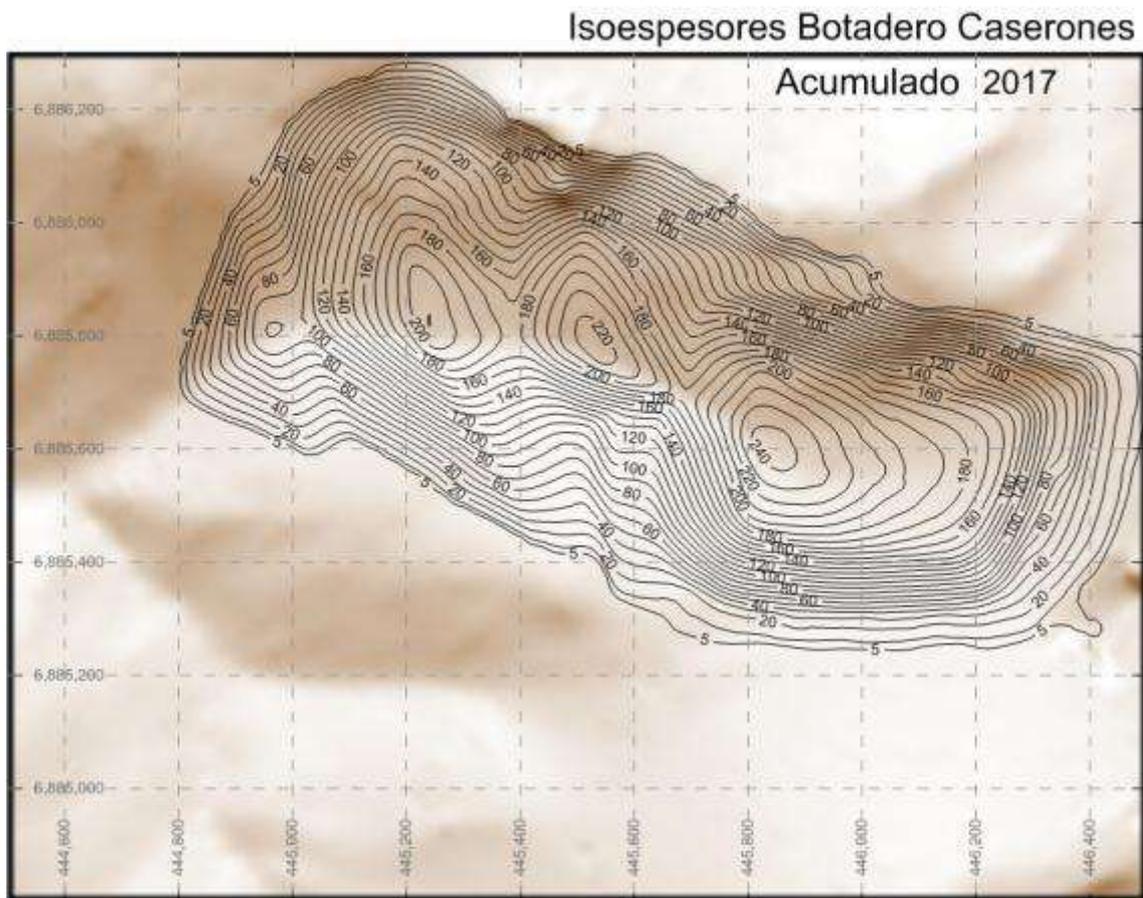
**Anexo A- 3. Isoespesores del Botadero de Caserones para el acumulado de 2014.**



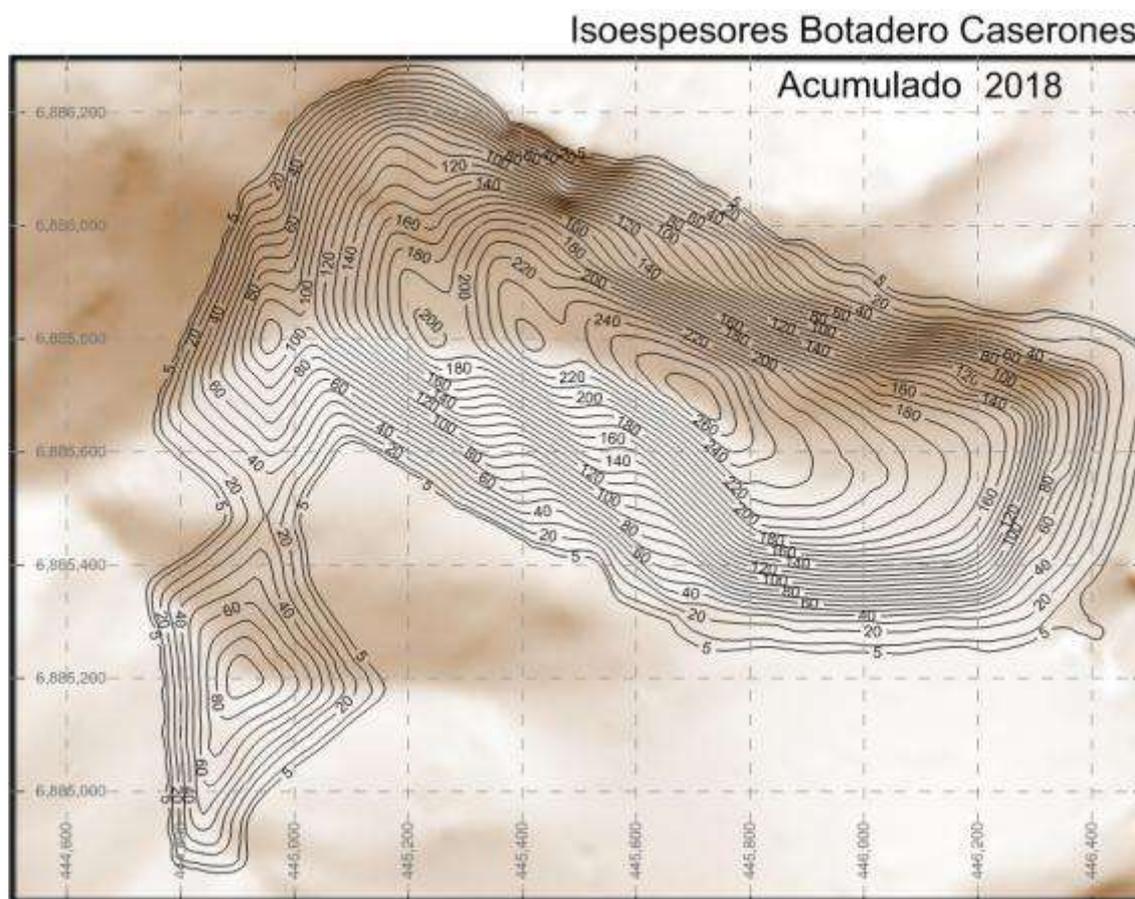
**Anexo A- 4. Isoespesores del Botadero de Caserones para el acumulado de 2015.**



**Anexo A- 5. Isoespesores del Botadero de Caserones para el acumulado de 2016.**

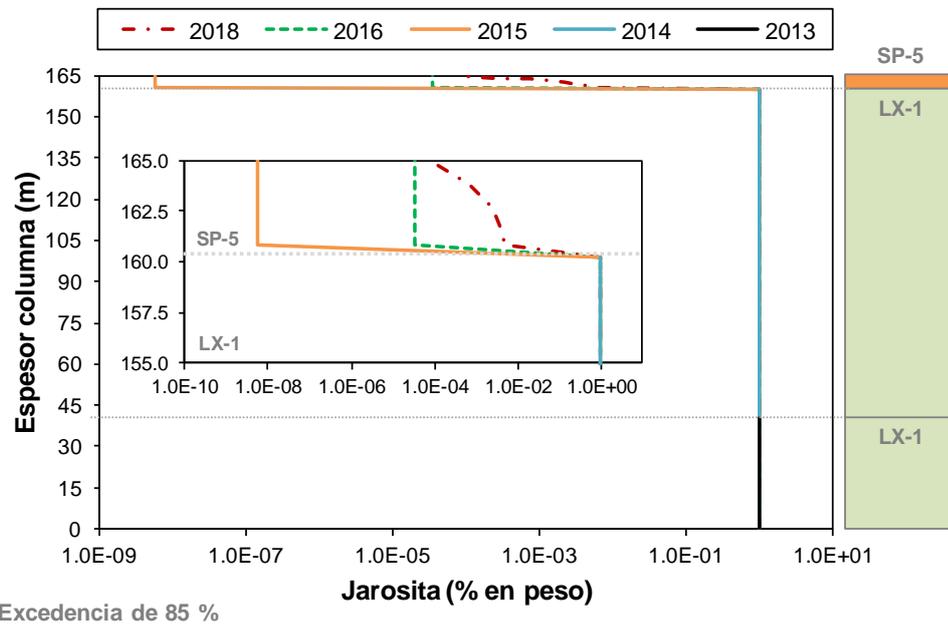


**Anexo A- 6. Isoespesores del Botadero de Caserones para el acumulado de 2017.**

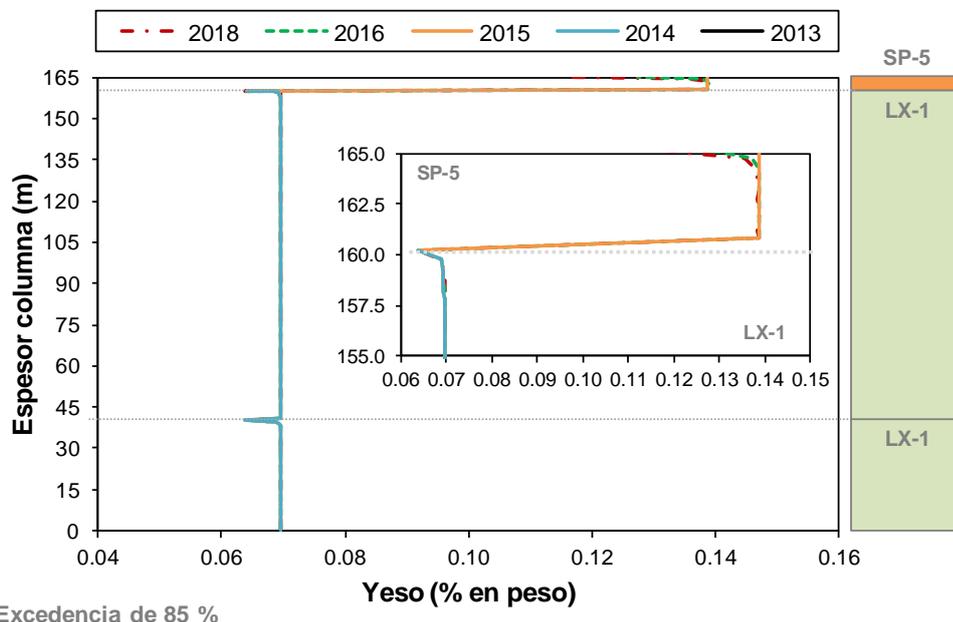


**Anexo A- 7. Isoespesores del Botadero de Caserones para el acumulado de 2018.**

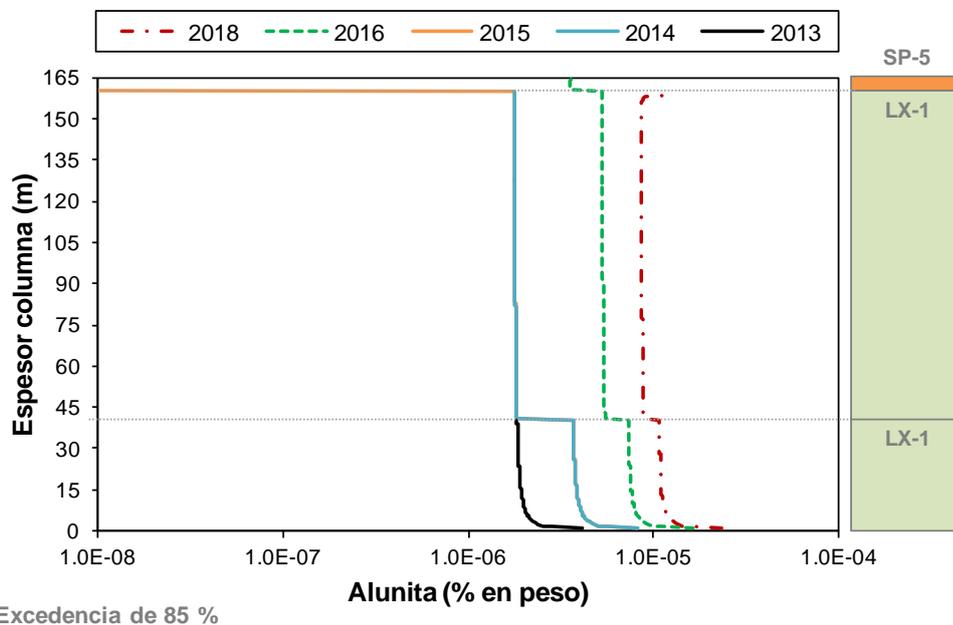
## Anexo B. Resultados de la evolución temporal de la columna P-27 para el caso pluviométrico con 85% de excedencia de precipitaciones



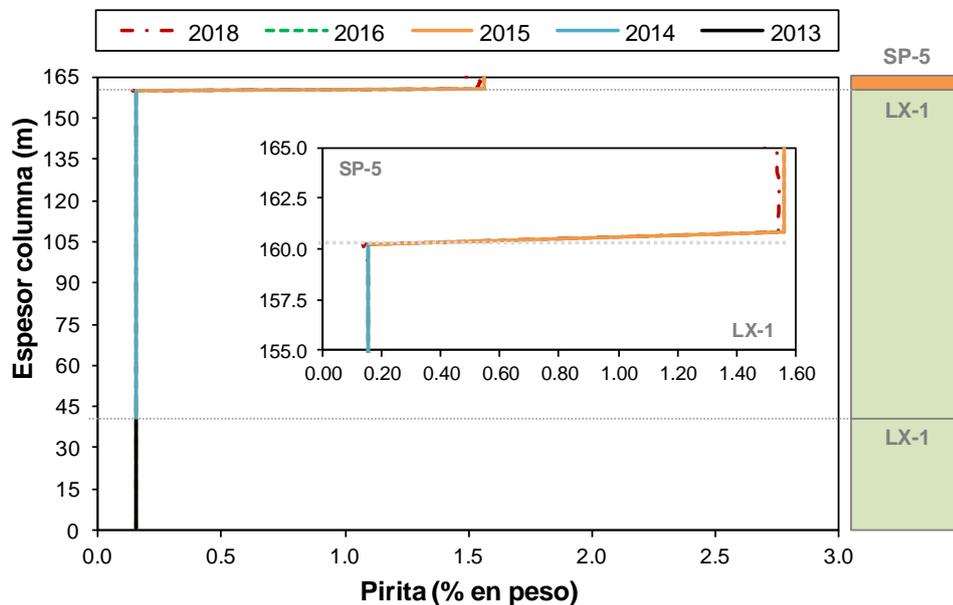
Anexo B- 1. Evolución temporal de las concentraciones de jarosita a lo largo de la columna P-27. Concentraciones calculadas al final de cada año.



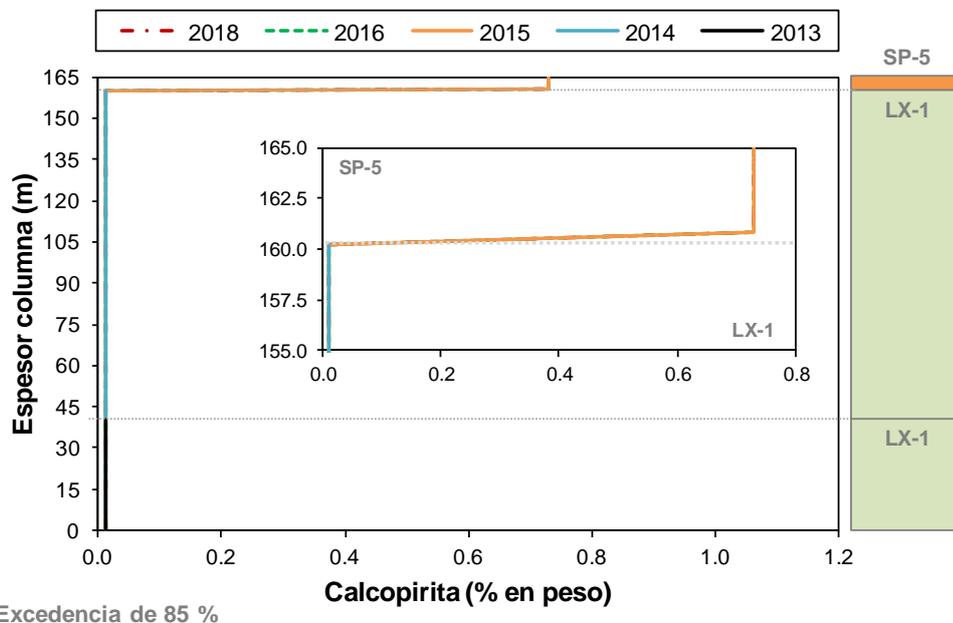
**Anexo B- 2. Evolución temporal de las concentraciones de yeso a lo largo de la columna P-27. Concentraciones calculadas al final de cada año.**



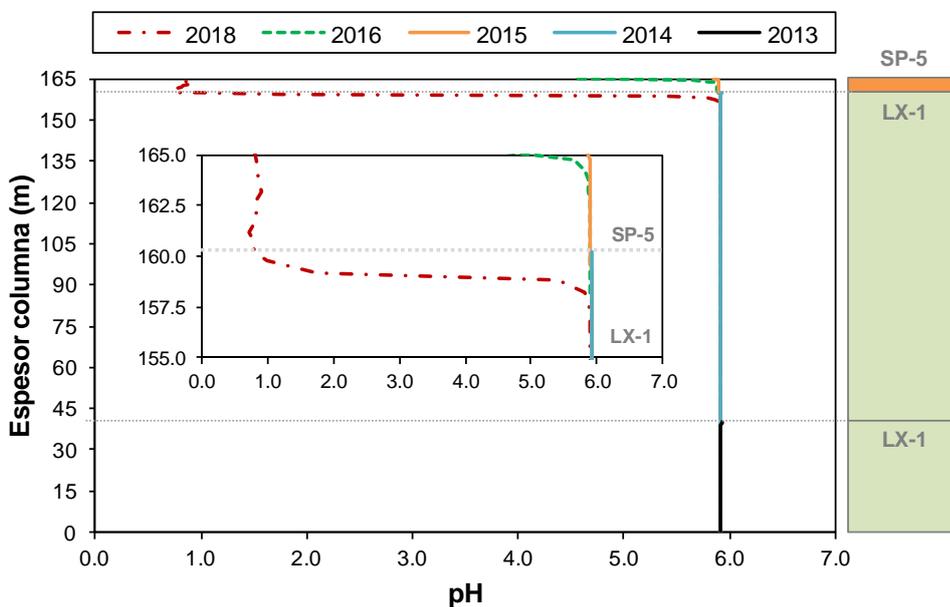
**Anexo B- 3. Evolución temporal de las concentraciones de alunita a lo largo de la columna P-27. Concentraciones calculadas al final de cada año.**



**Anexo B- 4. Evolución temporal de las concentraciones de pirita a lo largo de la columna P-27. Concentraciones calculadas al final de cada año.**

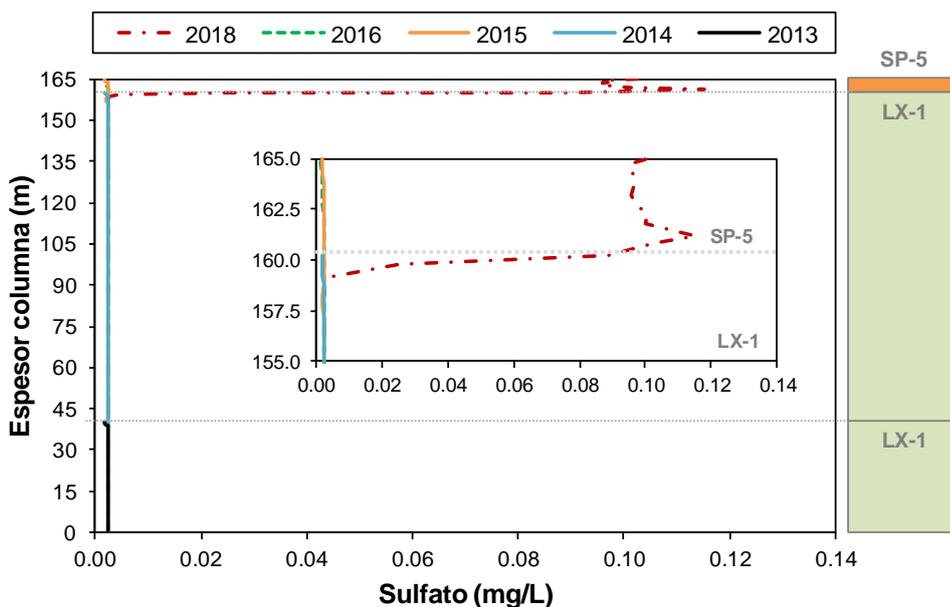


**Anexo B- 5. Evolución temporal de las concentraciones de pirita a lo largo de la columna P-27. Concentraciones calculadas al final de cada año.**



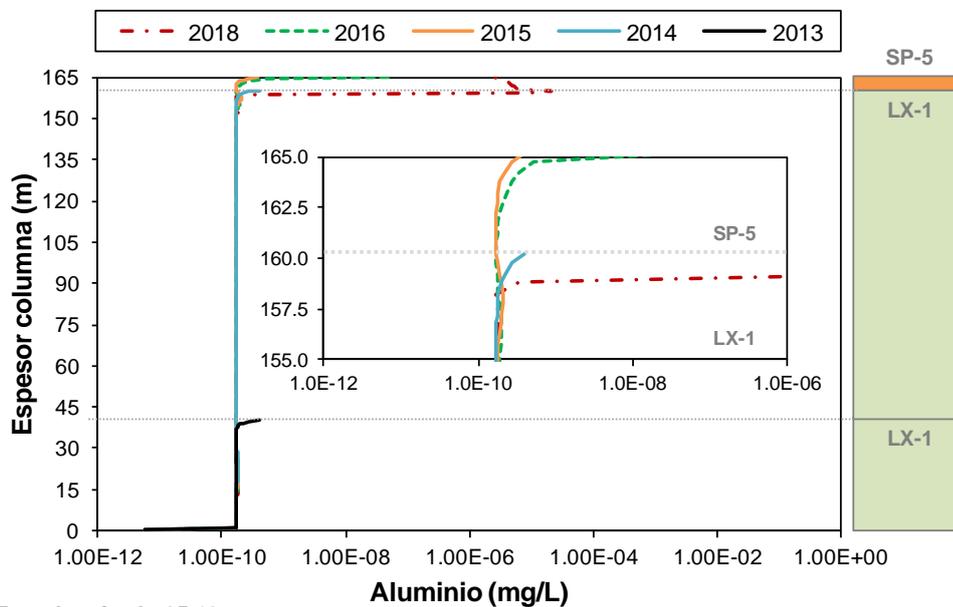
Excedencia de 85 %

**Anexo B- 6. Evolución temporal del pH en el agua poral de la columna P-27. Concentraciones calculadas al final de cada año.**



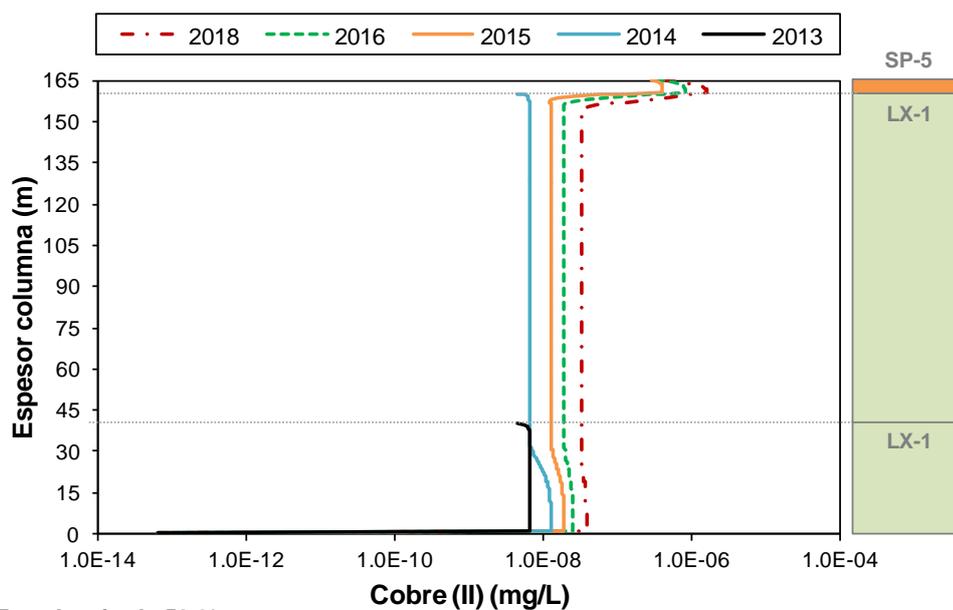
Excedencia de 85 %

**Anexo B- 7. Evolución temporal de las concentraciones de sulfato en el agua poral de la columna P-27. Concentraciones calculadas al final de cada año.**



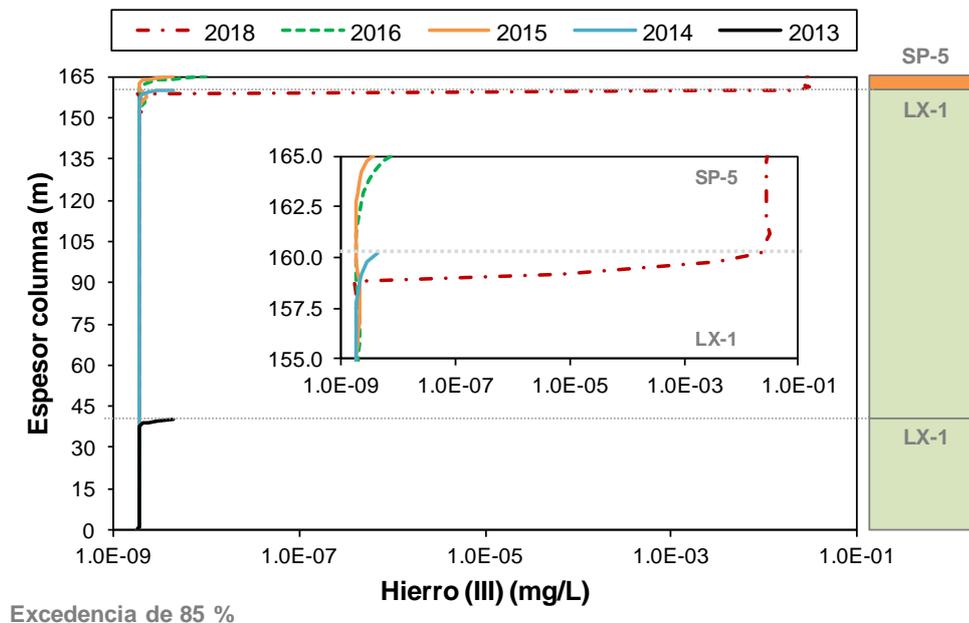
Excedencia de 85 %

**Anexo B- 8. Evolución temporal de las concentraciones de aluminio en el agua poral de la columna P-27. Concentraciones calculadas al final de cada año.**



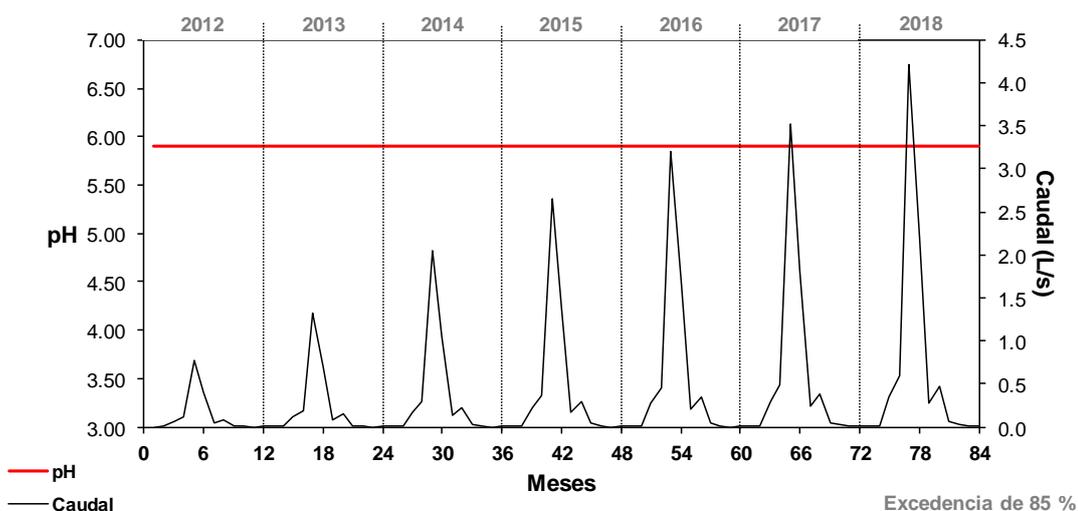
Excedencia de 50 %

**Anexo B- 9. Evolución temporal de las concentraciones de cobre(II) en el agua poral de la columna P-27. Concentraciones calculadas al final de cada año.**

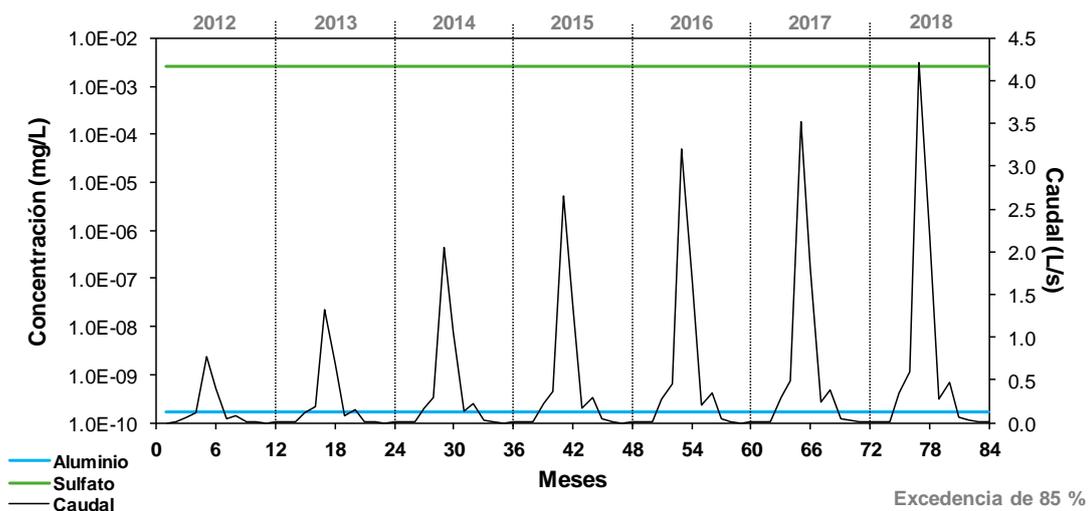


**Anexo B- 10. Evolución temporal de las concentraciones de hierro(III) en el agua poral de la columna P-27. Concentraciones calculadas al final de cada año.**

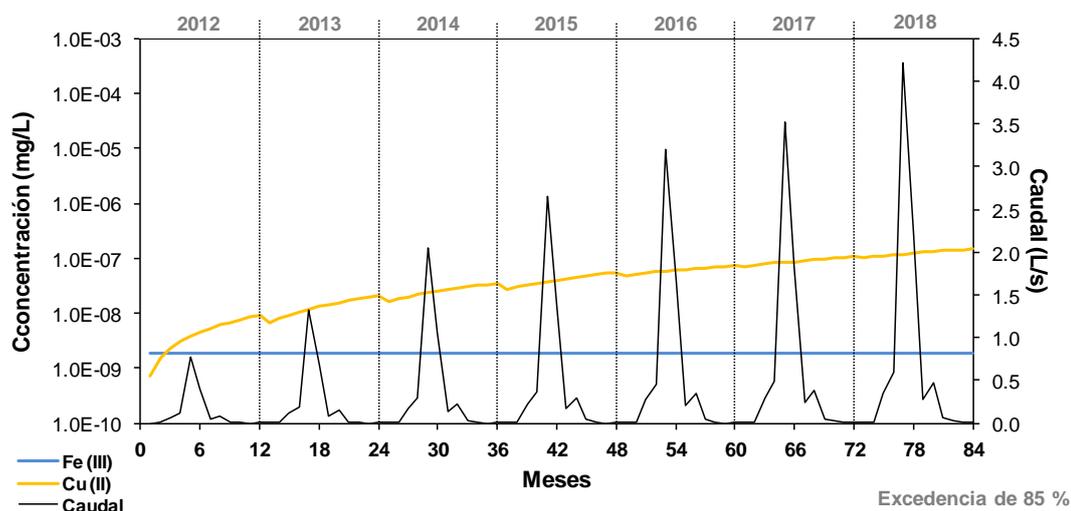
## Anexo C. Composición del agua a pie de botadero



Anexo C- 1. Valores de pH calculados para las aguas a pie de botadero para un periodo de 7 años teniendo en cuenta la evolución temporal y espacial del mismo.



**Anexo C- 2. Valores de aluminio y sulfato calculados para las aguas a pie de botadero para un periodo de 7 años teniendo en cuenta la evolución temporal y espacial del mismo.**



**Anexo C- 3. Valores de hierro(III) y cobre(II) calculados para las aguas a pie de botadero para un periodo de 7 años teniendo en cuenta la evolución temporal y espacial del mismo.**