



Santiago, 26 de Abril de 2016  
VPAC-2016-015

**Superintendencia de Medio Ambiente**

Dominique Hervé Espejo

Fiscal

Teatinos N° 280, piso 8

Santiago

PRESENTE

**Ref.: Resolución Exenta N° 304, de fecha 08 de Abril de 2016.**

De mi consideración,

En relación a lo ordenado en el **Resuelvo Segundo** de la Resolución Exenta de la referencia, nos permitimos informar a Ud. lo siguiente:

- 1. A lo requerido en el Punto 1.1:** *“Reducir el volumen de agua almacenada en la cubeta del tranque de relaves, de acuerdo a su máxima capacidad técnica instalada, extrayendo el agua sobrenadante con la implementación del sistema de bombeo que para ello se requiera. Para cumplir lo anterior, el titular deberá operar a su máxima capacidad, conforme a las condiciones actuales de espejo de agua (volumen y profundidad) esto es, deberá operar el sistema de recuperación de aguas del tranque cumpliendo al menos, con el estándar de 125 l/s como promedio quincenal y mientras se mantengan las referidas condiciones”.*

Sobre la indicación de la autoridad de reducir el volumen de agua en la cubeta del tranque, se adjunta Informe **“Respuesta Resolución Exenta N°304/2016”**, que contiene los respaldos de desempeño del sistema, incluyendo:

- Registros fotográficos fechados entre el 11 y el 25 de Abril de 2016, y;
- Registro de caudal de agua bombeada (m<sup>3</sup>/día) y el cálculo de recuperación l/s promedio.

Además, en Anexo 1 se entrega batimetría realizada al depósito de relaves con fecha 14 de Abril de 2016, en la cual se entrega la siguiente información:

- Superficie de espejo de agua;
- Volumen del espejo de agua;

- Superficie de relaves depositados;
- Volumen de relaves depositados;
- Profundidad máxima y media del espejo de agua, y;
- Explicación de cálculo para la obtención de los valores.

2. **A lo requerido en el Punto 2º:** *Ordena la remisión de las mediciones realizadas en el marco del Programa de Monitoreo Hidrogeológico establecido en el Considerando 8.3.2 de la RCA Nº137/2011 de 8 de agosto de 2011, que autoriza ambientalmente el proyecto Sierra Gorda, con una frecuencia de reporte mensual. Los informes deberán ser remitidos en formato físico y digital, junto a una sistematización de los resultados en planilla Excel. El primer reporte deberá considerar los resultados de los monitoreos para los meses de enero, febrero y marzo 2016.*

Sobre la solicitud de entrega de información por parte de la autoridad, en Informe “**Respuesta Resolución Exenta Nº304/2016**”, adjunto, se presenta los antecedentes indicados, entregando en Anexo los siguientes respaldos:

- Anexo 2:
    - Apéndice 2.1: Informe Trimestral Monitoreo de Agua.
    - Apéndice 2.2: Comprobante de ingreso de Informe a SNIFA.
    - Apéndice 2.3: Carta conductora SG-HSE-041-16 de entrega de informe a DGA.
  - En Anexo 3: Planilla Excel con la sistematización de los resultados.
3. Copia de toda la información aquí presentada se entrega en formato físico y digital en CD-ROM que acompaña esta carta.

Sin otro particular, y esperando una buena acogida de los antecedentes, saluda atentamente a Usted,



**Miguel Baeza**  
General Counsel  
Sierra Gorda SCM



Respuesta

**Resolución Exenta N°304/2016**

Ordena Medida Provisional Que  
Indica

26 de Abril 2016

**RESUELVO SEGUNDO:**

- 1.1. Reducir el volumen de agua almacenada en la cubeta del tranque de relaves, de acuerdo a su capacidad técnica instalada, extrayendo el agua sobrenadante con la implementación del sistema de bombeo que para ello se requiera. Para cumplir con lo anterior, el titular deberá operar a su máxima capacidad conforme a las condiciones actuales del espejo de agua (volumen y profundidad), esto es, deberá operar el sistema de recuperación de aguas del tranque cumpliendo al menos, con el estándar de 125 l/s como promedio quincenal y mientras se mantengan las referidas condiciones.

Para verificar lo anterior, se solicita:

- i) Registro fotográfico fechado, de la superficie del espejo de agua en la cubeta del tranque de relaves.

Se presentan fotografías tomadas desde el día 11 al 25 de Abril de 2016.

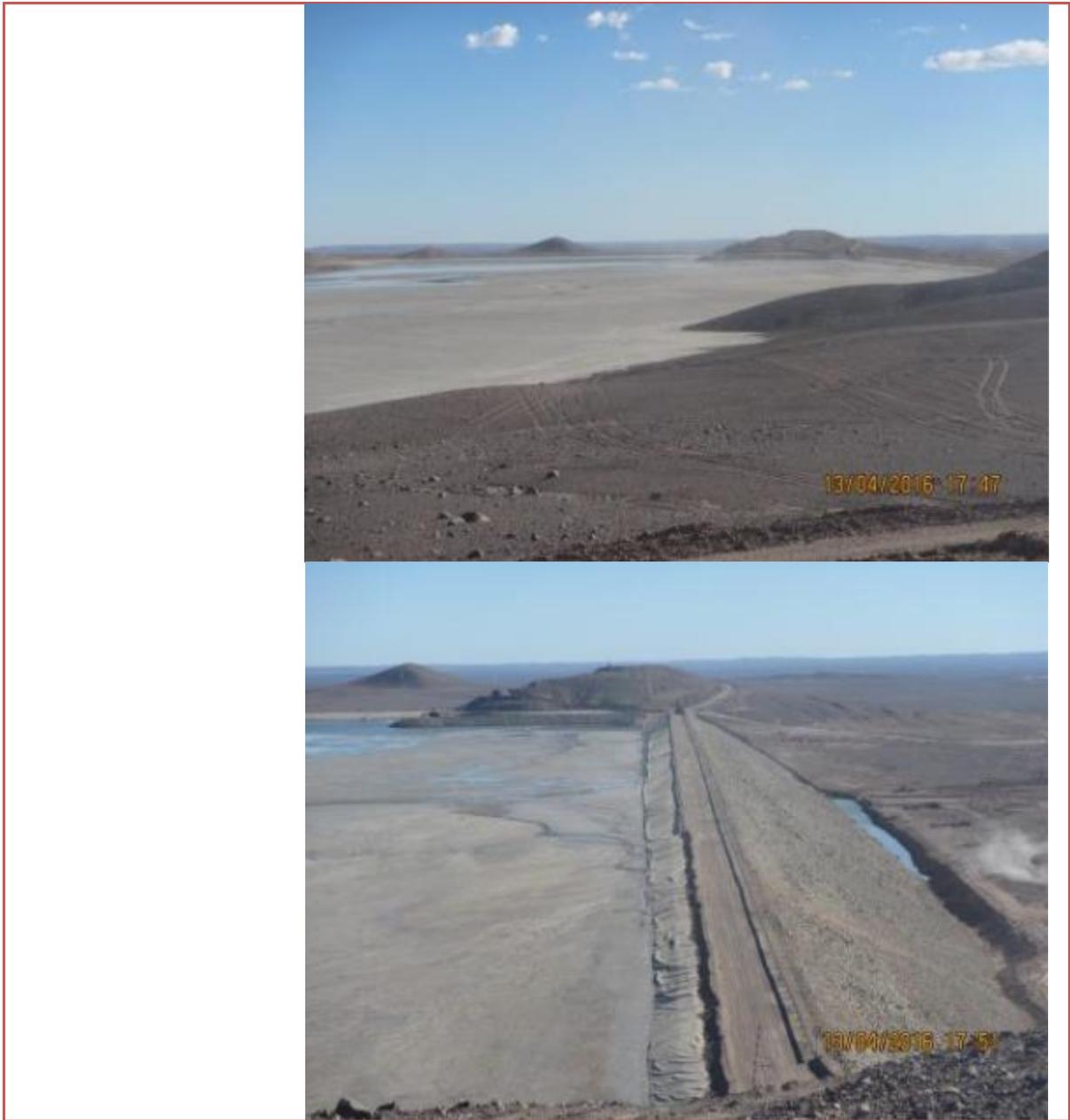
FECHA	REGISTRO FOTOGRÁFICO
11 de Abril	



12 de Abril







**14 de Abril**





**15 de Abril**





**16 de Abril**





**17 de Abril**





**18 de Abril**







20 de Abril





**21 de Abril**







**22 de Abril**





**23 de Abril**







**24 de Abril**





**25 de Abril**





ii) **Un registro del caudal del agua bombeada a nivel diario (en m<sup>3</sup>/día);**

Se adjunta tabla resumen de volumen de agua recuperada diariamente desde el tranque de relaves.

**Tabla 1:** Volumen diario de agua recuperada.

<b>Abril 2016</b>	
<b>Fecha</b>	<b>Agua recuperada m<sup>3</sup>/día</b>
11 abr	14.642
12 abr	25.369
13 abr	24.783
14 abr	26.478
15 abr	28.988
16 abr	27.276
17 abr	18.609
18 abr	3.490
19 abr	7.997
20 abr	29.003
21 abr	8.490
22 abr	Mantenimiento de planta programada
23 abr	4.949
24 abr	3.871
25 abr	22.963
<b>Promedio</b>	<b>17.636</b>

A partir de la Tabla N°1 es posible señalar que el promedio de volumen de agua recuperada desde el tranque de relaves para el período bajo análisis es de 17.636 m<sup>3</sup>/día, equivalente a 204,12 l/s. Es así como queda en evidencia el cumplimiento de la condición planteada en la Resolución Exenta N°304 que estableció el estándar de 125 l/s como promedio quincenal.

- **Condición de funcionamiento los días 18, 19 y 20 de Abril**

Los días 18 y 19 de abril se registra una baja recuperación de agua desde la cubeta del depósito de relave lo que fue provocado por una filtración en línea de tubería de HDPE para la descarga de piscina Intermedia del sistema de recuperación de aguas, la cual se reparó y logrando reponerse el sistema a partir del día 20 de abril, en la madrugada.

El día 18 de abril, ante la falla detectada se detiene el sistema de impulsión entre la piscina primaria de recuperación de agua y la piscina intermedia para iniciar proceso de

reparación. Este corte parcial, obligó a disminuir el volumen de agua recuperada de la cubeta para evitar el rebalse de la piscina primaria por detención del sistema de impulsión hacia piscina intermedia y proceder a la reparación.

Se normaliza el sistema de transporte de agua entre piscinas el día 20 de abril, durante la madrugada (03:40 hrs) y se repone el servicio de impulsión inmediatamente retomando los niveles de recuperación de agua. Así mismo, es posible indicar que este evento no afectó el promedio quincenal de recuperación, valor que se mantuvo por sobre los 125 l/s.

**Tabla 2:** Especificaciones técnicas línea de impulsión.

Especificaciones Técnicas	
Material	HDPE
Diámetro	710 mm
PE	100
Largo	6 m

### Plan de acción

- Reparación y normalización de tubería dañada.
- En curso análisis causa raíz de la falla identificada.
- En paralelo se identificarán potenciales nuevos puntos de falla.
- Se evaluará la implementación de una tubería paralela, en caso que el nivel de riesgo detectado en el levantamiento y en análisis de causa raíz sea alto y que pueda producir eventos similares.

A continuación, se entrega un detalle por día de las acciones realizadas para la normalización del sistema, para lo que acompaña registro fotográfico de la secuencia de reparación de línea impulsión:

Punto de filtración  
línea impulsión  
piscina intermedia

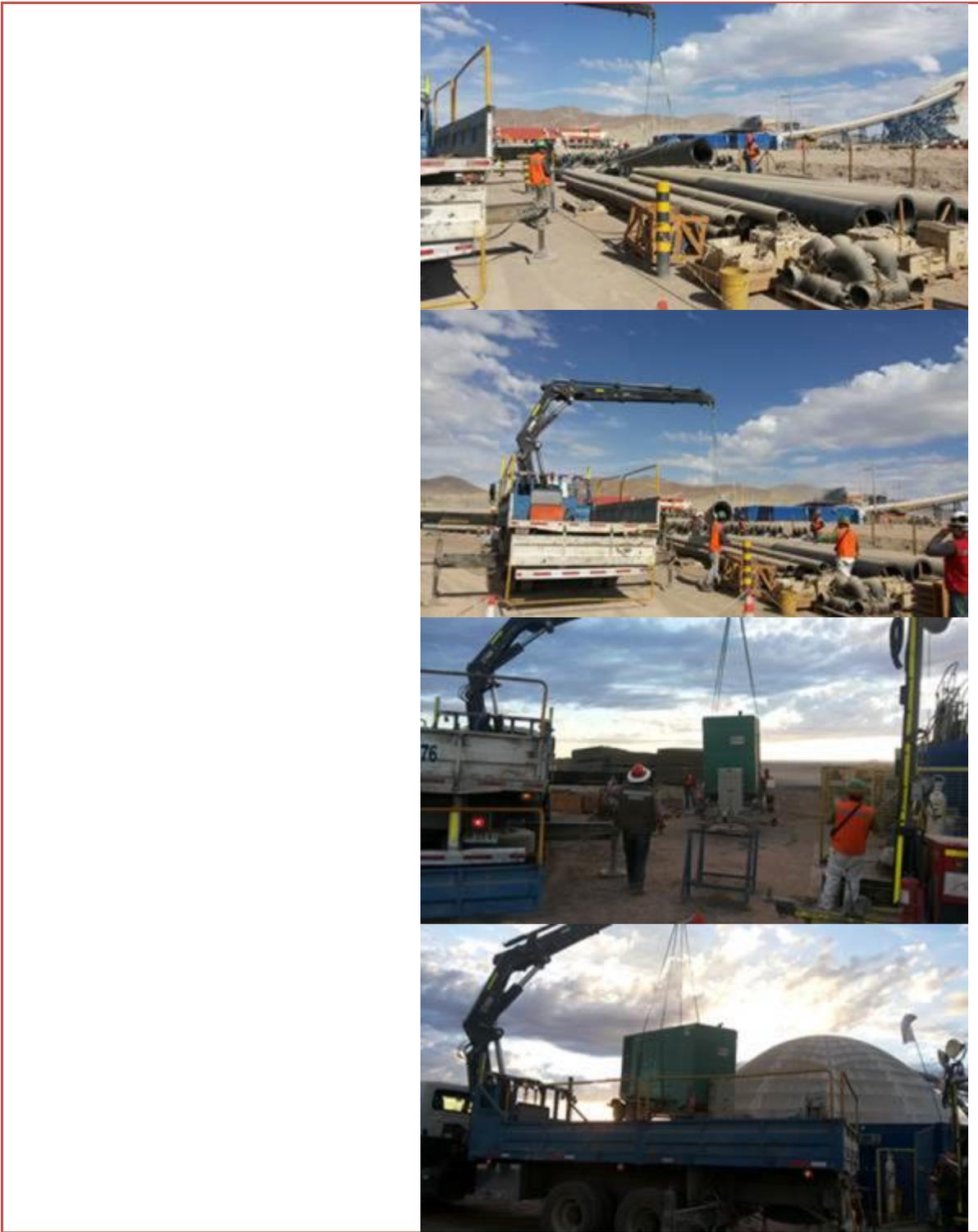


### **TRABAJOS REALIZADOS EL DÍA 18 DE ABRIL**

#### **DESCRIPCIÓN:**

- Línea de descarga en piscina intermedia presenta rotura.
- Se realiza desmontaje de flange en sector dañado.
- Se procede al izaje de línea desoldada para su reparación en HDPE.
- Se realiza traslado de línea de 6 [m] de largo y DN710MM-PE100 desde patio de almacenamiento hacia piscina intermedia.
- Se gestiona traslado e izaje de generador desde patio bodega Área Seca en camión pluma.





**TRABAJOS REALIZADOS EL DÍA 19  
DE ABRIL**

**DESCRIPCIÓN**

- Se realizan trabajos de termo-fusionado uniones Stub-end.
- Fabricación de espárragos en Taller mecánico (28 unidades)
- Mecánicos realizan avances en la postura de espárragos; se coordina torque para turno noche.



**TRABAJOS REALIZADOS EL DÍA 20  
DE ABRIL**

- A las 3:40 hrs. finalizan los trabajos de reparación y se repone sistema de impulsión elevando nuevamente los valores de recuperación de agua, lo que se evidencia en el registro diario de control.





- iii) **Una batimetría de la cubeta de agua del Depósito medida cada 15 días corridos. El titular deberá remitir el informe de batimetría elaborado por la empresa que realiza el levantamiento, adjuntando la correspondiente memoria de cálculo para la obtención de las mediciones de superficie del espejo de agua, volumen del espejo de agua, superficie de relaves depositados, volumen de relaves depositados y deberá informar la profundidad máxima y media del espejo de agua.**

En Anexo 1, se adjunta informe de Batimetría realizada el día 14 de Abril de 2016.

2. **Ordena la remisión de las mediciones realizadas en el marco del Programa de Monitoreo Hidrogeológico establecido en el Considerando 8.3.2 de la RCA N°137/2011 de 8 de agosto de 2011, que autoriza ambientalmente el proyecto Sierra Gorda, con una frecuencia de reporte mensual. Los informes deberán ser remitidos en formato físico y digital, junto a una sistematización de los resultados en planilla Excel. El primer reporte deberá considerar los resultados de los monitoreos para los meses de enero, febrero y marzo 2016. Se adjunta:**

- Anexo 2:
  - Apéndice 2.1: Informe Trimestral Monitoreo de Agua Subterránea Enero a Marzo 2016.
  - Apéndice 2.2: Comprobante de ingreso de Informe a SNIFA.
  - Apéndice 2.3: Carta conductora SG-HSE-041-16 de entrega de informe en físico a la DGA.
  
- En Anexo 3, se adjunta planilla Excel con la sistematización de los resultados.

Fecha Medición:

14.04.2016

Rev. 0.0

Código de Distribución:

Distribución Limitada



# Informe Batimétrico

## Minera Sierra Gorda

<b>Elaborado</b>	<b>Revisado</b>	<b>Aprobado</b>
<p>Gabriela Álvarez Ing. Geomensor, Analista SIG</p>	<p>Alexander Aillon Ing. Geomensor Jefe Depto. Geomensura</p>	<p>Carlos Prado Cortez Gerente de Proyecto</p>

## 1 Introducción

El Informe Técnico EB-10 correspondiente a la décima batimetría del servicio con fecha 14.04.2016, presenta los resultados obtenidos del levantamiento batimétrico y el posterior análisis en gabinete, dichas mediciones están enmarcadas en el proyecto **“Servicio Especializados de Topografía, Estudios Batimétricos y Control de Calidad de agua del Depósito de Relave” N° Contrato SG.15.CS.040.1**, realizado por Gesecology Chile Ltda.

## 2 Objetivos

- Realizar mediciones Batimétricas.
- Realizar procesos en gabinete necesarios para la obtención del volumen de agua, superficies y perfiles comparativos para visualizar la dinámica del Depósito.
- Realizar, a través de la Imagen aérea (mediante Drone), Monitoreo y Clasificación Supervisada del Depósito.

### 3 Procedimiento Operacional

Los trabajos realizados en terreno tuvieron como base el punto Panda para las mediciones.

Estas mediciones corresponden a:

- Puntos de Apoyo para el levantamiento Aerofotogramétrico con el Drone eBee
- Levantamiento topográfico con GNSS, mediante modalidad RTK de los muros MP2, MP3, MP4 y Plataforma de acceso a torre.
- Generación de puntos de contorno de la laguna como apoyo para la generación de la batimetría con el equipo AUV.

El DEM para este servicio fue generado a partir del procesamiento de las imágenes capturadas mediante el Drone eBee el día 13 de abril de 2016.

Al Igual que en las batimetrías anteriores se zonifico el área de la laguna en Zona Profunda y Baja Profundidad.



*Imagen Zonificación Zona Profunda (Magenta) y Zona Baja Profundidad (Amarillo)*

## 4 Resultados de la Batimetría

La siguiente tabla contiene los valores batimétricos para el levantamiento realizado el día 14 de abril del 2016, superficie relaves depositados, volumen de relaves depositados, profundidad máxima y media del espejo de agua.

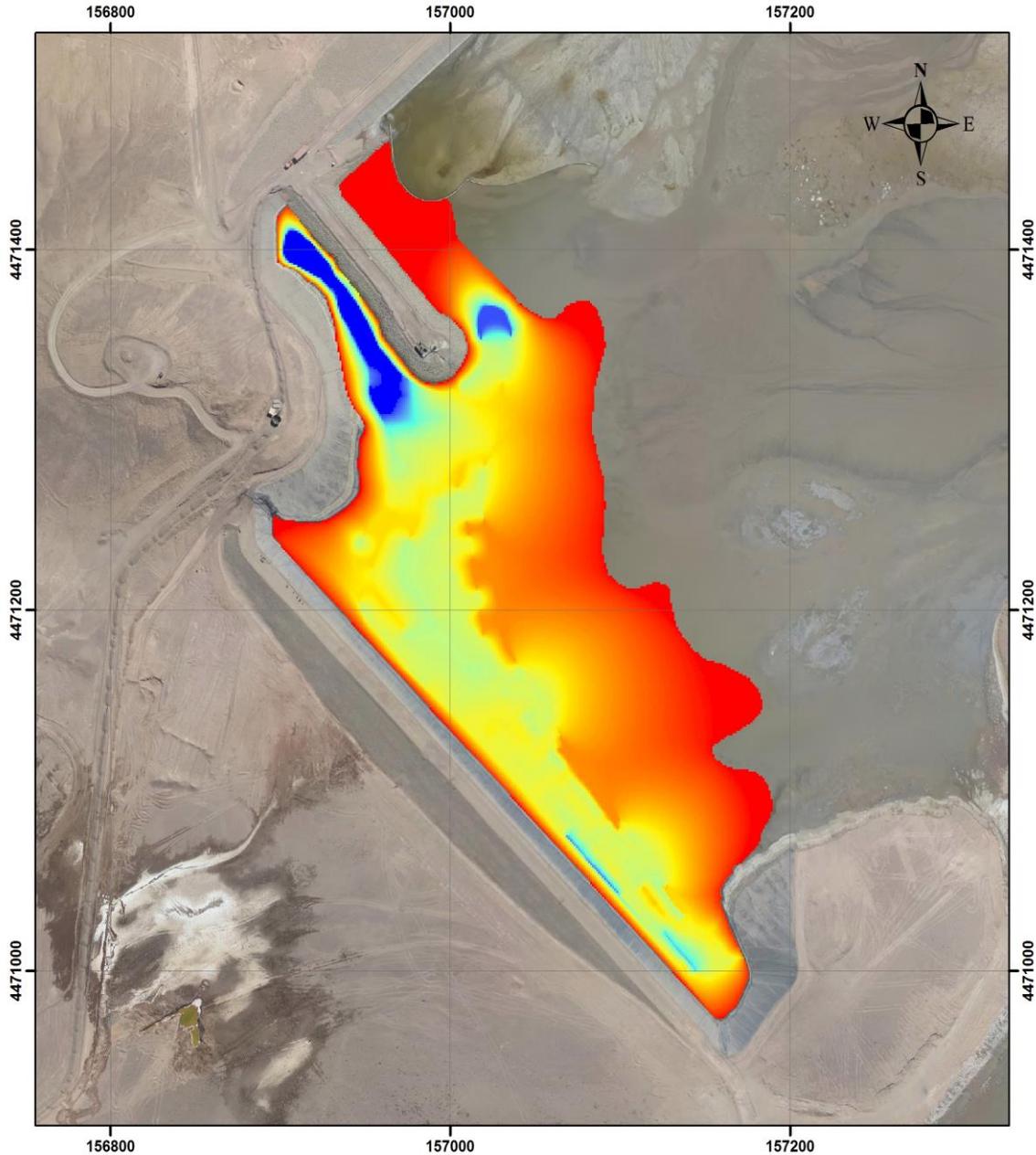
Volumen Total Agua en Cubeta	15.773,18 m <sup>3</sup>
Volumen Zona Profunda	11.927,08 m <sup>3</sup>
Volumen Zona Baja Profundidad	3.846,10 m <sup>3</sup>
Superficie Total Laguna	58.153,63 m <sup>2</sup>
Perímetro	1.652,02 m
Cota espejo de Agua (Pelo de Agua)	1.622,22 m.s.n.m
Cota Máxima Profundidad	1.620,82 m.s.n.m
Profundidad máxima espejo de agua	1.40 m
Promedio Profundidad espejo de agua	0,44 m

	Relave Sumergido	Relave Expuesto	Total
Volumen m <sup>3</sup>	259.307,39	26.269.866,78	26.529.174,17
Área m <sup>2</sup>	58.153,63	4.259.235,34	4.317.388,97



# PROFUNDIDAD

## Depósito de Relaves Sierra Gorda



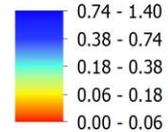
**Levantamiento Batimétrico y Estudio Medición de Calidad de Agua**

Fecha Batimetría 14.04.2016  
Ortomosaico Drone eBee  
Sistema Coordenadas PTL

Escala  
1:3000



**Profundidad**



Podemos observar que el volumen total de agua depositada sigue su tendencia a la baja, disminuyendo un 21,02 % con respecto al servicio de fines de marzo, esto en consecuencia de la disminución, - 17.01 %, de la superficie que ocupa laguna dentro de la cubeta.

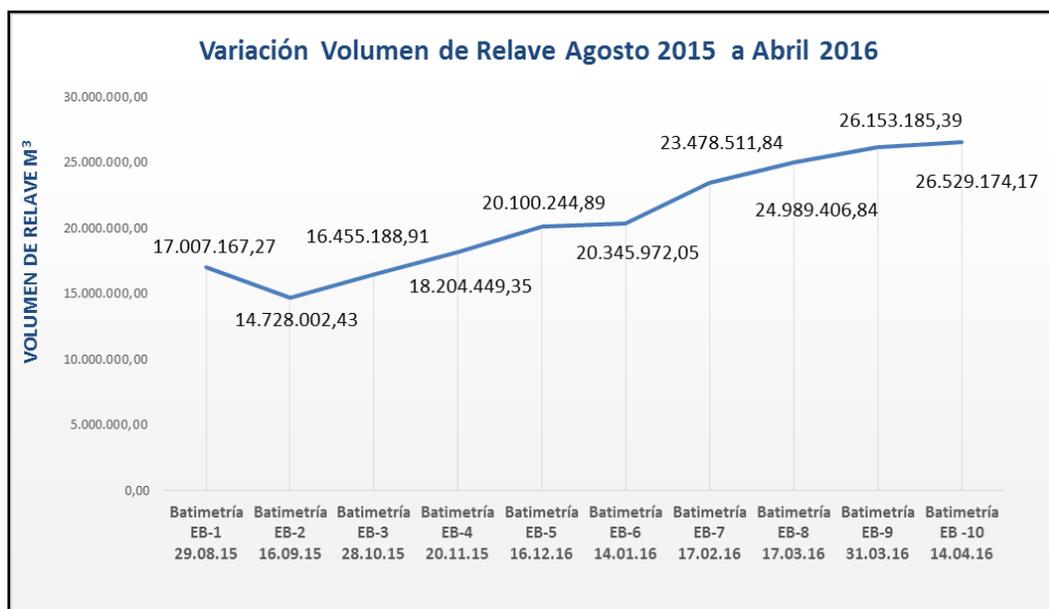


**Grafico N°1** Variación Volumen Agua en cubeta



**Grafico N°2** Variación cota Espejo de agua (msnm)  
(Pelo de Agua)

Con respecto al volumen total de relave este sigue su tendencia al alza, lógicamente por el proceso y manejo propio del depósito, en cuanto al relave sumergido disminuyo en función a que el área que ocupa la laguna en el depósito es menor, y también al incremento en la superficie que ocupa el relave expuesto.



**Grafico N°3 Variación Volumen Relave**

## 4468 SERVICIO DE ASESORÍA HIDROGEOLÓGICA

CÓDIGO ARCADIS: N° 4468-1000-GH-INF-006\_C

### INFORME TRIMESTRAL MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA ENERO – MARZO 2016

ABRIL 2016

REV.		Ejecutor	Revisor	Aprobador	DESCRIPCIÓN
A	Nombre Firma	P. Ortega	L. Achurra	A. Palacios	Coordinación Interna
	Fecha	11.04.2016	12.04.2016	12.04.2016	
B	Nombre Firma	P. Ortega	L. Achurra	A. Palacios	Revisión y Aprobación Cliente
	Fecha	11.04.2016	12.04.2016	12.04.2016	
C	Nombre Firma	P. Ortega	L. Achurra	A. Palacios	Revisión y Aprobación Cliente
	Fecha	14.04.2016	14.04.2016	14.04.2016	
0	Nombre Firma				Aprobado Cliente
	Fecha				

# CONTACTOS

**ALEJANDRA PALACIOS**  
**Jefe de Proyecto**

**T** +56 2 2381 6229  
**e** [alejandra.palacios@arcadis.com](mailto:alejandra.palacios@arcadis.com)

Arcadis.  
Av. Antonio Varas 621  
Providencia, CP 7500966  
Santiago | Chile

---

# CONTENIDO

<b>1 RESUMEN .....</b>	<b>4</b>
<b>2 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
2.1 Evaluación de Impacto y Plan de Seguimiento Ambiental (PSA).....	5
2.2 Identificación de las instituciones y equipos de trabajo responsables de las actividades de muestreo, medición, análisis .....	6
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
<b>4 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>6</b>
4.1 Descripción del área de estudio .....	6
4.2 Contexto Hidrogeológico del área de estudio .....	8
4.3 Localización de Puntos de muestreo .....	10
4.4 Parámetros analizados .....	12
4.5 Metodología.....	13
4.5.1 Metodología de muestreo hidroquímico y control de calidad .....	13
4.5.2 Metodología de medición de niveles y parámetros in situ .....	15
4.5.3 Metodología de análisis de laboratorio .....	16
4.6 Materiales y equipos utilizados.....	18
4.7 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro .....	19
4.8 Incertidumbres de valores de monitoreo .....	21
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>21</b>
5.1 Monitoreo de niveles piezométricos.....	21
5.2 Monitoreo Hidroquímico .....	28
5.2.1 Parámetros Físico químicos in situ .....	28
5.2.2 Calidad de datos analíticos .....	29
5.2.3 Análisis hidroquímico .....	30
<b>6 DISCUSIONES .....</b>	<b>46</b>
6.1 Evolución niveles piezométricos .....	46
6.2 Evolución hidroquímica.....	49
6.3 Medidas y Acciones adoptadas al monitoreo fuera de tendencia .....	51
<b>7 CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>8 REFERENCIAS .....</b>	<b>53</b>
<b>9 ANEXOS.....</b>	<b>54</b>
9.1 Trazabilidad de muestreo .....	54
9.2 Acreditación equipo de trabajo.....	58
9.3 Calibración de Equipos utilizados .....	59
9.4 Acreditación de Laboratorio ALS .....	60
9.5 Equipo responsable .....	61

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 2-1: Profesionales involucrados en campaña monitoreo enero-marzo 2016 .....	6
Tabla 4-1: Resumen de unidades hidrogeológicas.....	8
Tabla 4-2: Información de puntos de monitoreo de nivel .....	11
Tabla 4-3. Información de puntos de monitoreo de química.....	11

Tabla 4-4: Parámetros medidos en terreno .....	12
Tabla 4-5: Parámetros, elementos y compuestos analizados en laboratorio. ....	13
Tabla 4-6: Metodologías de laboratorio .....	16
Tabla 4-7: Fechas de muestreo, medición y análisis de cada punto de control .....	20
Tabla 5-1: Niveles piezométricos medidos. Primer Trimestre 2016 .....	22
Tabla 5-2: Parámetros fisicoquímicos in situ. Campaña primer trimestre de 2016. ....	29
Tabla 5-3: Error de balance iónico. Diciembre 2015.....	29
Tabla 5-4: Análisis de duplicados. Campaña primer trimestre de 2016. ....	31
Tabla 5-5: Resultados de Análisis Hidroquímicos. Campaña primer trimestre de 2016. ....	32
Tabla 9-1: Periodos de reporte de variables monitoreadas .....	54
Tabla 9-2: Experiencia de equipo de trabajo .....	58
Tabla 9-3: Profesionales responsables de monitoreo.....	61

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 4-1: Mapa de ubicación de área de estudio.....	7
Figura 4-2: Mapa de ubicación de la cuenca de Sierra Gorda. ....	7
Figura 4-3: Mapa Geológico de la zona .....	9
Figura 4-4: Mapa piezométrico del área de estudio.....	10
Figura 4-5: Mapa de ubicación de pozos de monitoreo .....	12
Figura 4-6: Pozómetro.....	19
Figura 4-7: Sonda multiparámetro utilizada y envases de muestra.....	19
Figura 5-1: Hidrogramas Históricos. Pozos Sierra Gorda.....	23
Figura 5-2: Evolución histórica de parámetros fisico-químicos. ....	33
Figura 9-1: Diagrama de flujo de trazabilidad de resultados .....	54
Figura 9-2: Ficha registro de niveles. Enero a marzo de 2016 .....	55
Figura 9-3: Ficha registro de muestreo y parámetros fisicoquímicos. Marzo 2016 .....	56
Figura 9-4: Registro de parámetros <i>in situ</i> . Marzo 2016.....	56
Figura 9-5: Cadena de custodia. Marzo 2016.....	57
Figura 9-6: Calibración multiparámetro, marzo de 2016.....	59
Figura 9-7: Acreditación INN laboratorio ALS .....	60

## 1 RESUMEN

En el presente informe se reportan las variables ambientales de la componente hidrogeología, estipuladas en la RCA N°126/2011 y N°137/2011 del proyecto minero Sierra Gorda, ubicado en la II Región de Antofagasta, comuna de Sierra Gorda (SGSCM). Parte de los compromisos adquiridos por SGSCM corresponden a la medición mensual de niveles del acuífero, y determinación de la calidad química del agua de forma trimestral, variables que se incluyen en este informe técnico realizado por Arcadis.

Actualmente, la red de monitoreo de Sierra Gorda está compuesta por 16 pozos para medición de nivel piezométrico, de los cuales en este informe se reportan 13 con análisis hidroquímicos. Históricamente las tendencias de los hidrogramas han sido variables en el tiempo. Si bien hay pozos que muestran descensos y/o niveles estables, lo que se condice con la poca recarga de la zona, hay otros que muestran niveles ascendentes, lo cual escapa del comportamiento esperado en el área. Por otra parte, la hidroquímica se ha mostrado históricamente estable con valores, en general, sobre la norma NCh 1.333 debido a la alta salinidad natural del agua.

La campaña del primer trimestre del 2016 arrojó niveles que en la mayoría de los pozos se ajusta a lo observado históricamente en sus tendencias. En el caso de la hidroquímica se observa algo similar, donde la mayoría de los pozos muestran químicas estables sin grandes variaciones respecto a sus rangos históricos.

La diferencia la constituyen los pozos CB-7, CB-8, CB-9, CB-10 y CB-12. Estos, mostraron niveles ascendentes en la última campaña. Si bien los pozos CB-9, CB-10 y CB-12 vienen con este comportamiento hace algún tiempo (desde noviembre de 2014, desde su perforación y desde abril 2015, respectivamente), aun no es posible determinar el origen de esta dinámica. Los pozos CB-7 y CB-8 por el contrario, han mostrado un ascenso abrupto de su nivel desde enero de 2016, y su comportamiento se debe a la infiltración de agua desde el depósito de relaves.

Caso similar se observa en la hidroquímica de los pozos. Los pozos CB-7 y CB-8 han mostrado un aumento de las concentraciones de TDS, Mg, Ca,  $\text{HCO}_3$  y  $\text{SO}_4$ , y Ag, entre otros, con concentraciones comparables a antecedentes de aguas provenientes del depósito de relaves. Sin embargo, debido a que estos pozos no llegan al acuífero, las soluciones que se acumulan dentro de ellos se encuentran posiblemente en los niveles superiores de la zona no saturada, ya que antecedentes de pozos cercanos no muestran estos aumentos en las concentraciones de ciertos elementos en el agua del acuífero.

## 2 INTRODUCCIÓN

El proyecto minero Sierra Gorda, ubicado en la comuna de Sierra Gorda, II Región de Antofagasta, y perteneciente a la empresa Sierra Gorda Sociedad Contractual Minera (SGSCM) fue aprobado a través de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N° 137/2011. Esta RCA contempla un Plan de Seguimiento Ambiental de la componente hidrogeológica, a través de un plan de monitoreo que reporte las características físicas y químicas del sistema de aguas subterráneas en el sector de emplazamiento de la mina y alrededores.

El área de Medio Ambiente de SGSCM ha encargado a ARCADIS CHILE S.A. los trabajos técnicos de terreno y de análisis de la información asociada al programa de monitoreo antes mencionado.

Este informe incluye los resultados del primer trimestre de 2016 y la evolución de todos los parámetros durante todos los períodos de registro.

## 2.1 Evaluación de Impacto y Plan de Seguimiento Ambiental (PSA)

De acuerdo a los resultados obtenidos de la Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto Sierra Gorda, se determinó que para la componente hidrogeología, el proyecto tiene asociado efectos en la cantidad y calidad química de las aguas subterráneas.

La evaluación de impacto para la componente hidrogeología se realizó a través de un modelo hidrogeológico numérico de flujo, calibrado en régimen permanente (SWS, 2011), y con simulaciones hasta el año 2040, donde ocurriría el cierre y abandono de las operaciones mineras. El cono de depresión generado por el rajo Catabela, según el modelo, tendría un radio de influencia de 2 km desde el centro del rajo, lo que no tendría efectos en pozos de tercero salvo el pozo SQM3 (Loreto 3) ubicado en Pampa Lina, que tendría un descenso de 1 metro, afección considerada como significativa. El resto de los pozos del sector tendría descensos menores a 20 cm, lo que fue considerado poco significativo.

Respecto a la calidad del agua, y durante el proceso de EIA, se indicó la posible generación de drenaje ácido del material de estériles y de relaves.

Por lo tanto, para verificar que los resultados de la modelación hidrogeológica evolucionen y se mantengan dentro de lo predicho, se implementó un plan de monitoreo que permita registrar a lo largo del tiempo los cambios que efectivamente ocurran en la dinámica del acuífero y en pozos de terceros.

En el EIA, Sierra gorda se comprometió a que el programa de monitoreo considere una red de 12 pozos instalados en los alrededores y al interior de las instalaciones del proyecto y también aguas arriba y aguas debajo de pozos de terceros, donde se realizan mediciones a nivel mensual. En este contexto, los pozos CB-2 y CB-3 se ubican aguas arriba y agua abajo, respectivamente, de los pozos de Compañía Minera El Bronce. El pozo CB-4 aguas abajo del pozo SQM-3 y el pozo CB-12 cercano a los pozos de Transportes Antofagasta y Andrea Beatriz. Por lo tanto, el seguimiento del nivel en cada uno de estos pozos, pretende tener un control de los efectos de la operación, en caso de existir, sobre pozos de terceros.

La información de monitoreo de los pozos, además permite la progresiva mejora de la calibración de las simulaciones del modelo hidrogeológico numérico, lo que en la RCA se estipuló a través de actualizaciones y revisiones anuales. La última actualización realizada y reportada a la autoridad ambiental se encuentra en el informe "Segunda actualización del modelo hidrogeológico numérico Sierra Gorda" (Arcadis, 2015).

Por último, de forma de corroborar que el proyecto no tuviese efectos en la calidad de las aguas en la RCA se determinó un seguimiento según los parámetros de la norma NCh1333 a nivel trimestral en los 12 pozos de la red de monitoreo. El último reporte de monitoreo, tanto de niveles como de la calidad química de las aguas, se entregó a la autoridad en el "Informe trimestral de monitoreo de agua subterránea Octubre-Diciembre 2015" (Arcadis, enero de 2016)

## 2.2 Identificación de las instituciones y equipos de trabajo responsables de las actividades de muestreo, medición, análisis

Arcadis Chile desde octubre de 2014 se encuentra a cargo de la realización de las campañas de monitoreo hidrogeológico del proyecto Sierra Gorda, de acuerdo al contrato SG.14.CS.059.1.

Los profesionales responsables de llevar a cabo las campañas de monitoreo, se incluyen en la Tabla 2-1.

**Tabla 2-1: Profesionales involucrados en campaña monitoreo enero-marzo 2016**

N°	Nombre de Profesional	Componente de monitoreo	Profesión/Ocupación	Cargo/Función
1	Alejandra Palacios	Hidrogeología	Ing. Civ. Biotecnología	Administrador contrato
2	Juan Quinteros	Hidrogeología	Supervisor de terreno	Coordinador- Supervisor terreno
3	José Vargas	Hidrogeología	Supervisor de terreno	Supervisor terreno

## 3 OBJETIVOS

El objetivo de implementar el Plan de monitoreo es registrar a lo largo del tiempo los cambios que efectivamente ocurren en la dinámica del acuífero y en pozos de terceros, ya sea en términos de cantidad, como de calidad química, y de este modo poder contrastarlo con lo predicho en la evaluación de Impacto del proyecto Sierra Gorda.

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

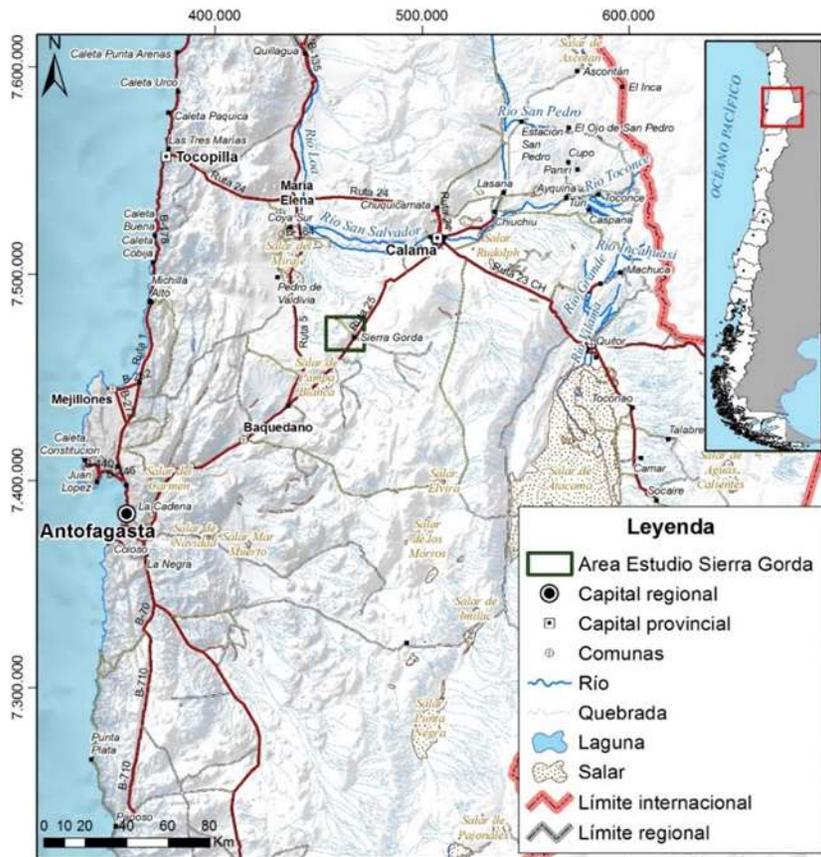
### 4.1 Descripción del área de estudio

El proyecto cuprífero Sierra Gorda, perteneciente a la empresa Sierra Gorda Sociedad Contractual Minera (SGSCM), se encuentra ubicado en la comuna de Sierra Gorda, II Región de Antofagasta, a 55 km al suroeste de Calama.

La cuenca de Sierra Gorda abarca una superficie de 2.408 km<sup>2</sup>, con elevaciones entre 1.400 y 3.800 msnm. Las menores elevaciones se encuentran al noroeste. La cuenca drena principalmente en dirección NE-SW.

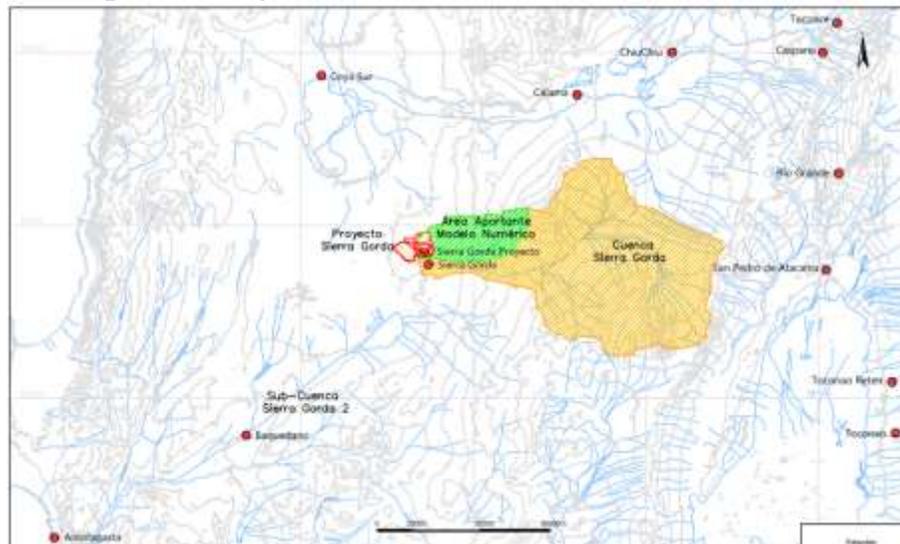
El área de estudio (ver Figura 4-1) se encuentra al noroeste de la cuenca Sierra Gorda, al oeste de Pampa Lina, inserta en una sub-cuenca que se encuentra rodeada por cerros de baja altura pertenecientes a la cordillera pre-altiplánica tal como se aprecia en la Figura 4-2. Las cotas de terreno varían entre 1.625 a 1.785 msnm aproximadamente y abarca un área de 354 km<sup>2</sup>.

Figura 4-1: Mapa de ubicación de área de estudio.



Fuente: elaboración propia.  
Datum WGS 84, huso 19S.

Figura 4-2: Mapa de ubicación de la cuenca de Sierra Gorda.



Fuente: VAI, 2014.

## 4.2 Contexto Hidrogeológico del área de estudio

La geología del área de estudio se compone principalmente de depósitos aluviales y rocas volcánicas e intrusivas. Los depósitos aluviales abarcan gravas y arenas no consolidadas con limo y arcilla en porcentajes variables. Las rocas ígneas abarcan andesitas y tobas jurásicas, monzogranitos y monzodioritas cretácicas y un pórfido feldespático – cuarcífero del Paleoceno – Eoceno. La zona presenta un alto grado de alteración hidrotermal y lixiviación, como también la presencia de una brecha volcánica en la zona central del proyecto. En la Figura 4-3 se presenta el mapa geológico de la zona de estudio.

Las unidades hidrogeológicas del área se ordenan de techo a base como: La Unidad 1 (UH-1) está conformada por depósitos aluviales (arenas y gravas no consolidadas), de espesor que aumenta hacia Pampa Lina y varía entre 6 – 26 m. La Unidad 2 (UH-2) corresponde a roca meteorizada y/o fracturada, de origen ígneo, cuyo espesor promedio es de 100 m. La Unidad 3 (UH-3) la constituye el basamento compuesto de un macizo rocoso poco fracturado, de permeabilidades muy bajas, y cuyo espesor excede los 750 m. Debido al poco espesor de UH-1 en el sector de la mina, el flujo subterráneo está controlado localmente por estructuras. En la Tabla 4-1 se resumen las principales características de las unidades hidrogeológicas y se detallan las conductividades hidráulicas (k) promedio estimadas.

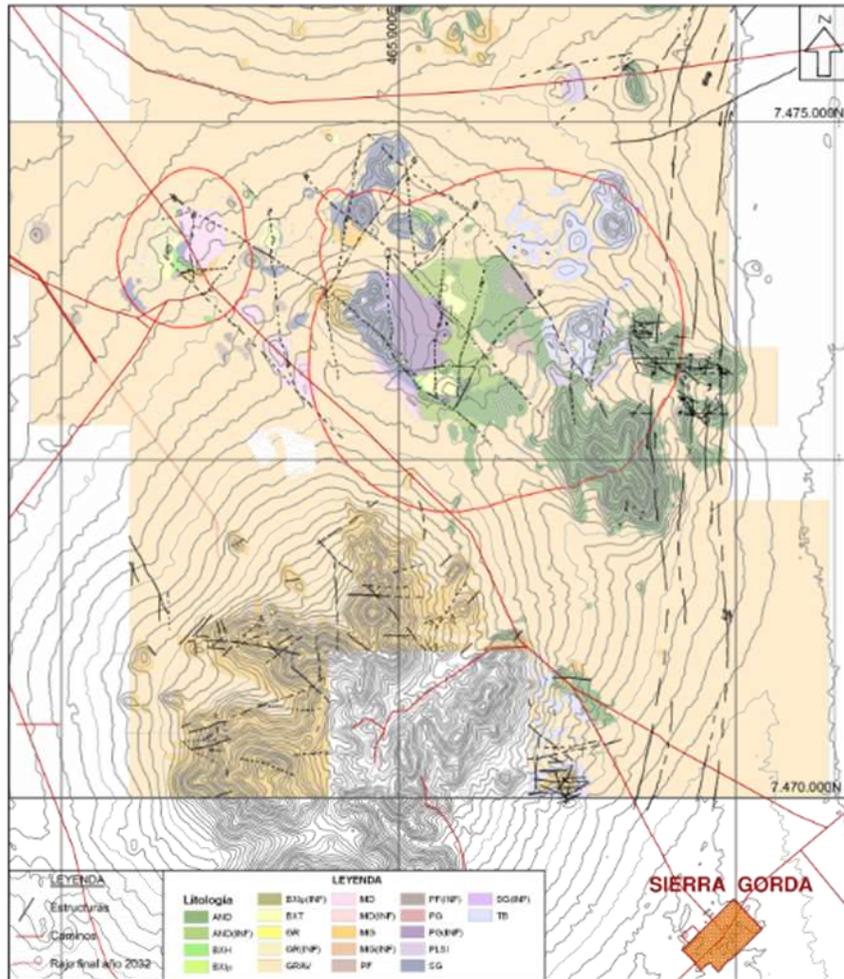
La dirección de flujo subterráneo principal es de este a oeste. Localmente, se observan flujos NS en Pampa Lina, y SN en la zona noroeste de la cuenca. Además, en la zona sureste se observa una componente NS seguramente condicionada por la presencia de afloramientos de roca. Los gradientes son en general bajos, a excepción de los que se observan entre la zona central y oeste del área. En la Figura 4-4 se presenta la piezometría de referencia de la zona de estudio.

**Tabla 4-1: Resumen de unidades hidrogeológicas.**

Unidad Hidrogeológica	Geología	k promedio (m/s)	Espesor estimado (m)
UH-1	Aluvial	$5 \times 10^{-06}$	6 – 26
UH-2	Roca fracturada y meteorizada	$5 \times 10^{-08}$	100
UH-3	Basamento	$6 \times 10^{-10}$	>750

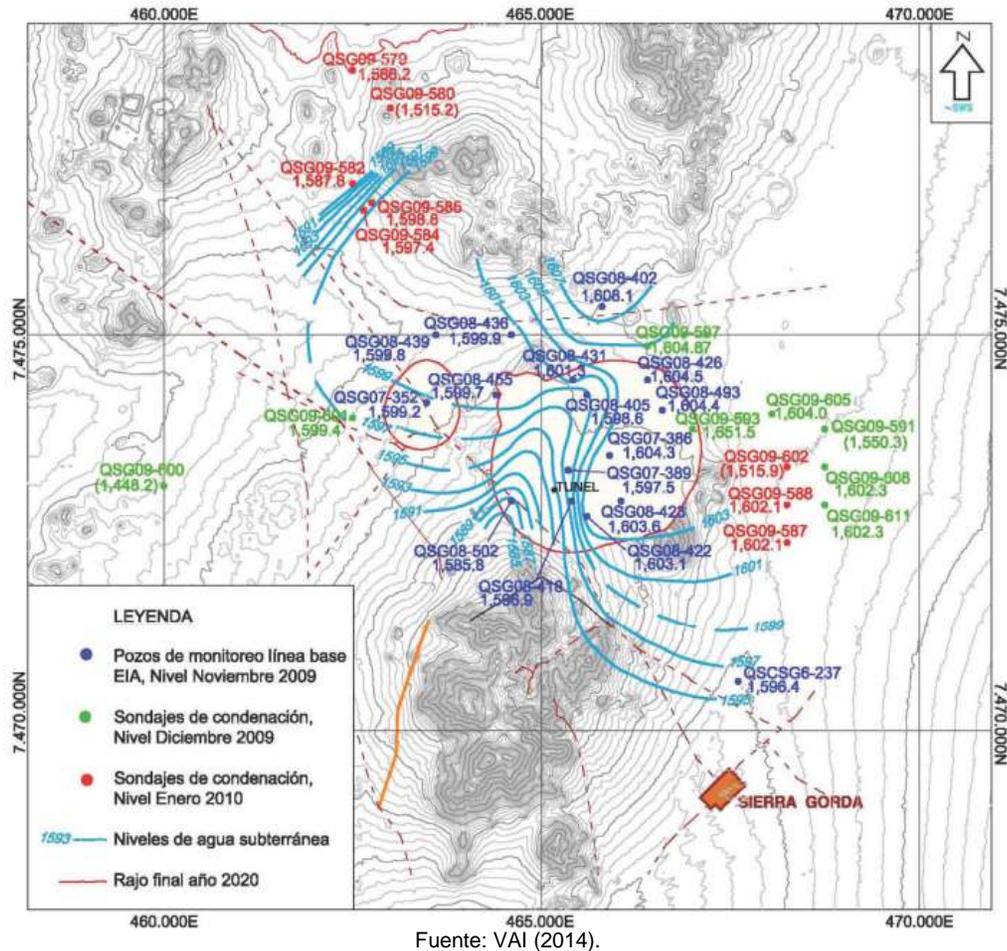
Fuente: VAI (2014).

Figura 4-3: Mapa Geológico de la zona



Fuente: VAI (2014).

Figura 4-4: Mapa piezométrico del área de estudio.



### 4.3 Localización de Puntos de muestreo

La red actual de monitoreo está conformada por 16 pozos donde se monitorea nivel piezométrico y 13 pozos donde se monitorea calidad química. Si bien, la red comprometida en RCA comprende 12 pozos, se agregaron:

- 1) 4 pozos al monitoreo de nivel: debido a que los pozos CB-1, CB-8, CB-11 y CB-12 estaban históricamente secos, se agregaron los puntos de control QSCSG6-237, QSG08-402, QSG08-431 y QSG08-493.
- 2) 1 pozo monitoreo hidroquímico: se agregó CON-15 como punto de control aguas abajo tranque de relaves.

Las principales características de los puntos de monitoreo se presentan en la Tabla 4-2 y su ubicación geográfica en la Figura 4-5. Adicionalmente, en la Tabla 4-3 se presentan aquellos puntos de control de análisis químico y medición de parámetros fisicoquímicos, donde se detalla la profundidad a la que son extraídas las muestras, y el intervalo de criba correspondiente.

Tabla 4-2: Información de puntos de monitoreo de nivel

Pozo	Coord. Este (*) (WGS 84)	Coord. Norte (*) (WGS 84)	Prof. pozo		Periodo de Registro	
	m	m	m	Desde	Hasta	
CB-1	464.796	7.477.822	105	octubre 2012	marzo 2016	
CB-2	469.882	7.476.682	52	octubre 2012	marzo 2016	
CB-3	468.287	7.474.384	52	diciembre 2012	marzo 2016	
CB-4	466.759	7.473.818	350	febrero 2011	marzo 2016	
CB-5	461.684	7.475.935	80	septiembre 2012	marzo 2016	
CB-6	462.401	7.473.360	308	septiembre 2012	marzo 2016	
CB-7	456.958	7.473.577	125	septiembre 2012	marzo 2016	
CB-8	457.142	7.472.129	135	febrero 2011	marzo 2016	
CB-9	462.509	7.468.697	182	noviembre 2012	marzo 2016	
CB-10	466.236	7.471.811	350	noviembre 2012	marzo 2016	
CB-11	458.072	7.470.396	125	enero 2014	marzo 2016	
CB-12	465.412	7.466.599	50	febrero 2014	marzo 2016	
QSCSG6-237	467.415	7.470.028	60	julio 2008	marzo 2016	
QSG08-402	465.618	7.474.990	300	julio 2008	marzo 2016	
QSG08-431	465.228	7.474.022	174	agosto 2008	marzo 2016	
QSG08-493(**)	466.417	7.473.621	159	julio 2008	marzo 2016	

(\*) Coordenadas transformadas desde PSAD56 a WGS84

(\*\*) Pozo QSG08-423 eliminado por avance mina, en su reemplazo se agrega el pozo QSG08-493.

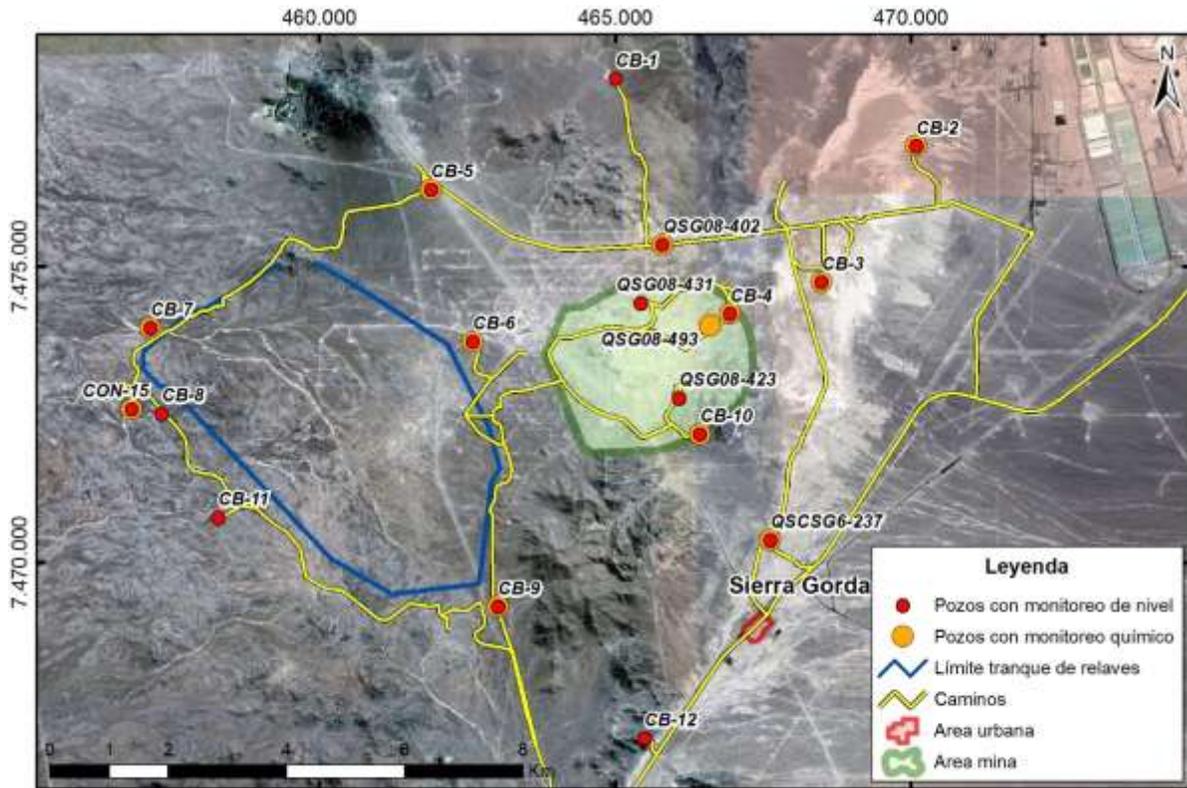
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-3. Información de puntos de monitoreo de química

Pozo	Profundidad de NE Sep 2015 (m)	Intervalo criba		Profundidad de captura de muestra (m)	Fecha de Muestreo
		Desde	Hasta		
CB-2	33,16	26,48	49,6	40	04-03-2016
CB-3	28,17	27,88	51	40	04-03-2016
CB-4	41,2	38,55	281,66	50	06-03-2016
CB-5	58,28	55,94	74	70	03-03-2016
CB-6	59,82	232	303,33	200	08-03-2016
CB-7	90,95	100,96	124	110	05-03-2016
CB-8	135	109,2	133,5		05-03-2016
CB-9	72,57	92,8	175,12	100	06-03-2016
CB-10	89,92	134,43	341,92	150	06-03-2016
CON-15	201,3	Sin habilitación		185	05-03-2016
QSCSG6-237	28,07	Sin habilitación		40	04-03-2016
QSG08-402	39,86	Sin habilitación		50	04-03-2016
QSG08-493	70,25	Sin habilitación		75	06-03-2016

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-5. Mapa de ubicación de pozos de monitoreo**



Fuente: Elaboración propia.  
Datum WGS 84, huso 19S.

#### 4.4 Parámetros analizados

Los parámetros medidos en terreno corresponden al nivel piezométrico y parámetros fisicoquímicos in situ. Los parámetros fisicoquímicos medidos se mencionan en la Tabla 4-4. Por otra parte los parámetros, elementos y compuestos analizados por el laboratorio se detallan en la Tabla 4-5. Todas estas mediciones y análisis son utilizadas para caracterizar y determinar la evolución de la calidad química del acuífero.

**Tabla 4-4: Parámetros medidos en terreno**

Parámetros medidos en terreno	Unidades
pH	
Temperatura	°C
Conductividad eléctrica	mS/cm
Sólidos disueltos totales	ppt

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-5: Parámetros, elementos y compuestos analizados en laboratorio.**

Parámetros Analizados en Laboratorio	
Alcalinidad HCO <sub>3</sub>	Bario, Ba
Conductividad Eléctrica	Berilio, Be
pH	Cadmio, Cd
Total de sólidos disueltos	Cobalto, Co
Cloruro, Cl	Cromo, Cr
Fluoruro, F	Cobre, Cu
Sulfato, SO <sub>4</sub>	Hierro, Fe
Nitrógeno, N-NO <sub>3</sub>	Mercurio, Hg
Boro, B	Litio, Li
Calcio, Ca	Manganeso, Mn
Potasio, K	Molibdeno, Mo
Magnesio, Mg	Níquel, Ni
Sodio, Na	Plomo, Pb
Estroncio, Sr	Selenio, Se
Plata, Ag	Vanadio, V
Aluminio, Al	Zinc, Zn
Arsénico, As	

Fuente: Elaboración propia.

## 4.5 Metodología

A continuación se presentan las metodologías utilizadas para la obtención de muestras para calidad química, medición de niveles y parámetros in situ y aquellas utilizadas en laboratorio. Además, se presentan los controles para asegurar la calidad y representatividad de los datos obtenidos.

### 4.5.1 Metodología de muestreo hidroquímico y control de calidad

Para el muestreo hidroquímico se utilizó un *bailer* desechable. Para completar el volumen total de la muestra requerido por el laboratorio se descendió al menos 3 veces a la misma profundidad. Este método es recomendado para acuíferos que poseen baja permeabilidad, y por lo tanto poco aporte de agua desde el acuífero, ya que tiene la ventaja de no alterar los niveles de los pozos, caso contrario a lo que ocurre con la purga.

Los controles definidos en la metodología, para asegurar que la muestra represente el agua del acuífero son:

1. Descenso del *bailer* frente la zona ranurada del pozo para asegurar que el agua provenga del acuífero.
2. Para completar el volumen total de agua requerida para el análisis se replica la profundidad a la que se desciende el *bailer*
3. Descenso y ascenso a velocidad constante del *bailer* para evitar la mezcla de aguas.
4. Se deposita toda el agua proveniente de distintas bajadas del *bailer* en un mismo recipiente antes de medir parámetros.

Una vez que se obtiene la totalidad de la muestra se mide la conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos, pH y temperatura, con un multiparámetro de forma de ser corroborados con los datos reportados por el laboratorio. A continuación se describe en detalle el procedimiento de muestreo y la generación de duplicados:

- **Pre-extracción de la muestra**

Antes de realizar cualquier actividad se calibra el multiparámetro. Luego, se verifica que se dispongan de todos los elementos de muestreo, entre los que se tiene, envases de muestra con y sin preservantes, *cooler* con hielo seco para el almacenamiento de las muestras y preservación de la temperatura, guantes de nitrilo, filtrador y filtros, jarro recolector, agua destilada y *bailers* nuevos, entre otros.

- **Extracción de la muestra**

Antes de ingresar el *bailer* al pozo, se mide el nivel estático, se verifica la profundidad objetivo y la graduación del cable. Luego se desciende el *bailer* a velocidad constante hasta la profundidad objetivo, la que se replica en todas las campañas de muestreo, se verifica el peso para asegurar el llenado y se sube el *bailer* a velocidad constante. El agua es recolectada en un jarro limpio. Este proceso se repite hasta obtener el volumen de muestra necesario para llenar todos los envases.

Una vez recolectada toda la muestra, se separa una cantidad pequeña para medir parámetros fisicoquímicos. El agua restante es utilizada, primero para ambientar envases sin preservantes, y luego para llenar los frascos de muestras.

Una vez obtenida la muestra se etiquetan los envases (código, fecha, hora, tipo de muestra y preservante) y se sellan con cinta adhesiva transparente.

Los envases, preservantes y análisis a realizar de cada uno se detallan a continuación:

- Envase de 1 L sin preservante: Se llena con el agua natural (sin filtrar), para análisis de alcalinidad, pH, conductividad eléctrica, cloruro, sulfato, fluoruro, bromuro, sólidos totales disueltos y turbidez.
- Envase de 1 L con HNO<sub>3</sub>: Se llena la muestra con agua natural (sin filtrar) para análisis de metales totales.
- Envase de 250 mL con HNO<sub>3</sub>: Se filtra la muestra con membrana de 0,45 µm, para análisis de metales disueltos.
- Envase de 125 mL con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: Se llena con agua natural (sin filtrar) para análisis de NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub>.
- Envase de 250 mL con NaOH: Se llena con agua natural (sin filtrar) para análisis de Cianuro.

- **Envasado, transporte y preservación de muestras**

Una vez llenados los envases de muestra, se sellan con tapa y contra-tapa evitando la presencia de burbujas de aire en su interior. Luego son ordenadas en el *cooler* y deben ser guardadas con hielo seco para evitar que la temperatura supere los 5 °C.

Antes de obtener la siguiente muestra, los equipos y materiales utilizados que están en contacto directo con la muestra se enjuagan con agua desmineralizada.

Al finalizar el trabajo de terreno, las muestras son embaladas para ser enviadas al laboratorio vía Chile-Express. Para ello se llenan todos los documentos necesarios con el detalle de cada muestra que lleva cada *cooler*, además de la cadena de custodia, la cual será respaldada para adjuntar a los informes entregados a la autoridad tal como lo estipula la Resolución exenta 223.

Una vez enviadas las muestras se les hace seguimiento a través de la plataforma de Chile-Express hasta que son recibidas en el laboratorio, desde donde se envía una confirmación de recepción e ingreso.

- **Incorporación de duplicados**

Para el control de calidad de las metodologías utilizadas en el laboratorio, se recoge una muestra duplicada al azar. Se debe tener en cuenta que toda la muestra extraída, el original y duplicado, se junta en el jarro recolector y se homogeniza antes del relleno de los envases.

#### **4.5.2 Metodología de medición de niveles y parámetros in situ**

Para medir la profundidad del nivel estático se utiliza un pozómetro, que consiste de una sonda unida a una cinta graduada. Primero que todo, como norma general, la sensibilidad del instrumento se coloca en  $\frac{3}{4}$ . Luego, la sonda se introduce en el pozo, y se coloca una polea o protector en los bordes del pozo para evitar dañar la cinta graduada. La sonda al hacer contacto con el agua suena y en ese momento se debe detener el descenso.

Cada pozo posee una marca que indica donde se debe tomar la medida de nivel para asegurar que siempre se usa la misma referencia. El nivel debe medirse por lo menos tres veces para estar seguros que sea estable. En el caso de obtener medidas incongruentes entre sí, se debe ajustar la sensibilidad del instrumento (menor sensibilidad para aguas más conductivas y mayor sensibilidad para aguas menos conductivas).

Para la medición de parámetros fisicoquímicos se utiliza una sonda multiparámetros HI9828. La extracción de la muestra se realiza como fue explicada anteriormente. Una vez obtenida la muestra se introduce la sonda. Luego, se espera a que los valores obtenidos estén estables y se anotan. Luego la sonda se enjuaga con agua desmineralizada y, específicamente la sonda de pH se guarda con su solución de mantención.

### 4.5.3 Metodología de análisis de laboratorio

Las muestras de agua son enviadas al laboratorio ALS, donde se realizan los análisis. En la Tabla 4-6 se mencionan los parámetros analizados, sus respectivas metodologías y referencias.

**Tabla 4-6: Metodologías de laboratorio**

Analito	Código Método	Descripción	Referencia
Ag	EAG-AAS4c	Plata total	Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-B, page 3-18 to 3-20.
Al	EAL-AAS4	Aluminio total	Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-D, page 3-21 to 3-22.
Alc HCO3	EALCB-VOL304	Alcalinidad Bicarbonato por volumetría	QWI-IO-ALC-01. Método basado en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 2320-B, page 2-34 to 2-36.
As	EAS-GH64	Arsénico total por HGAAS	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3030-F: Nitric Acid Hydrochloric Acid Digestion, Arsenic and Selenium by Hydride Generation / Atomic Absorption Spectrometry. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3114-C, page 3-38 to 3-39.
B	EB-COL129	Boro total por Colorimetría	Carmine Method. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 4500-B-C, page 4-27.
Ba	EBA-AAS3	Bario total por FAAS	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3030-D: Digestion for Metals, Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-D, page 3-21 to 3-22.
Be	EBE-AAS4	Berilio total por FAAS	Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-D, page 3-21 to 3-22.
Ca	ECA-AAS1	Calcio disuelto por FAAS	Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-D, page 3-21 to 3-22.
Cd	ECD-AAS4c	Cadmio total por FAAS	Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-B, page 3-18 to 3-20.
CE	ECE-POT401	Conductividad por potenciometria	QWI- IO-COND-01. Método basado en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 2510-B, page 2-54 to 2-55.
Cl	ECL-VOL309	Cloruro por Volumetría	Argentometric Method. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 4500-Cl-B, page.4-72 to 4-73.
Co	ECO-AAS10	Cobalto total por FAAS	Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-B, page 3-18 to 3-20.
Cr	ECR-AAS4	Cromo total por FAAS	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3030-D: Digestion for Metals, Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012,

Analito	Código Método	Descripción	Referencia
			3111-B, page 3-18 to 3-20.
Cu	ECU-AAS4	Cobre total por FAAS	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012,3030-D: Digestion for Metals, Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-B, page 3-18 to 3-20.
F	EF-POT405	Fluoruro por Potenciometría	Ion-Selective Electrode Method. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 4500-F-C, page 4-85 to 4-87.
Fe	EFE-AAS4	Hierro total por FAAS	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012,3030-D: Digestion for Metals, Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-B, page 3-18 to 3-20.
Hg	EHG-VF93	Mercurio total por CVAAS	Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3112-B, page 3-23 to 3-25. , Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3112-B, page 3-23 to 3-25. .
K	EK-EA9	Potasio disuelto por FAES	Flame Photometric Method. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3500-K-B, page 3-87 to 3-88.
Li	ELI-EA10	Litio total	Flame Emission Photometric Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3500-Li-B, page 3-83 to 3-84.
Mg	EMG-AAS2	Magnesio disuelto por FAAS	Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-B, page 3-18 to 3-20.
Mn	EMN-AAS4	Manganeso total por FAAS	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012,3030-D: Digestion for Metals, Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-B, page 3-18 to 3-20.
Mo	EMO-AAS12	Molibdeno total por FAAS	Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-D, page 3-21 to 3-22.
Na	ENA-EA9	Sodio disuelto por FAES	Flame Emission Photometric. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3500-Na-B, page 3-97 to 3-98.
Ni	ENI-AAS4	Níquel total por FAAS	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012,3030-D: Digestion for Metals, Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-B, page 3-18 to 3-20.
NO3	ENO3-COL123	Nitrato por Colorimetría	Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 4500-NO3-B, page 4-122 to 4-123.
Razón Na	EOA-CAL767	Razón de Adsorción de Sodio (RAS)	Método: Cálculo, NCh1313 Oficial 1978 Mod. 1987, pág. 2 pto.3.7.
Na%	EOA-	Sodio Porcentual	Método: Cálculo, NCh1313 Oficial 1978 Mod. 1987, pág. 3

Analito	Código Método	Descripción	Referencia
	CAL781	Cálculo	pto.3.8.
Pb	EPB-AAS4	Plomo total por FAAS	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012,3030-D: Digestion for Metals, Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-B, page 3-18 to 3-20.
pH	EPH-POT403	pH por potenciometría	Electrometric Method. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 4500-H-B, page 4-92 to 4-96.
Se	ESE-GH56	Selenio total por HGAAS	Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometry. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3114-C, page 3-38 to 3-39.
SO4	ESO4-GRA205b	Sulfato por gravimetría	Gravimetric Method with Drying of Residue. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 4500-SO4-D, page 4-190.
Sr	ESR-AAS2	Estroncio Disuelto	Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-B, page 3-18 to 3-20
TDS	ESTD-GRA203	Sólidos totales Disueltos, gravimetría	Total Dissolved Solids Dried at 180 °C. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 2540-C, page 2-65.
V	EV-AAS4	Vanadio total por FAAS	Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-D, page 3-21 to 3-22.
Zn	EZN-AAS4	Zinc total por FAAS	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012,3030-D: Digestion for Metals, Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012, 3111-B, page 3-18 to 3-20.
CN	ECNT-COL144	Cianuro total	Total Cyanide after Distillation. APHA 4500-CN-C, page 4-39 to 4-40, 21st ed. Colorimetric Method, APHA 4500-CN-E, page 4-41 to 4-43, 21st ed.2005. Cianuro Total. APHA 4500-CN-N, page 4-53 to 4-54, 21 st ed. 2005. APHA 4500-CN-C: Preliminary Distillation Step

Fuente: Informe de Ensayo (ALS, 2015).

#### 4.6 Materiales y equipos utilizados

En el siguiente apartado se mencionan los materiales y equipos utilizados durante la cuarta campaña trimestral de medición de niveles piezométricos, parámetros fisicoquímicos y análisis hidroquímicos.

- Pozómetro marca *Solinst*, modelo 101 (ver Figura 4-6)
- Sonda multiparámetro Hanna Instruments modelo HI9828, N° serie 08248603 (ver Figura 4-7)
- *Cooler* y envases de muestras (ver Figura 4-7)
- Bomba de filtrado
- Filtros de membrana de 0,45 µm.
- Guantes de nitrilo
- Bailers

- Jarro Recolector
- Cable de acero

**Figura 4-6: Pozómetro**



Fuente: [www.solinst.com](http://www.solinst.com) y Arcadis, 2015.

**Figura 4-7: Sonda multiparámetro utilizada y envases de muestra**



Fuente: [www.hanna.com](http://www.hanna.com) y Arcadis, 2015.

#### **4.7 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro**

En la Tabla 4-7 se mencionan los puntos de control y la fecha en que se realizó cada medición de nivel piezométrico, parámetros fisicoquímicos y análisis hidroquímico en el primer trimestre de 2016. Cabe destacar que el pozo CB-7 fue muestreado adicionalmente en enero de 2016, debido a que presentó un aumento sustancial de su nivel.

Tabla 4-7: Fechas de muestreo, medición y análisis de cada punto de control

Punto de control	Fecha	Medición de Nivel piezométrico (*)	Medición de parámetros fisicoquímicos in situ (**)	Análisis Hidroquímico (***)
CB-1	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	No	No
CB-2	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	Si	Si
CB-3	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	Si	Si
CB-4	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	Si	Si
CB-5	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	Si	Si
CB-6	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	Si	Si
CB-7	Ene-16	Si	Si (****)	Si (****)
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	Si	Si
CB-8	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	Si	Si
CB-9	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	Si	Si
CB-10	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	Si	Si
CB-11	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	No	No
CB-12	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	No	No
QSCSG6-237	Ene-16	Si	No	No

Punto de control	Fecha	Medición de Nivel piezométrico (*)	Medición de parámetros fisicoquímicos in situ (**)	Análisis Hidroquímico (***)
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	Si	Si
QSG08-402	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	Si	Si
QSG08-431	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	No	No
QSG08-493	Ene-16	Si	No	No
	Feb-16	Si	No	No
	Mar-16	Si	Si	Si

Fuente: Arcadis, 2015.

(\*) Ver resultados en Tabla 5-1

(\*\*) Ver resultados en Tabla 5-2

(\*\*\*) Ver resultados en Tabla 5-5

(\*\*\*\*) Pozo CB-7 se muestreó en enero de 2016 debido a aumento sustancial de su nivel.

#### 4.8 Incertidumbres de valores de monitoreo

La incertidumbre en la medición del nivel está dada por la precisión del pozómetro, lo cual puede tener errores dl orden de 1 a 2 cm. Respecto a los análisis químicos la incertidumbre es la asociada a cada método analítico.

### 5 RESULTADOS

#### 5.1 Monitoreo de niveles piezométricos

El resultado de las mediciones de nivel piezométrico que corresponden al primer trimestre del 2016, se presentan en la Tabla 5-1 y los hidrogramas se presentan en la Figura 5-1, donde se destacan las últimas tres medidas. Cabe mencionar que los gráficos de los pozos tienen la misma escala, a excepción de los pozos CB-7 y CB-9, que se presentan en dos escalas distintas, dado a que han tenido mayores variaciones en el tiempo. Adicionalmente, se presentan los datos del transductor instalado en el pozo CB-7 para medir su ascenso de nivel.

Entre los resultados con mayor variación se destacan los pozos CB-7, CB-8 y CB-9. El pozo CB-7, debido a que en enero evidenció un ascenso de su nivel de 34,02 m. El pozo CB-9 ya que presenta un aumento sustancial del nivel desde el mes de abril de 2015. Y en el pozo CB-8, ya que en diciembre de 2015 se midió un nivel estático de 11,73 m, siendo que históricamente este pozo se encontraba sin agua. La evolución de los niveles se discute en el capítulo 6.

Tabla 5-1: Niveles piezométricos medidos. Primer Trimestre 2016

Pozo	Fecha	Cota Pozo	Prof. Nivel (mbtoc) (*)	Nivel Piezométrico (msnm)
CB-1	Ene-16	1677,13	Seco	Seco
	Feb-16	1677,13	Seco	Seco
	Mar-16	1678,13	Seco	Seco
CB-2	Ene-16	1629,057	33,44	1596,22
	Feb-16	1629,057	33,45	1596,21
	Mar-16	1629,057	33,49	1596,17
CB-3	Ene-16	1628,078	28,18	1600,70
	Feb-16	1628,078	28,15	1600,73
	Mar-16	1628,078	28,16	1600,72
CB-4	Ene-16	1645,229	41,21	1604,53
	Feb-16	1645,229	Sin medición (**)	Sin medición (**)
	Mar-16	1645,229	41,19	1604,53
CB-5	Ene-16	1656,34	58,28	1599,13
	Feb-16	1656,34	58,25	1599,16
	Mar-16	1656,34	58,24	1599,17
CB-6	Ene-16	1660,092	59,77	1600,87
	Feb-16	1660,092	Sin medición (***)	Sin medición (***)
	Mar-16	1660,092	59,76	1600,88
CB-7	Ene-16	1600,798	57,36	1544,14
	Feb-16	1600,798	19,01	1582,49
	Mar-16	1600,798	18,86	1582,64
CB-8	Ene-16	1607,749	10,27	1598,12
	Feb-16	1607,749	7,23	1601,16
	Mar-16	1607,749	6,9	1601,49
CB-9	Ene-16	1678,64	66,99	1612,55
	Feb-16	1678,64	64,05	1615,49
	Mar-16	1678,64	62,98	1616,56
CB-10	Ene-16	1690,057	89,65	1601,16
	Feb-16	1690,057	89,56	1601,25
	Mar-16	1690,057	89,57	1601,24
CB-11	Ene-16	1631,016	Seco	Seco
	Feb-16	1631,016	Seco	Seco
	Mar-16	1631,016	Seco	Seco
CB-12	Ene-16	1593,61	48,08	1546,26
	Feb-16	1593,61	47,87	1546,47
	Mar-16	1593,61	47,86	1546,48
QSCSG6-237	Ene-16	1623,97	28,08	1596,40
	Feb-16	1623,97	28,04	1596,44
	Mar-16	1623,97	28,04	1596,44
QSG08-402	Ene-16	1649,059	37,33	1612,16

Pozo	Fecha	Cota Pozo	Prof. Nivel (mbtoc) (*)	Nivel Piezométrico (msnm)
	Feb-16	1649,059	36,91	1612,58
	Mar-16	1649,059	36,89	1612,60
QSG08-431	Ene-16	1670,463	70,26	1601,07
	Feb-16	1670,463	70,25	1601,08
	Mar-16	1670,463	70,26	1601,07
QSG08-493	Ene-16	1659,16	55,39	1604,10
	Feb-16	1659,16	Sin medición (**)	Sin medición (**)
	Mar-16	1659,16	55,34	1604,15

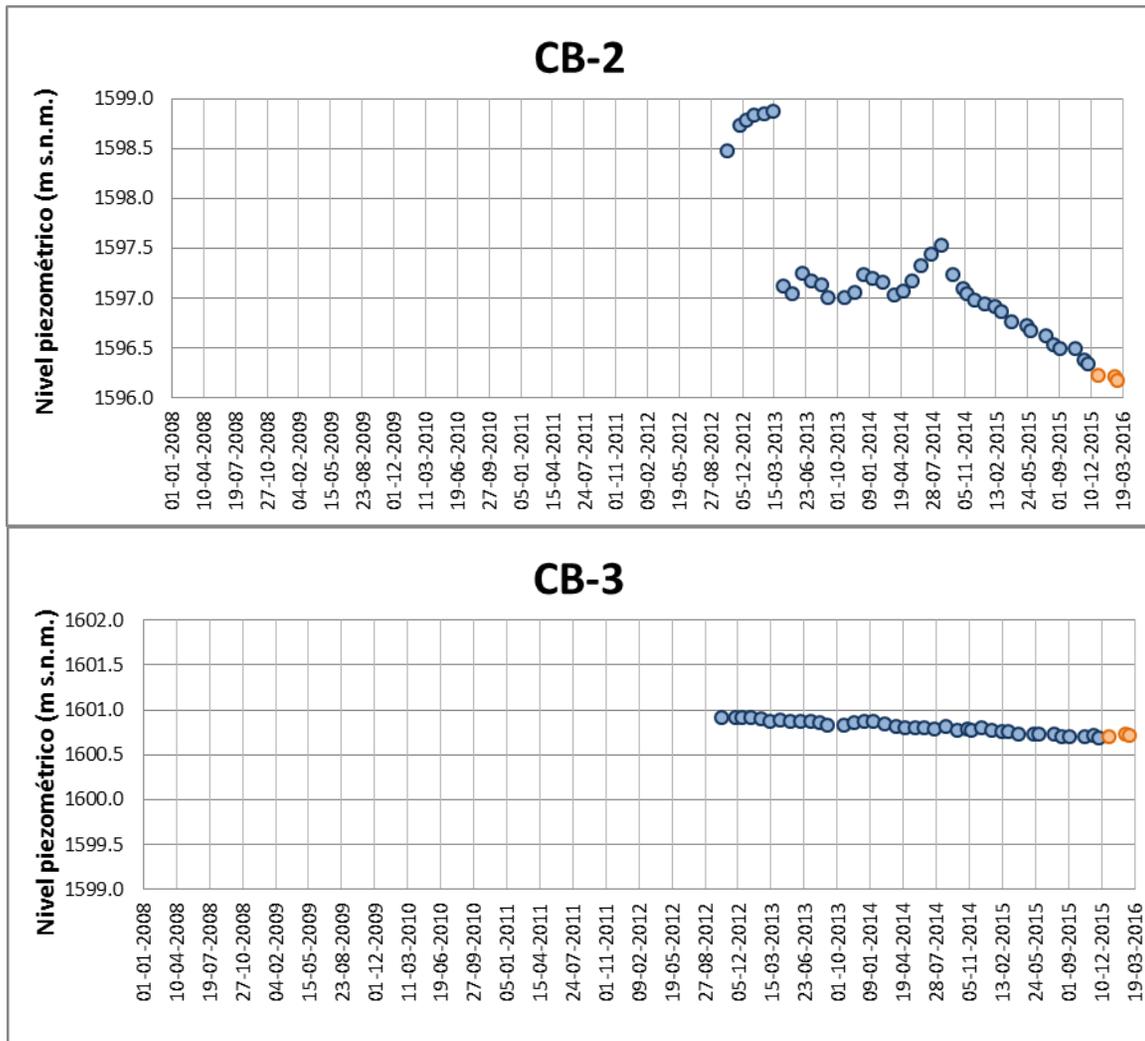
(\*) mbtoc = metros bajo tapa de casing (*meters below top of casing*).

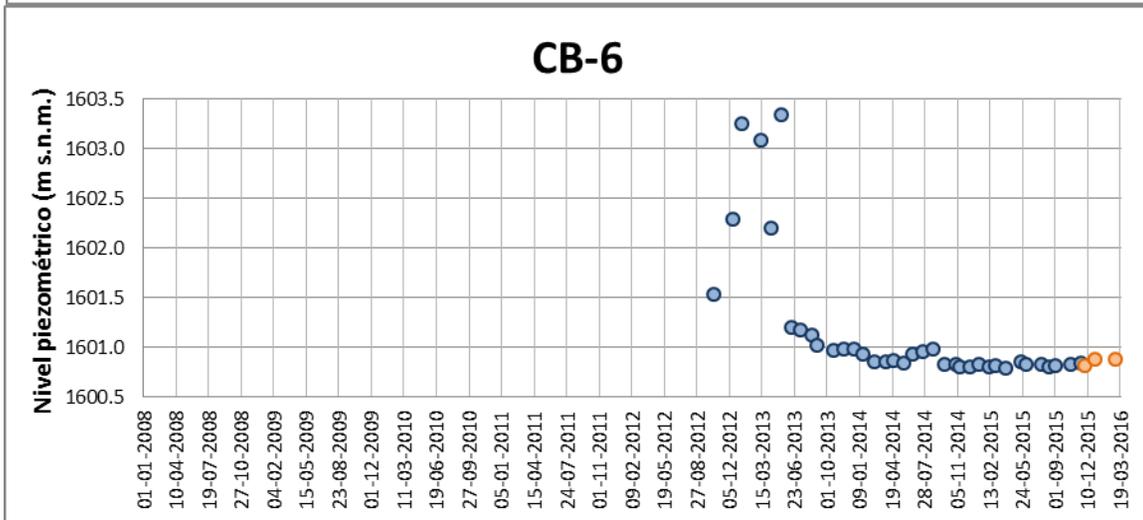
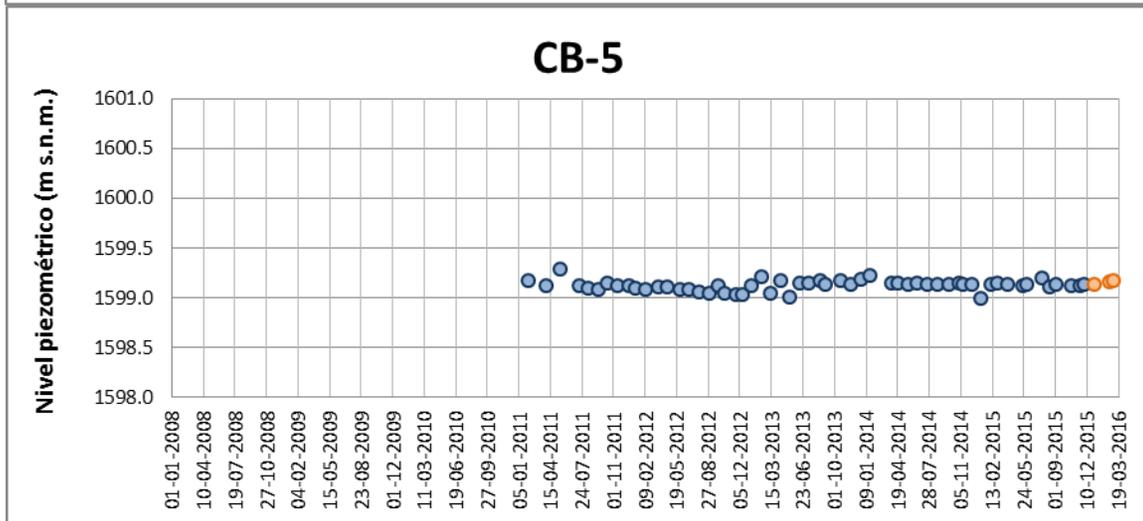
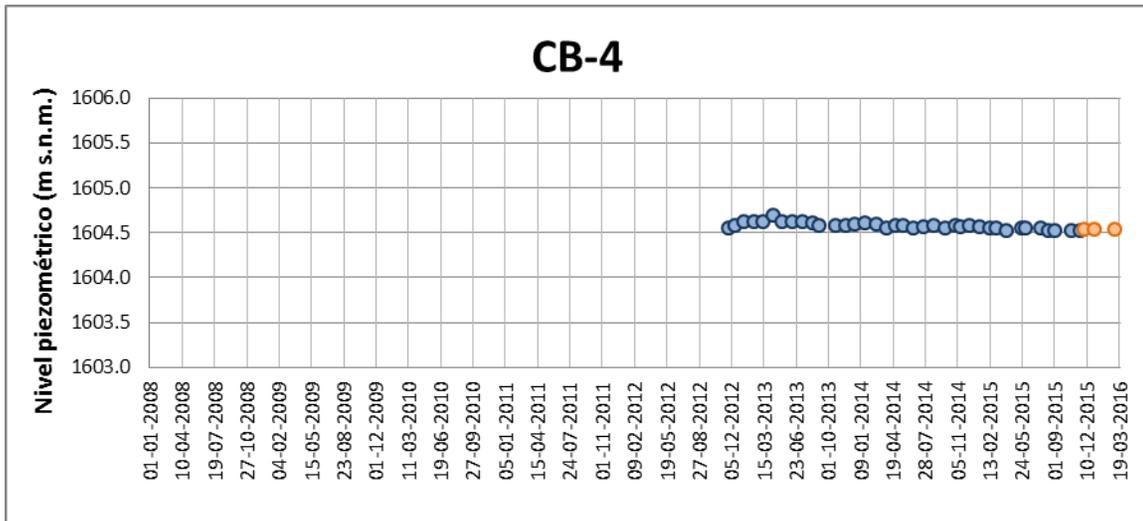
(\*\*) No se pudo acceder a pozo.

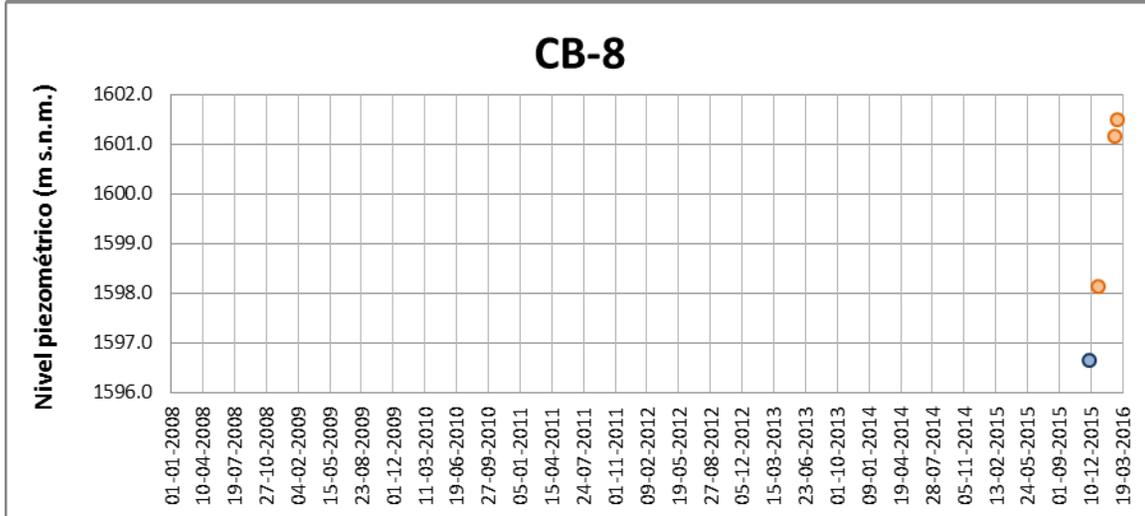
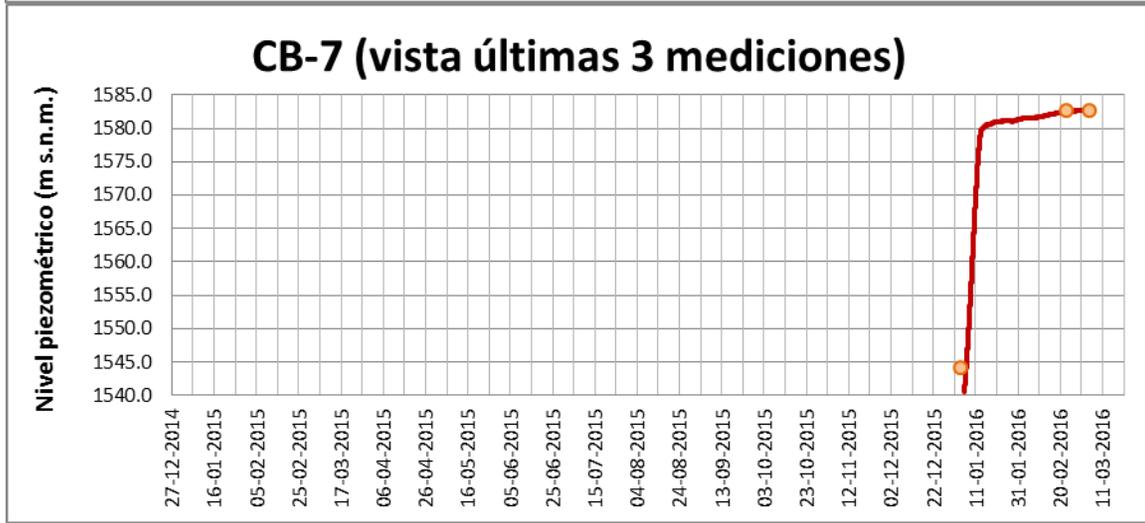
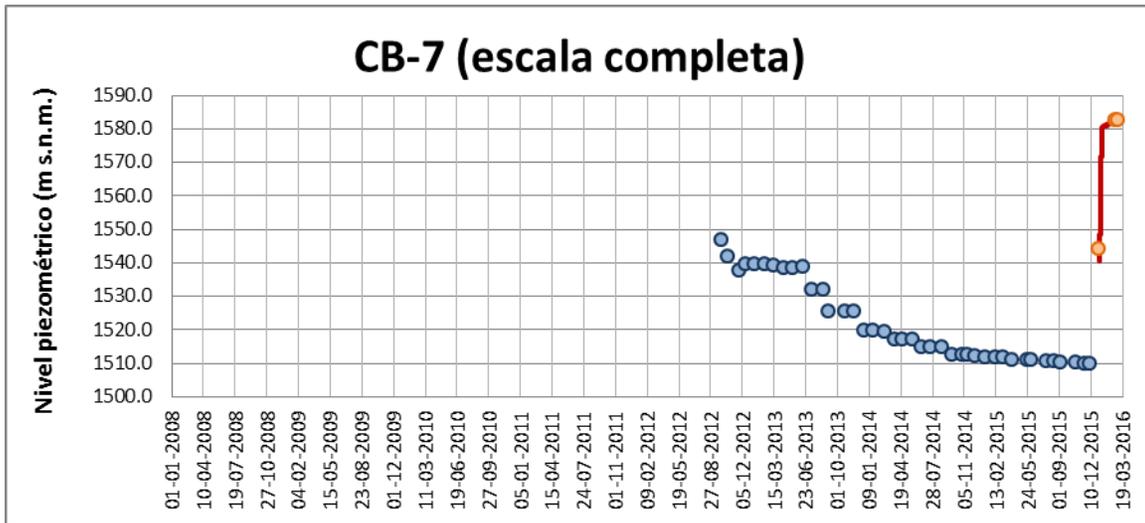
(\*\*\*) Pozo no tenía acceso debido a pretil y zanja de botadero norte.

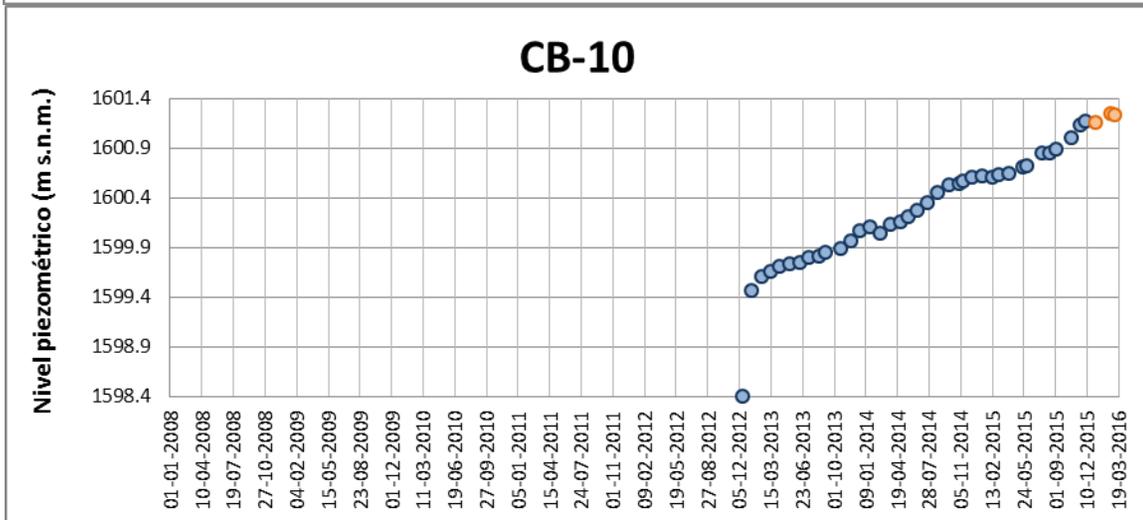
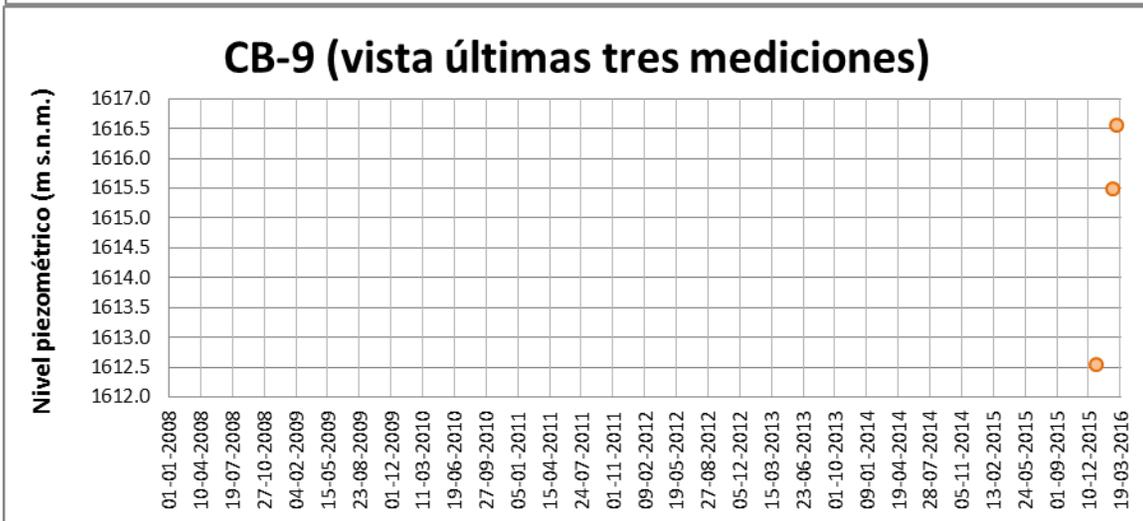
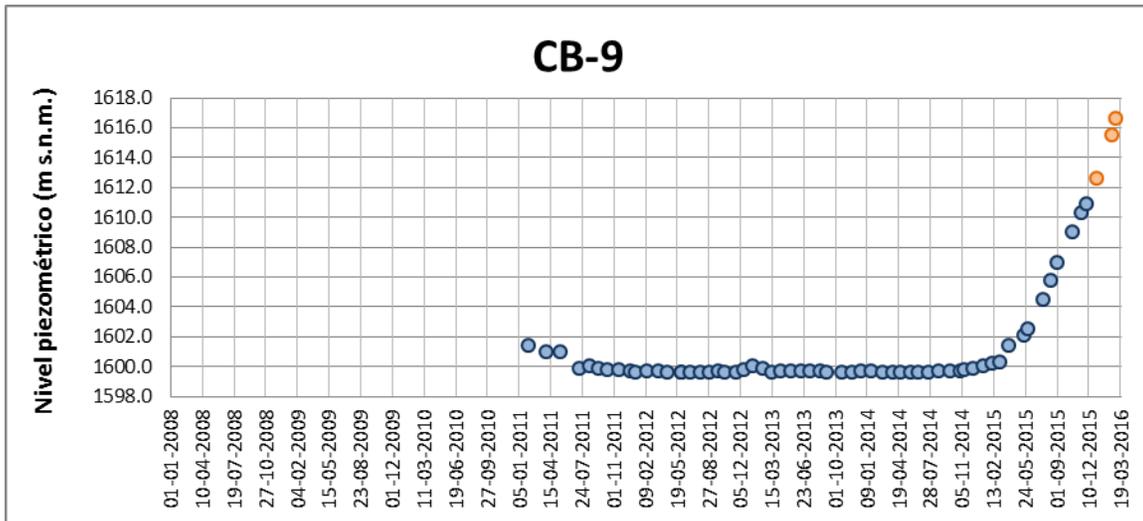
Fuente: Elaboración propia.

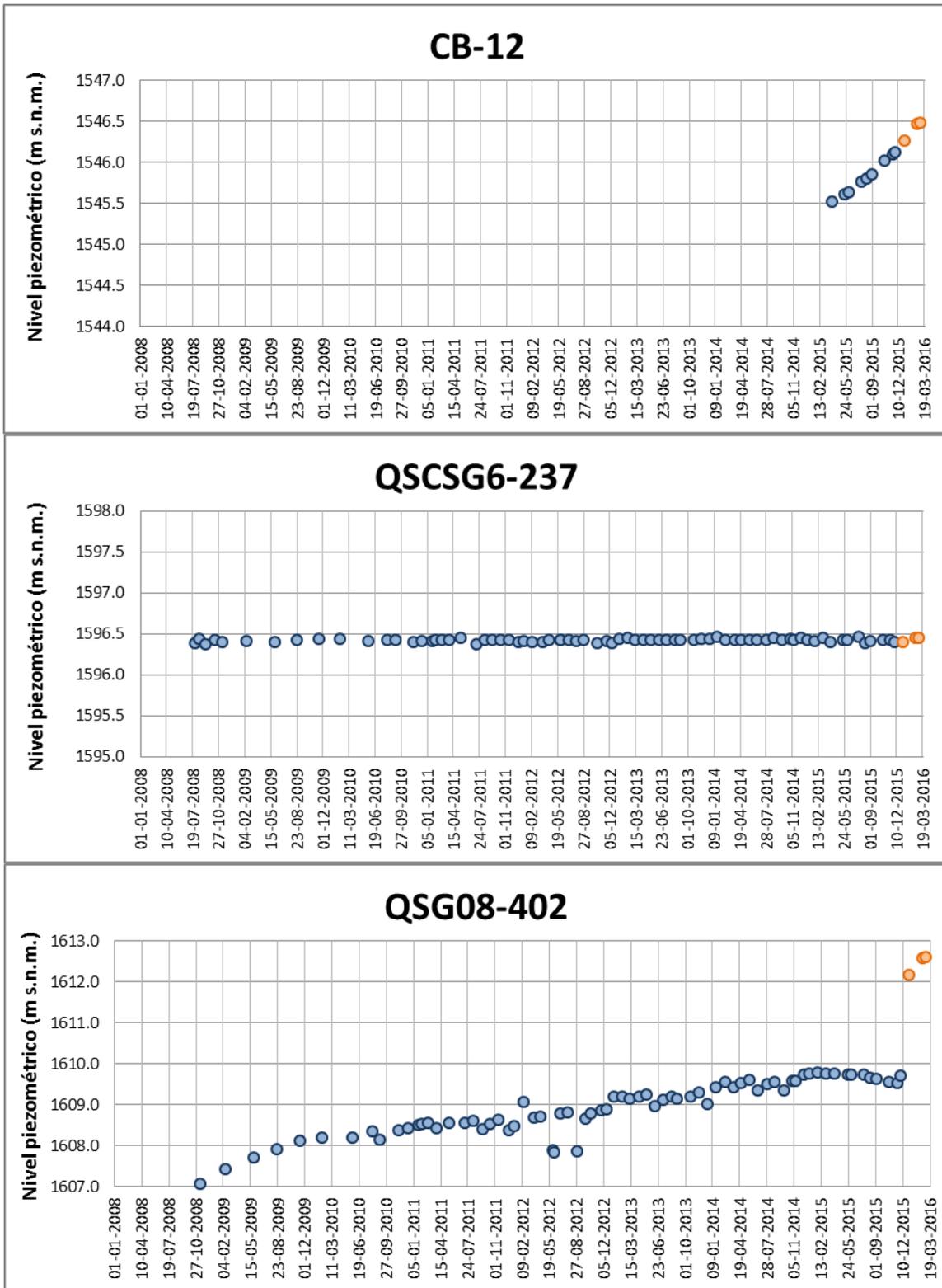
Figura 5-1: Hidrogramas Históricos. Pozos Sierra Gorda

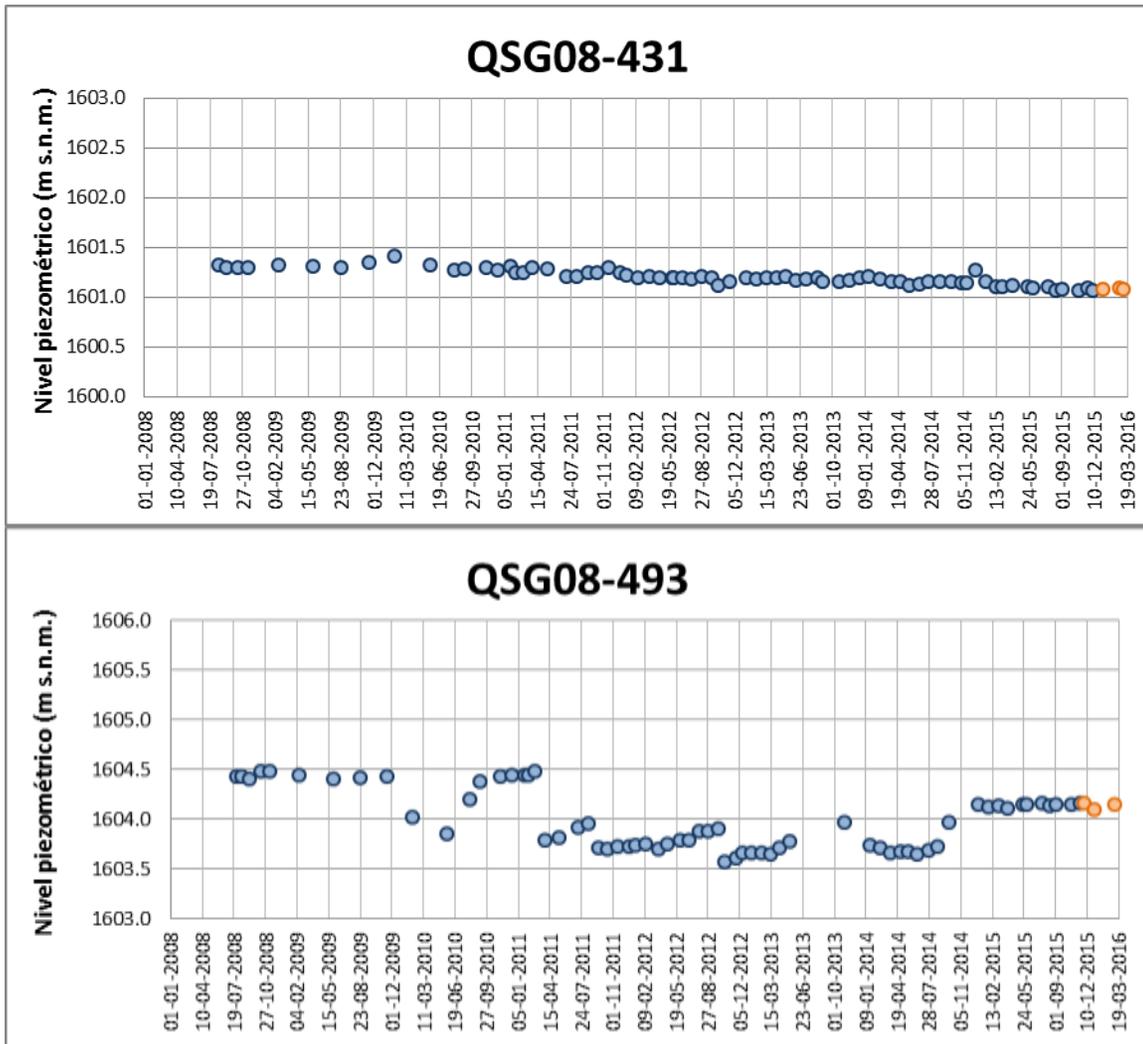












(\*) CB-7 y CB-9 se presentan en dos gráficos a distinta escala cada uno, y que difiere de la escala de los demás gráficos.  
 (\*\*) Gráficos de CB-7 incorporan datos de transductor instalado.  
 Fuente: Elaboración propia.

## 5.2 Monitoreo Hidroquímico

A continuación se presentan los resultados asociados a los valores fisicoquímicos medidos in situ, análisis de la calidad de datos obtenidos para el periodo de monitoreo y el resultado del análisis realizado en laboratorio químico.

### 5.2.1 Parámetros Físico químicos in situ

En la Tabla 5-2 se presentan los parámetros fisicoquímicos medidos en la campaña de terreno del primer trimestre de 2016. Los parámetros medidos corresponden a pH, temperatura (T), conductividad eléctrica (C.E), sólidos disueltos totales (SDT). Adicionalmente, se realizó una observación visual de la turbidez de la muestra.

**Tabla 5-2: Parámetros fisicoquímicos in situ. Campaña primer trimestre de 2016.**

Pozo	Fecha	Hora	T (°C)	pH	C.E. (mS/cm)	SDT (ppt)	Turbidez visual
CB-2	04-03-2016	10:30	22,18	7,64	17,35	8,66	Turbia
CB-3	04-03-2016	12:50	20,55	7,53	45,28	22,64	Turbia
CB-4	06-03-2016	11:50	23,27	7,10	68,16	34,04	Clara
CB-5	03-03-2016	16:20	24,19	7,02	78,17	39,13	Clara
CB-6	08-03-2016	11:10	24,06	7,30	57,61	28,80	Clara
CB-7	05-03-2016	13:40	24,46	6,38	168,0	83,99	Semi-turbia gris
CB-8	05-03-2016	12:25	24,01	7,06	173,5	86,77	Clara amarillenta
CB-9	06-03-2016	14:30	24,74	7,16	88,01	44,01	Clara
CB-10	06-03-2016	11:00	24,70	7,36	52,43	26,22	Clara
CON-15	05-03-2016	11:45	25,70	6,54	64,46	32,23	Semi-turbia café
QSCSG 6-237	04-03-2016	15:00	22,85	7,8	33,97	16,99	Clara
QSG08-402	04-03-2016	16:55	24,61	6,64	61,19	30,59	Semi-clara
QSG08-493	06-03-2016	12:30	23,91	5,21	79,67	39,83	Semi-clara

Fuente: elaboración propia.

### 5.2.2 Calidad de datos analíticos

El control de calidad de los análisis de laboratorio se realizó mediante la incorporación y comparación de duplicados, el cálculo del error de balance iónico y la comparación de la medida de conductividad eléctrica realizada en laboratorio versus la realizada in situ.

El error de balance iónico se calculó considerando los aniones y cationes principales ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ), según la siguiente relación:

$$\text{error} (\%) = 100 \times \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}}$$

El porcentaje de error observado en los análisis es menor al 10% en todos los puntos muestreados (ver Tabla 5-3), a excepción del CB-9 que presentó -11,86%, pero que es aceptable. En general, los balances indican buena confiabilidad de los datos entregados por el laboratorio.

**Tabla 5-3: Error de balance iónico. Campaña primer trimestre de 2016.**

Muestra	Error Balance Iónico
CB-2	-9,80
CB-3	-9,20
CB-4	-8,73
CB-5	-8,48
CB-6	-10,04
CB-7	-8,63
CB-8	-5,79
CB-9	-11,86

CB-10	-7,91
QSCS6-237	-8,95
QSG08-402	-8,10
QSG08-493	-7,06
CON-15	-6,71

Fuente: Elaboración propia.

Para la revisión de los duplicados tomados en terreno se calculó el porcentaje de diferencia relativa (RPD) y el porcentaje de recuperación (%R) para los parámetros (STD, C.E, pH y alcalinidad) y compuestos mayores, los cuales evalúan la precisión y exactitud, respectivamente y son frecuentemente utilizados en QA/QC (control de calidad) de muestreos medioambientales. Estos valores se calculan de acuerdo a las siguientes expresiones (Csuros, 1994):

$$RPD = \frac{|A - B|}{\frac{|A + B|}{2}} \times 100$$

$$\%R = \frac{B}{A} \times 100$$

Donde A y B corresponden a la muestra original y duplicada, respectivamente. Cabe mencionar que aquellos análisis que arrojaron valores bajo el límite de detección no se incluyeron en el análisis. Los porcentajes máximos aceptables se calculan estadísticamente de la siguiente manera (Csuros, 1994):

$$\text{Límite aceptable} = \bar{x} + s$$

Donde  $\bar{x}$  corresponde al promedio de la muestra y  $s$  a la desviación estándar de la muestra. Para los iones mayores se esperan RPD más bajos (menores al 15%) que para los analitos cercanos a los límites de detección (U.S.G.S, 2001). La muestra utilizada corresponde al conjunto de duplicados tomados en los monitoreos trimestrales de Sierra Gorda desde diciembre de 2014 hasta marzo de 2016. En la Tabla 5-4 se presentan los resultados del análisis de calidad a partir de los duplicados, los valores en rojo superan los límites aceptables, los cuales se detallan a la izquierda de la tabla. Como se puede observar, los análisis hidroquímicos tienen RPD y %R aceptables, lo que asegura la reproductibilidad y exactitud de los muestreos.

Sin embargo, se observa que en el caso de la muestra CB-8 y su duplicado (CB-M2), los sulfatos tienen valores muy distintos, siendo los valores del duplicado aproximadamente 2,4 veces la concentración de la muestra original. Por lo tanto, considerando que los valores obtenidos en el pozo CB-8 en diciembre de 2015 se acercan a los valores de la muestra duplicada, y que además es poco probable el empobrecimiento en sulfatos debido a la infiltración en el pozo, es que se optó usar los valores del duplicado para el análisis de sulfatos en el pozo CB-8.

### 5.2.3 Análisis hidroquímico

En la Tabla 5-5 se presentan los resultados de los análisis hidroquímicos realizados en la campaña de monitoreo del primer trimestre de 2016. Además se presenta la comparación con la norma y aquellos resultados que la superan (valores en rojo). En la Figura 5-2 se presenta la evolución histórica de los distintos parámetros, elementos y compuestos hidroquímicos analizados. Los reportes de laboratorio entregados por ALS se pueden encontrar en formato digital en el Anexo 9.1.

Tabla 5-4: Análisis de duplicados. Campaña primer trimestre de 2016.

Parámetro	Muestra	Duplicado	R	RPD	Muestra	Duplicado	R	RPD	Aceptable	
	CB-2	CB-M1 (CB-2)	%	%	CB-8	CB-M2 (CB-8)	%	%	R	RPD
Alcalinidad HCO <sub>3</sub>	65,70	66,10	100,61	0,61	765,10	776,00	101,42	1,41	104	5
Conductividad Eléctrica	20.100,00	20.150,00	100,25	0,25	173.000,00	155.300,00	89,77	10,78	106	9
pH	7,46	7,55	101,21	1,20	7,08	7,10	100,28	0,28	101	1
Total de sólidos disueltos	16.674,00	18.394,00	110,32	9,81	404.794,00	381.194,00	94,17	6,01	112	10
Cloruro, Cl	5.609,00	5.802,50	103,45	3,39	126.687,00	113.873,20	89,89	10,65	107	18
Fluoruro, F	0,85	0,44	51,76	63,57	1,47	0,77	52,38	62,50	165	74
Sulfato, SO <sub>4</sub>	5.099,00	5.018,00	98,41	1,60	20.210,00	47.864,00	236,83	81,25	207	64
Nitrógeno, N-NO <sub>3</sub>	343,11	406,88	118,59	17,01	28.534,75	27.251,74	95,50	4,60	139	51
Boro, B	53,00	42,00	79,25	23,16	830,00	820,00	98,80	1,21	149	138
Calcio, Ca	560,20	549,10	98,02	2,00	347,69	333,49	95,92	4,17	112	10
Potasio, K	40,78	40,13	98,41	1,61	7.041,40	6.397,20	90,85	9,59	116	14
Magnesio, Mg	139,60	138,29	99,06	0,94	7.792,00	7.173,00	92,06	8,27	114	14
Sodio, Na	4.550,00	4.821,60	105,97	5,80	104.520,00	99.900,00	95,58	4,52	109	9
Estroncio, Sr	15,30	17,41	113,79	12,90	11,82	11,88	100,51	0,51	128	44

(\*) Valores en rojo superan límite aceptable.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-5: Resultados de Análisis Hidroquímicos. Campaña primer trimestre de 2016.

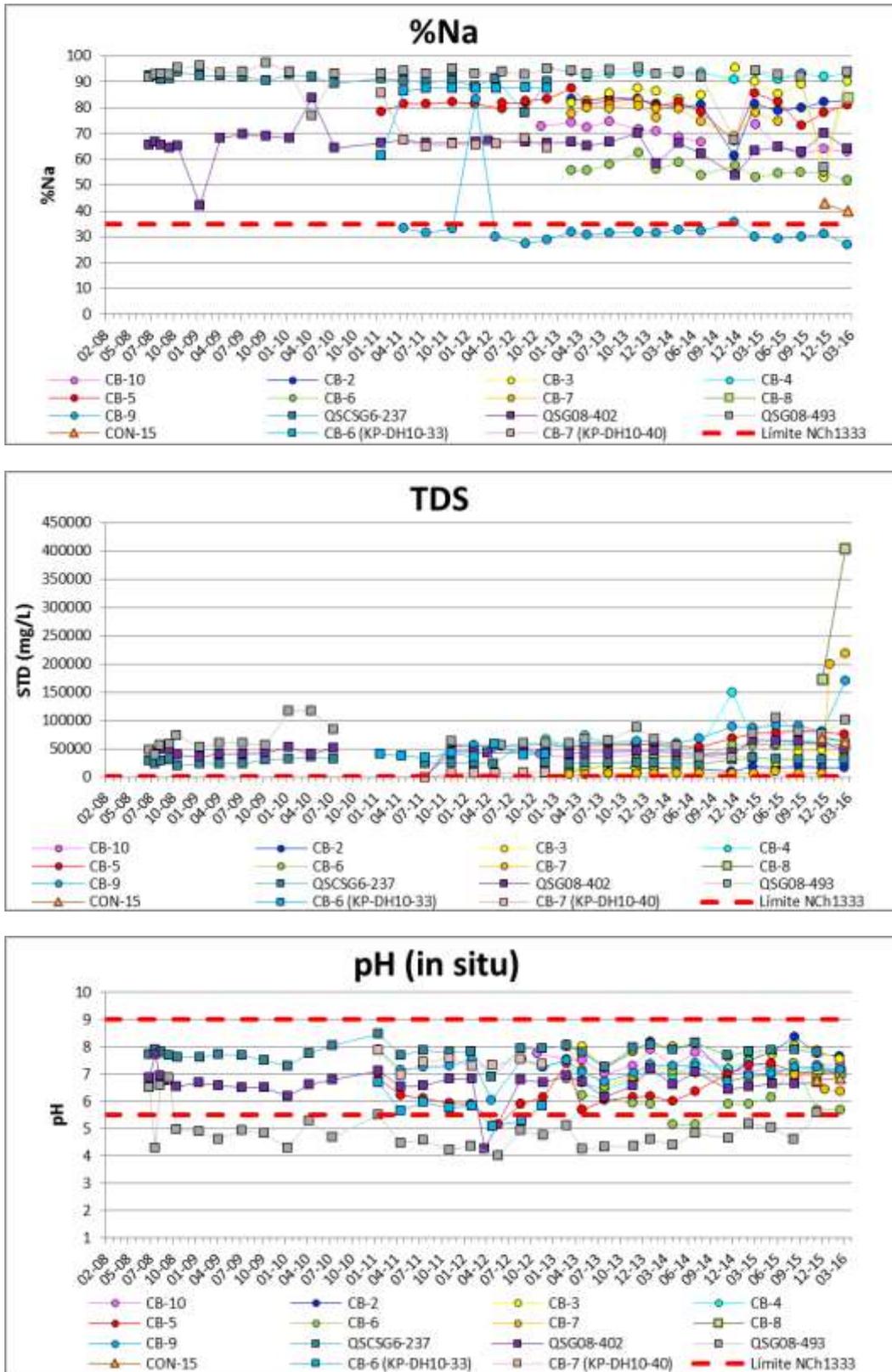
Parámetro / analito	Unidad	NCh1333	CB-2	CB-3	CB-4	CB-5	CB-6	CB-7	CB-8	CB-9	CB-10	QSCSG6-237	QSG08-402	QSG08-493	CON-15
Alc HCO3	mg CaCO3/L	N/A	65,70	109,80	258,10	153,80	160,60	890,00	765,10	120,80	33,90	102,10	150,40	3,00	90,30
C.E	µS/cm	750	20100	38700	65400	76300	57500	172200	173000	86800,00	57700,00	33600,00	60700,00	102200	63100,00
Pro Ads Na	mg/L	N/A	44,40	86,70	151,60	88,90	31,30	0,00	248,90	22,40	37,90	86,30	41,30	217,80	21,80
Na%	%	35,00	83,00	90,00	93,00	81,00	52,00	93,00	84,00	27,00	63,00	90,00	64,00	94,00	40,00
pH		5,5-9	7,46	7,54	7,22	7,05	7,42	6,78	7,08	7,24	7,31	7,81	6,67	4,83	6,83
STD	mg/L	500,00	16674	35494	63894	75744	56844	199600	404794	170194	54694	30734	49844	102194	62744
Cl	mg/L	200,00	5609,0	9960,9	21759,2	32397,0	22726,3	68008,0	126687,0	39166,6	22726,3	8413,6	28045,2	39408,3	29254,0
F	mg/L	1,00	0,85	1,25	1,36	0,44	0,89	0,88	1,47	0,79	0,86	1,74	0,89	0,77	0,51
SO4	mg/L	250,00	5099,00	9355,00	14374,00	17138,00	16198,00	14774,00	20210,00	38708,00	1835,00	10798,00	2903,00	21526,00	1918,00
N-NO3	mg/L	N/A	343,11	991,54	1809,85	944,77	1291,02	18235,53	28534,75	4728,18	1511,03	650,17	14,20	3530,71	1654,92
B	mg/L	0,75	53,00	70,00	116,00	88,00	29,20	211,20	830,00	13,30	18,20	71,00	10,00	173,00	5,80
Ca	mg/L	N/A	560,20	565,00	674,80	648,70	625,50	686,80	347,69	448,60	4254,90	530,90	2327,40	701,40	4658,00
K	mg/L	N/A	40,78	83,57	227,71	317,16	73,77	2141,40	7041,40	126,67	49,07	51,89	74,51	373,17	64,32
Mg	mg/L	N/A	139,60	196,41	290,01	2148,70	4715,00	1310,90	7792,00	20868,00	432,36	151,50	1704,00	676,10	3379,60
Na	mg/L	N/A	4550	9421	18757	21019	10501	65170	104520	15308	9731	8885	10786	33860	8027
Sr	mg/L	N/A	15,30	13,31	12,65	0,58	25,36	39,40	11,82	0,50	71,45	16,87	47,30	13,38	45,93
Ag	mg/L	0,20	0,08	< 0,05	0,10	0,19	0,10	0,25	0,56	0,22	0,11	< 0,05	0,09	0,28	< 0,05
Al	mg/L	5,00	624,40	16,18	2,86	2,69	0,69	0,94	0,43	0,54	0,76	21,17	3,49	1,21	2,69
As	mg/L	0,10	1,38	0,05	0,005	0,02	0,01	0,01	0,04	0,05	0,01	0,10	0,02	0,004	0,002
Ba	mg/L	4,00	0,34	< 0,10	0,13	< 0,10	< 0,10	0,66	0,16	< 0,10	0,38	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Be	mg/L	0,10	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Cd	mg/L	0,01	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,25	< 0,002	0,43	3,93	0,33	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,16	0,18
Co	mg/L	0,05	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Cr	mg/L	0,10	1,65	0,08	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	1,74	< 0,05	0,15	0,07	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Cu	mg/L	0,20	4,65	0,12	0,14	1,97	0,13	0,31	0,31	0,33	0,11	0,12	0,15	1,98	0,18
Fe	mg/L	5,00	620,50	8,75	0,10	0,93	0,17	7,95	0,05	0,10	0,16	9,55	3,96	0,51	1,53
Hg	mg/L	0,001	0,08	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	0,002	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	0,004
Li	mg/L	2,50	2,16	1,44	1,98	1,97	1,15	0,64	2,69	0,64	0,32	1,12	1,95	2,88	0,83
Mn	mg/L	0,20	58,00	2,29	0,52	19,04	32,85	2,38	0,47	21,83	< 0,005	0,38	9,21	0,44	0,35
Mo	mg/L	0,01	0,33	0,47	0,41	0,17	0,61	0,32	2,20	0,15	0,27	0,73	0,16	0,20	0,20
Ni	mg/L	0,20	0,88	< 0,05	< 0,05	0,17	< 0,05	< 0,05	0,08	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,16	< 0,05
Pb	mg/L	5,00	2,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,08	< 0,03	< 0,03
Se	mg/L	0,02	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
V	mg/L	0,10	2,99	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Zn	mg/L	2,00	10,37	0,32	0,16	1,67	0,09	0,13	0,86	0,11	0,08	0,13	2,32	2,20	8,32
CN	mg/L	0,20	0,01	< 0,002	< 0,002	0,02	< 0,002	< 0,002	0,01	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,01

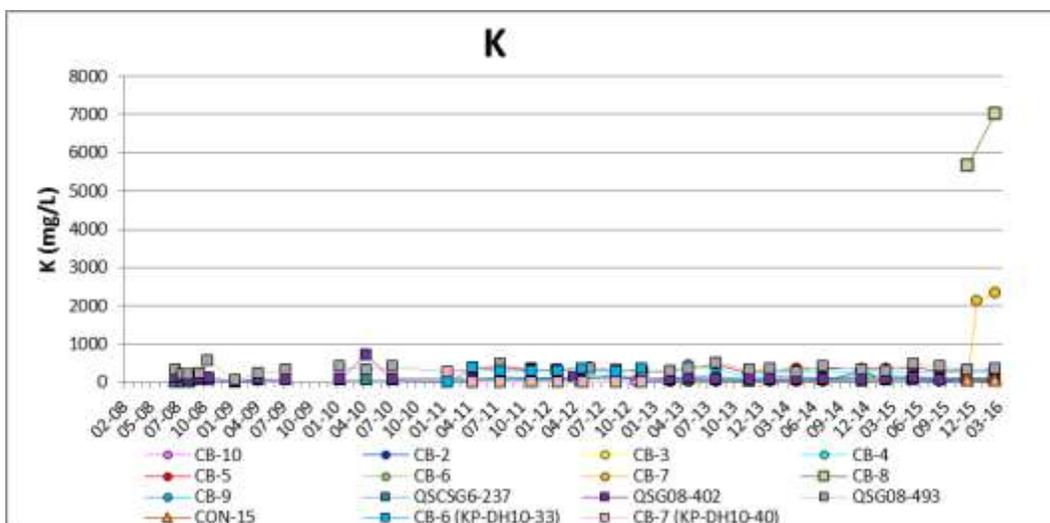
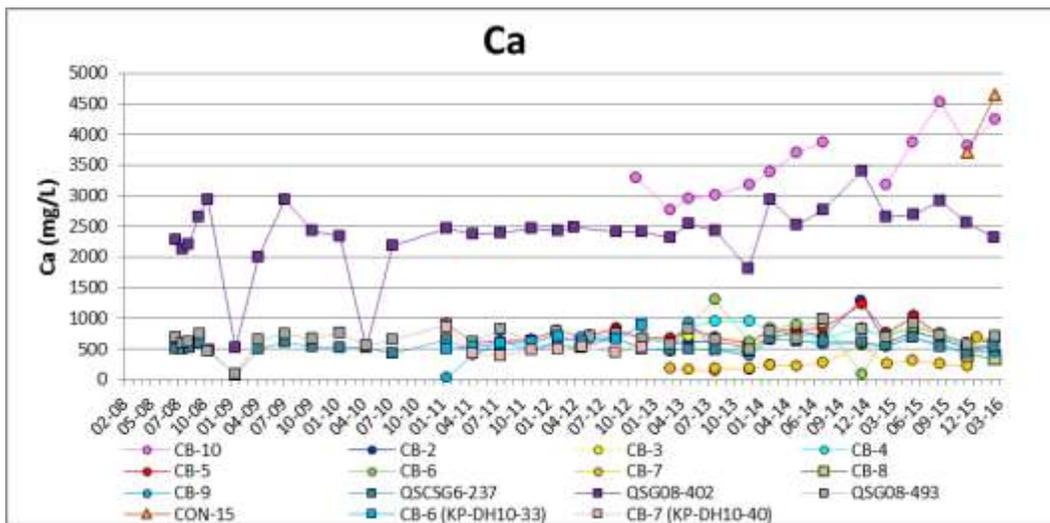
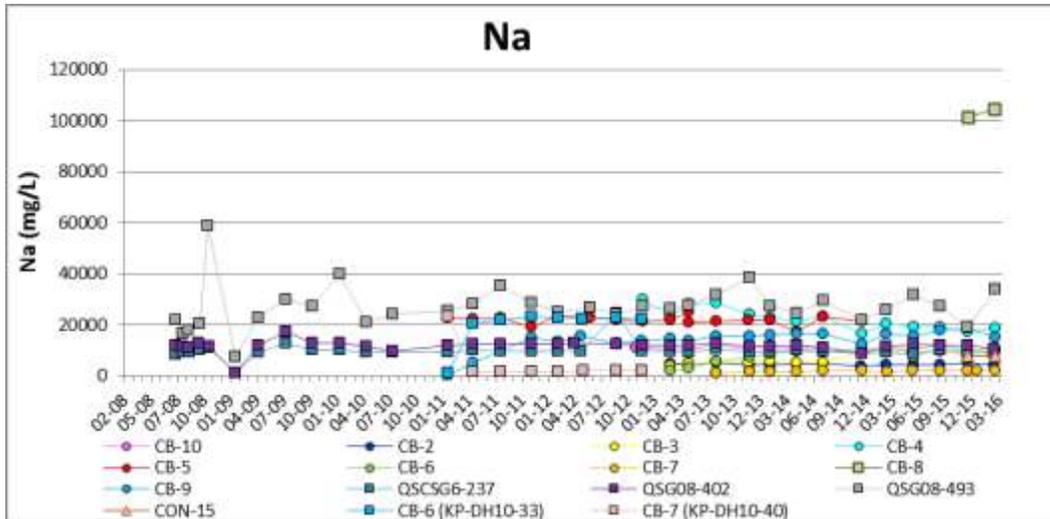
(\*) N/A = No aplica a la norma NCh1333.

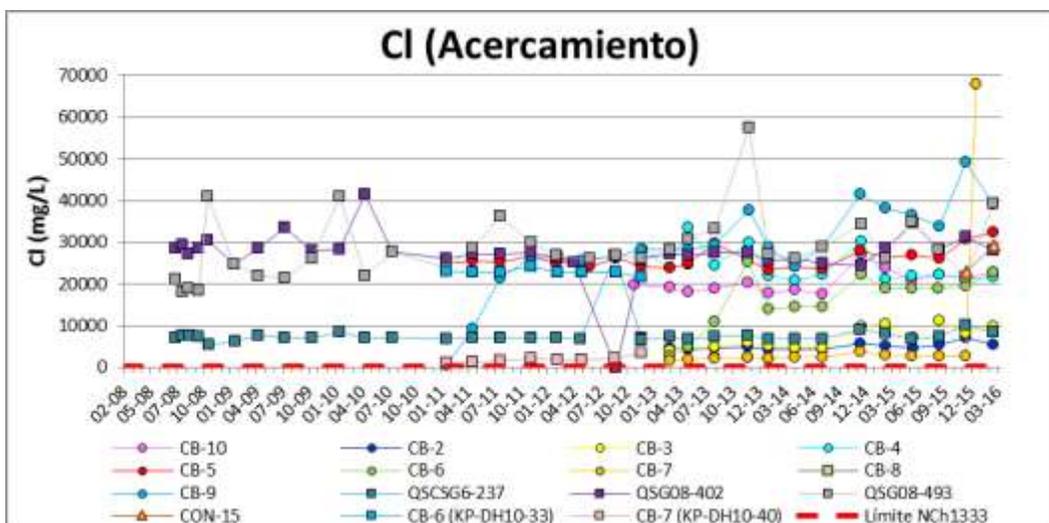
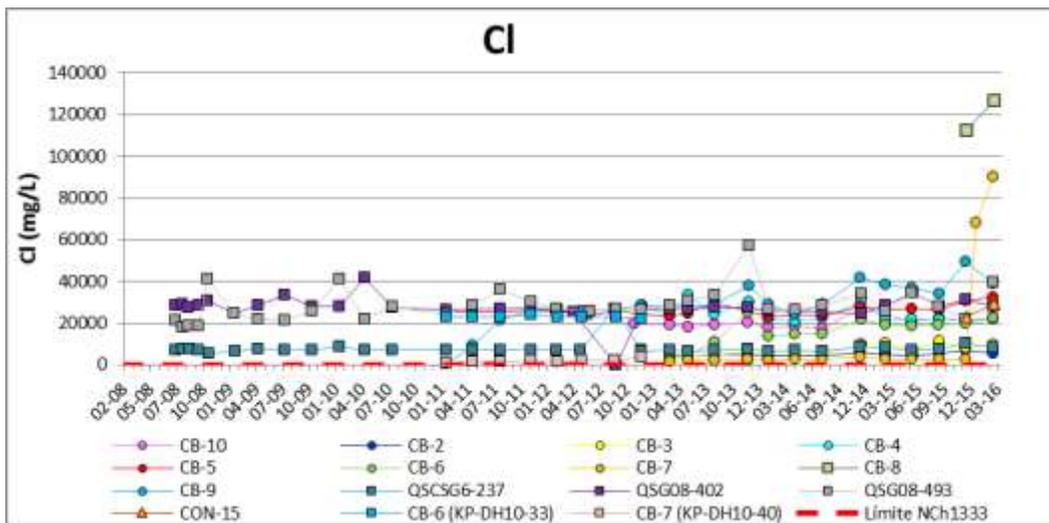
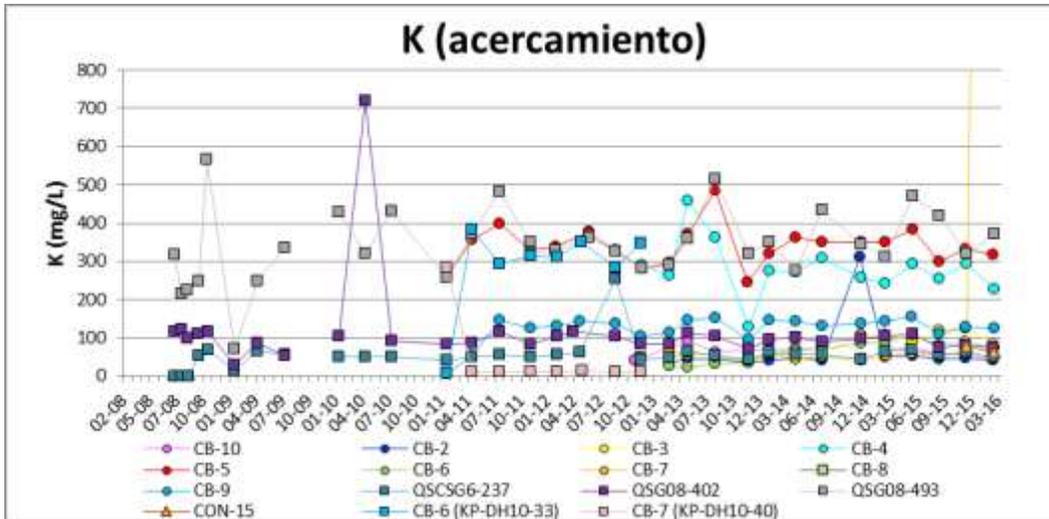
(\*\*) Valores en rojo sobrepasan la norma NCh1333.

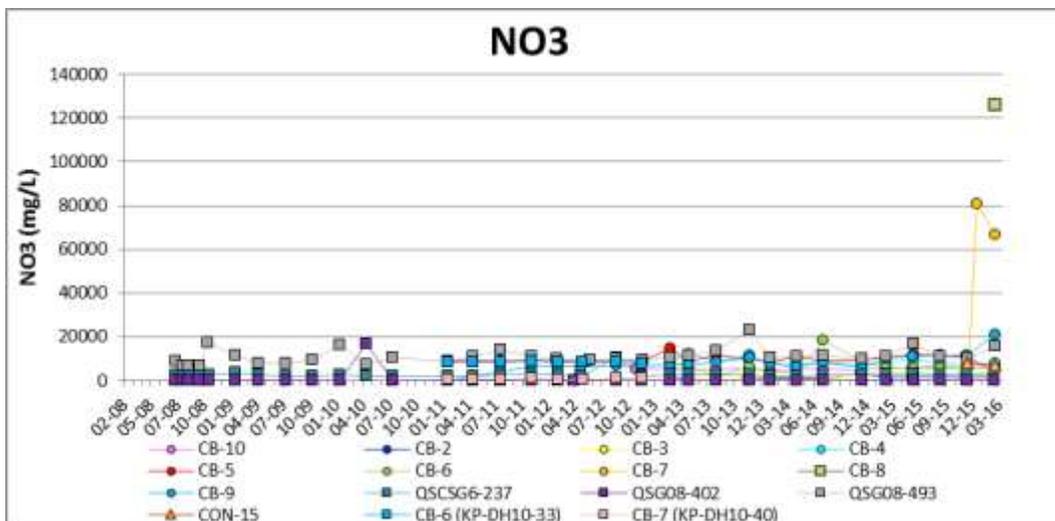
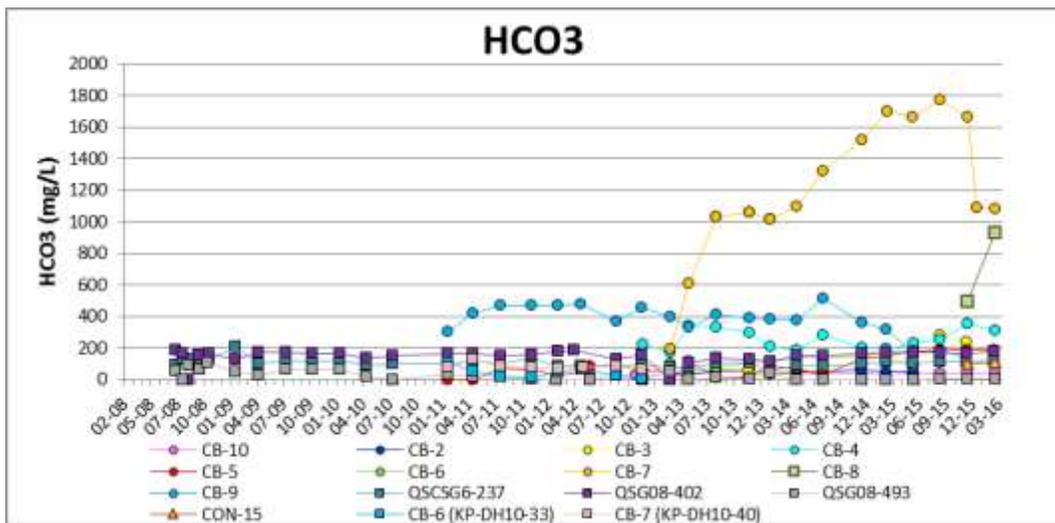
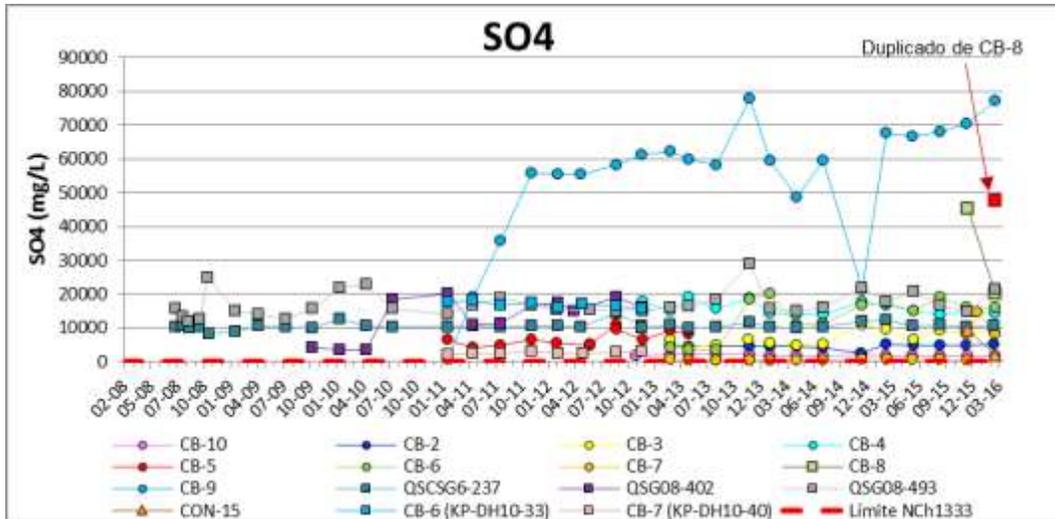
Fuente: Elaboración propia.

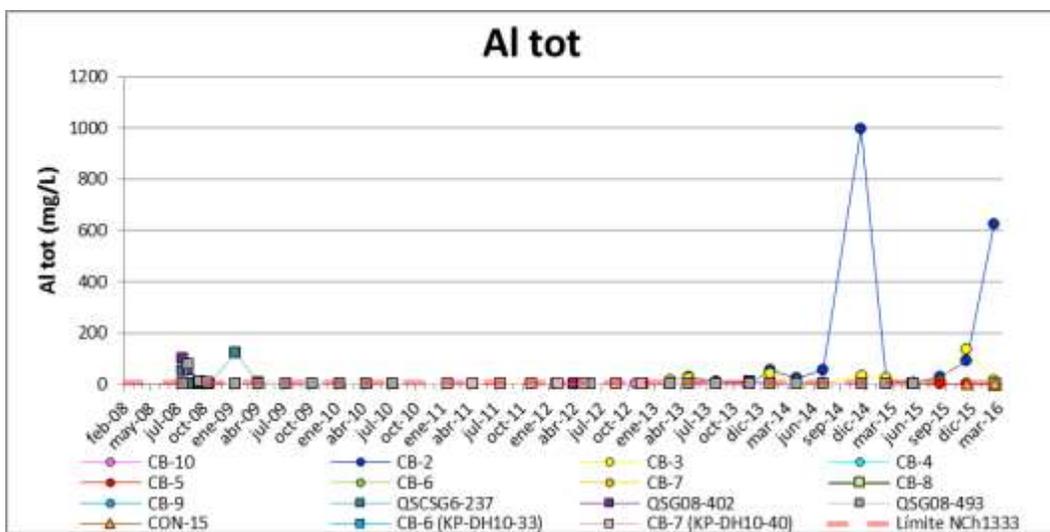
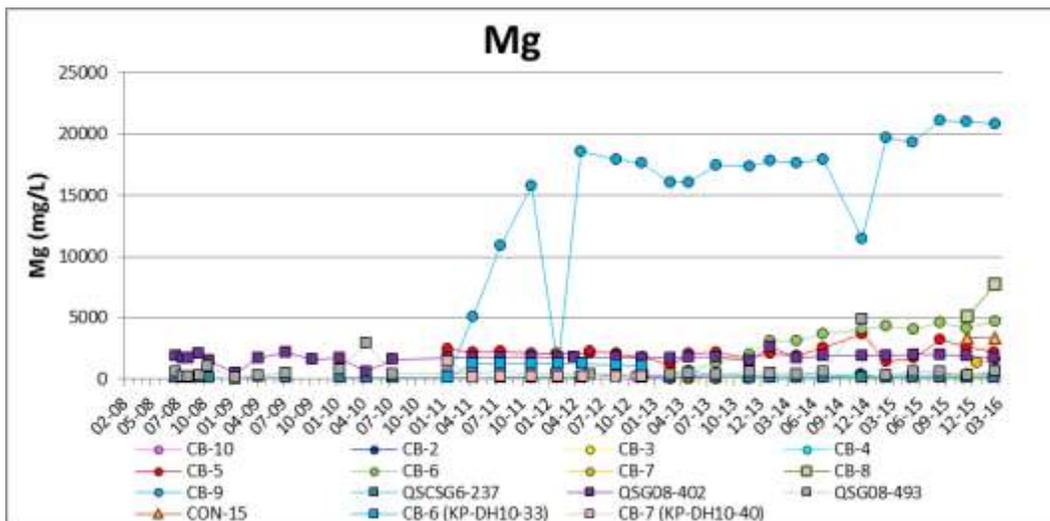
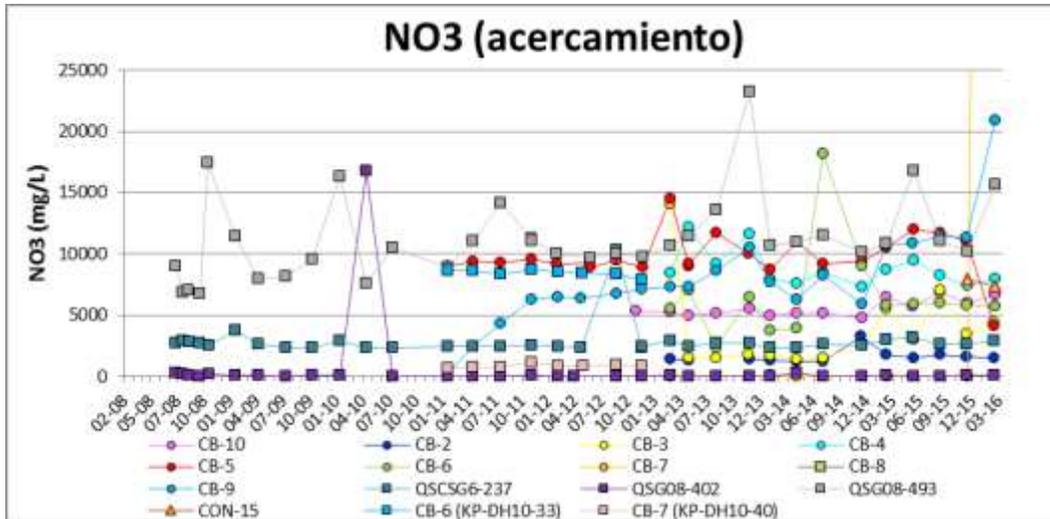
Figura 5-2: Evolución histórica de parámetros físico-químicos.

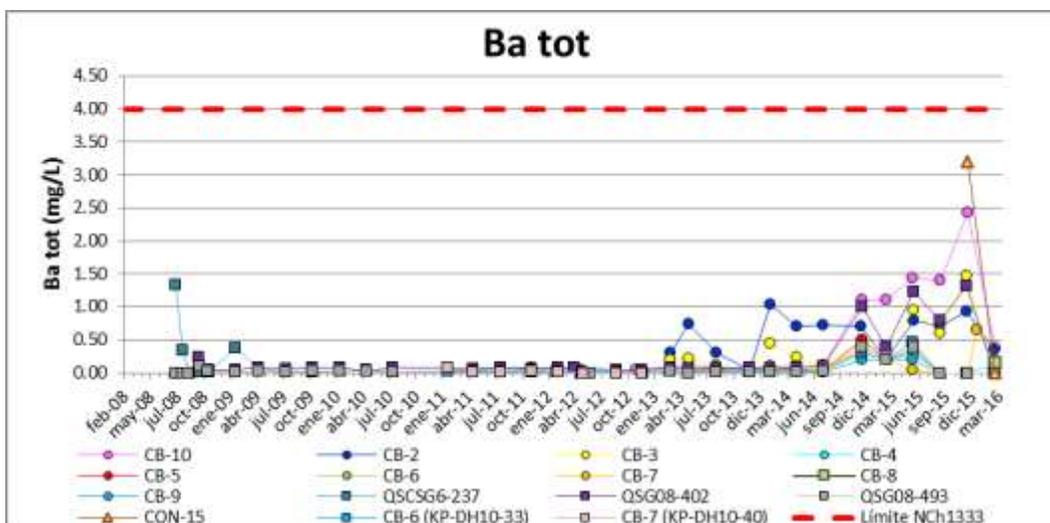
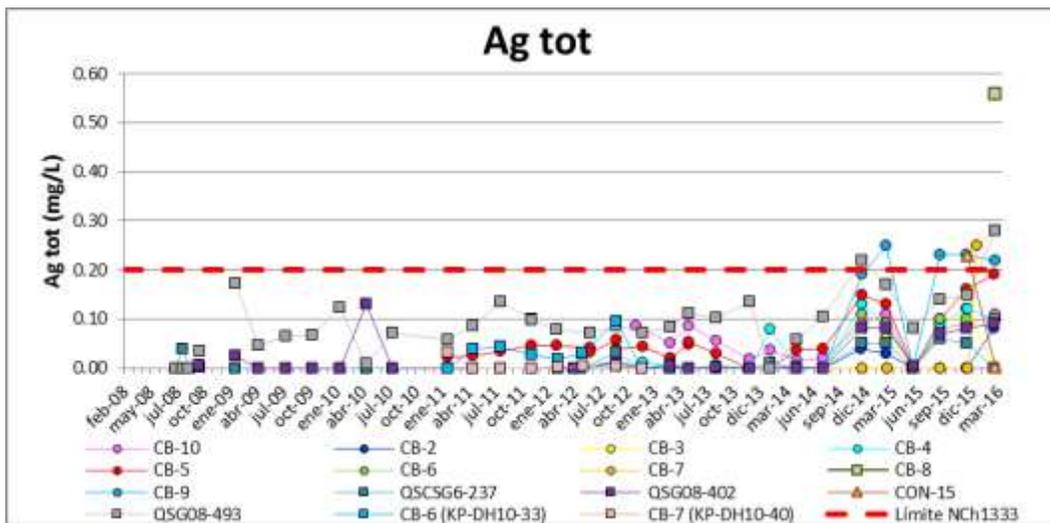
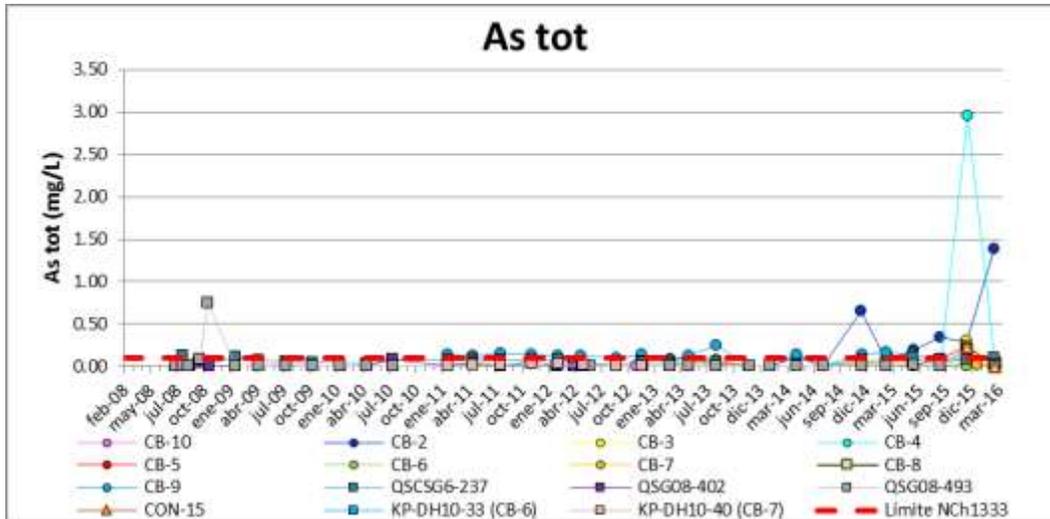


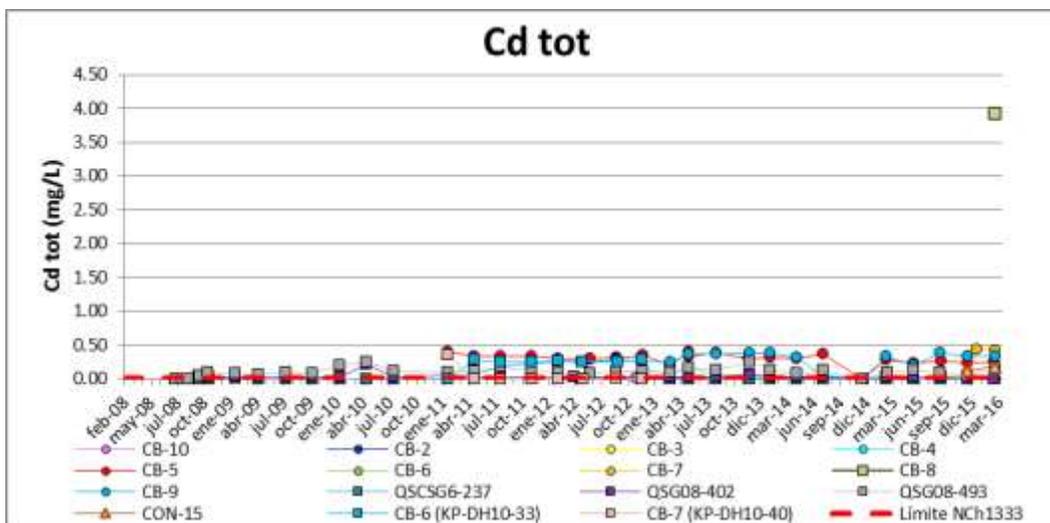
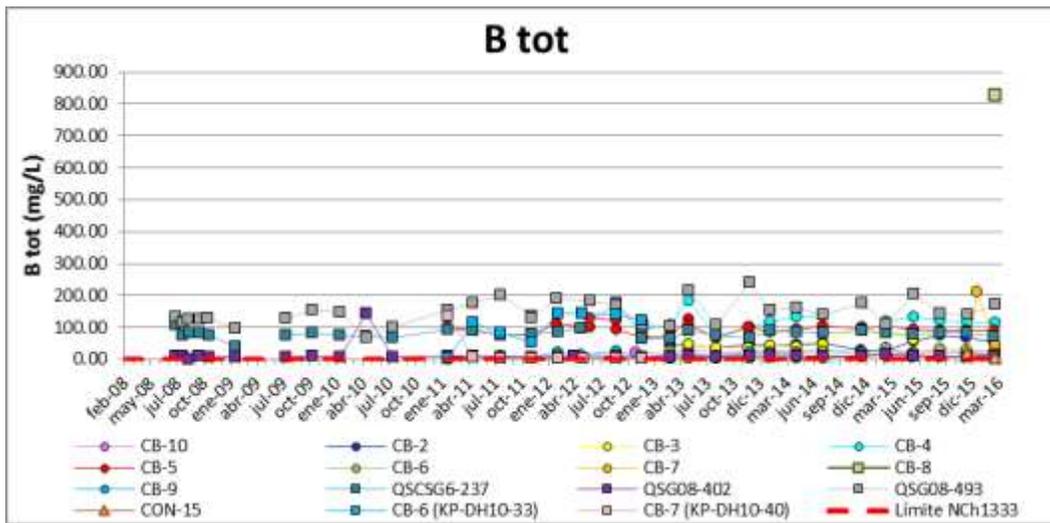
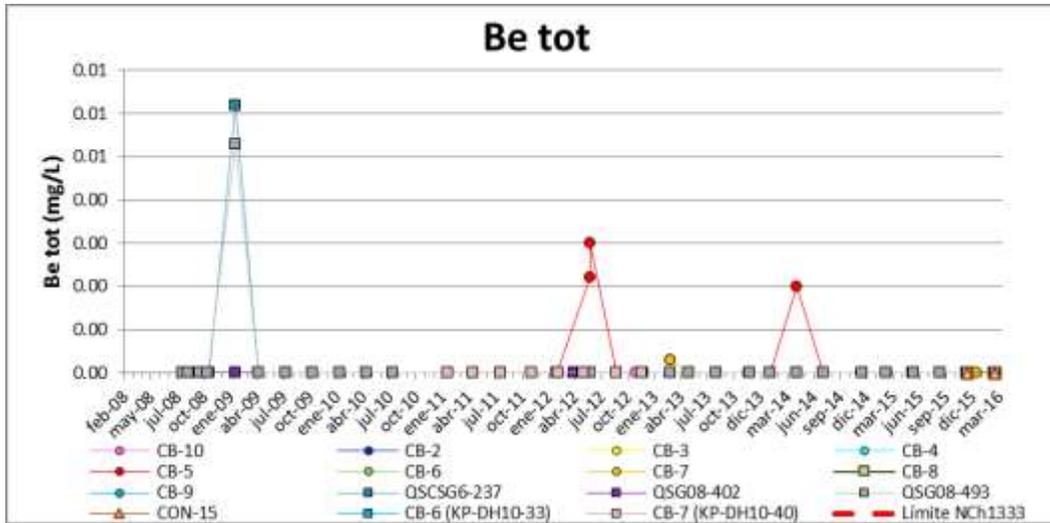


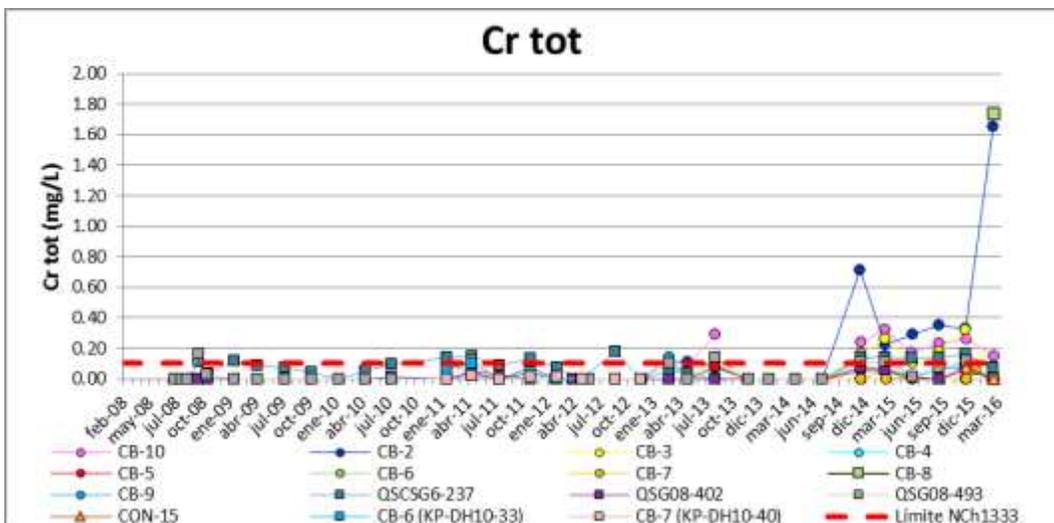
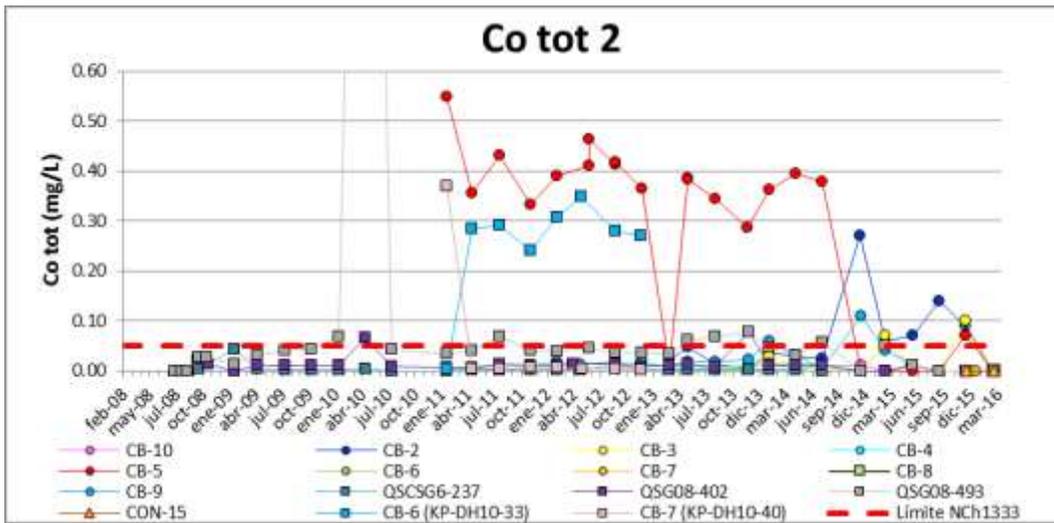
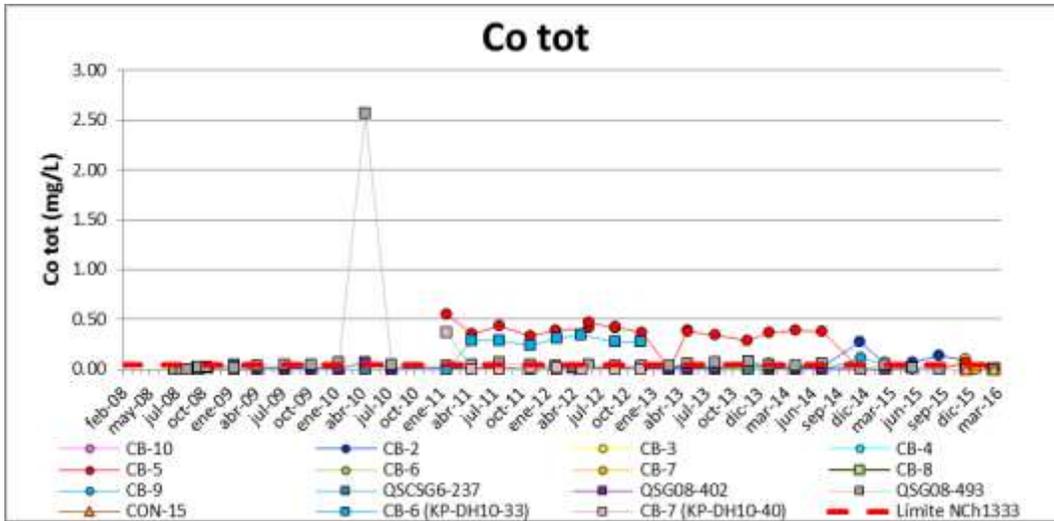


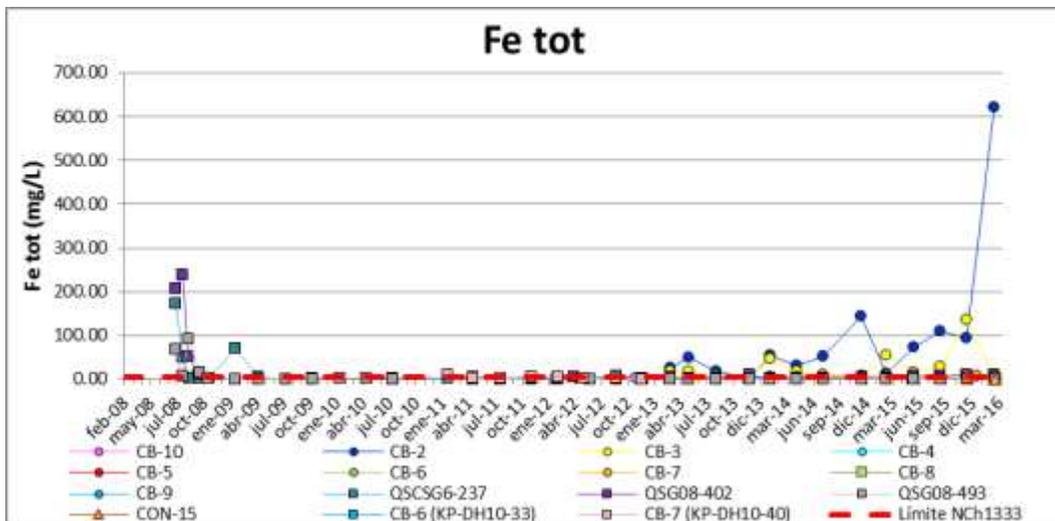
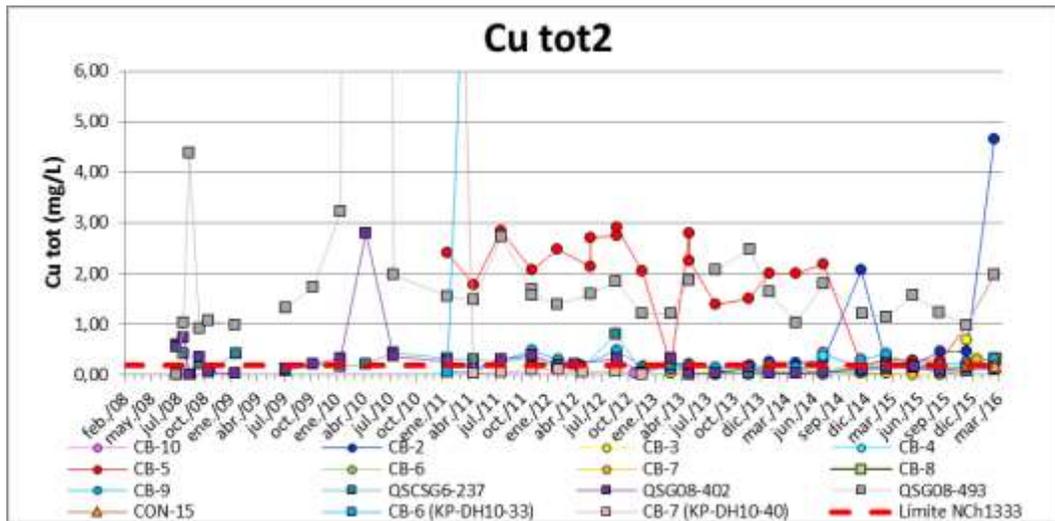
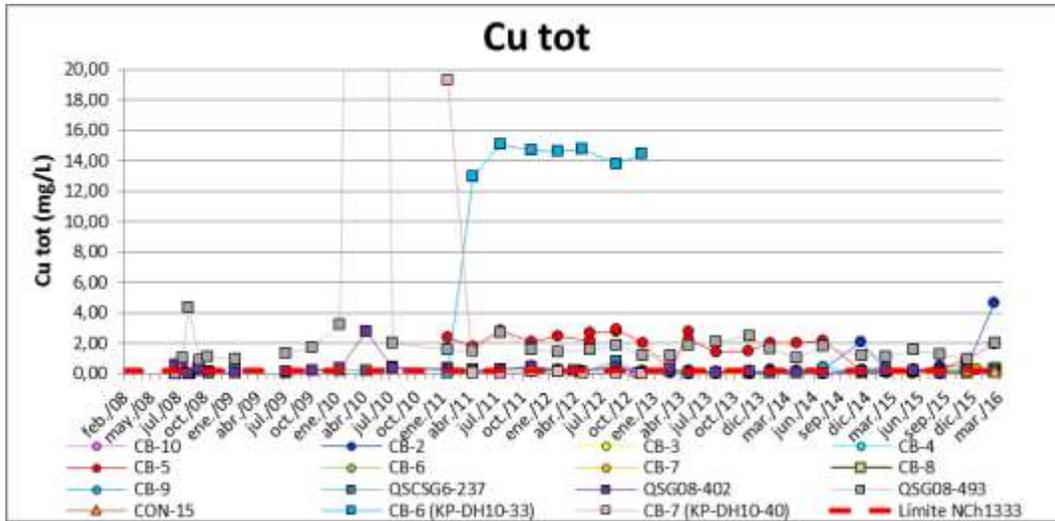


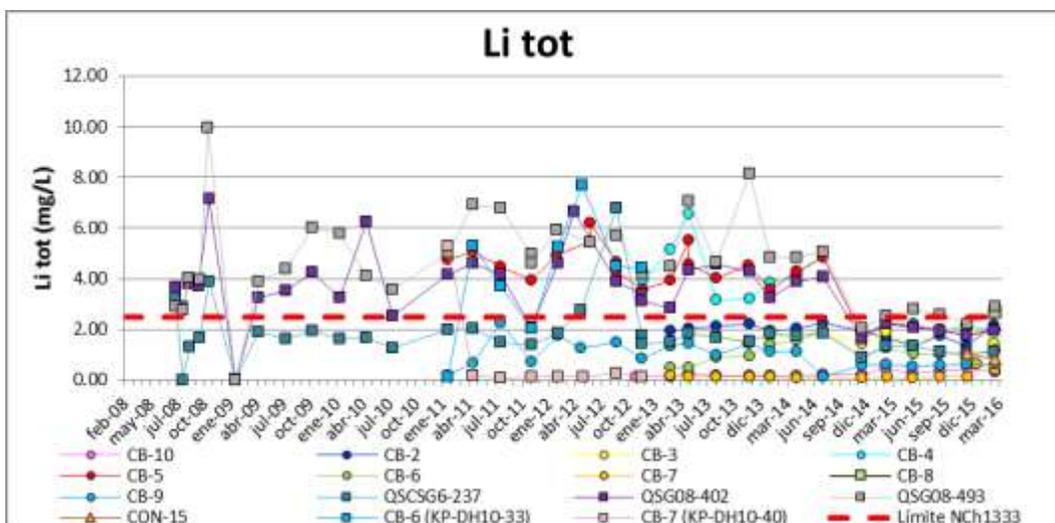
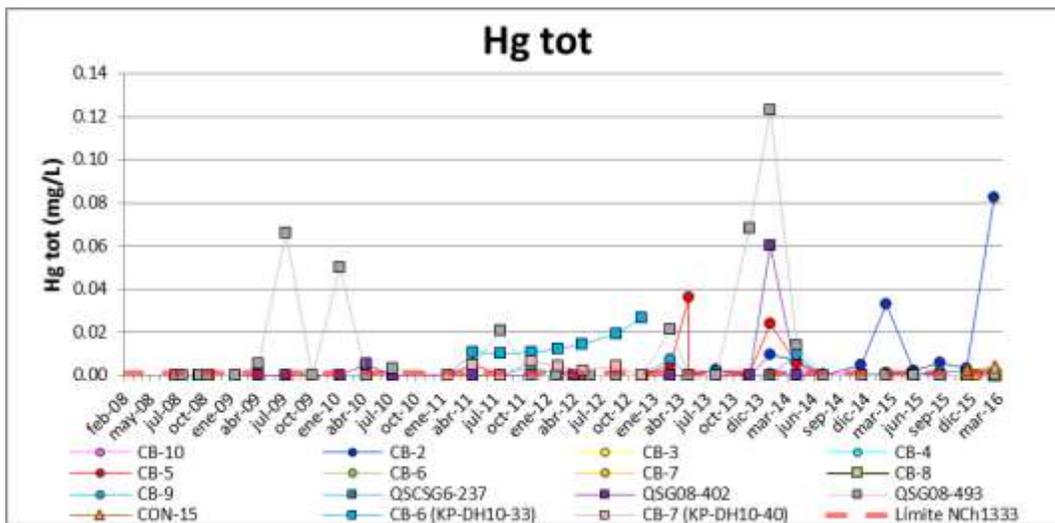
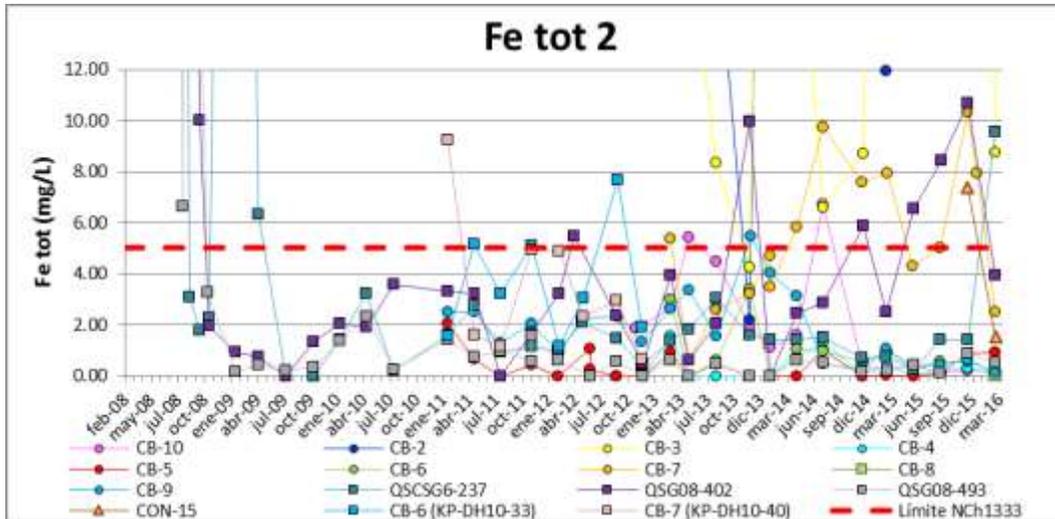


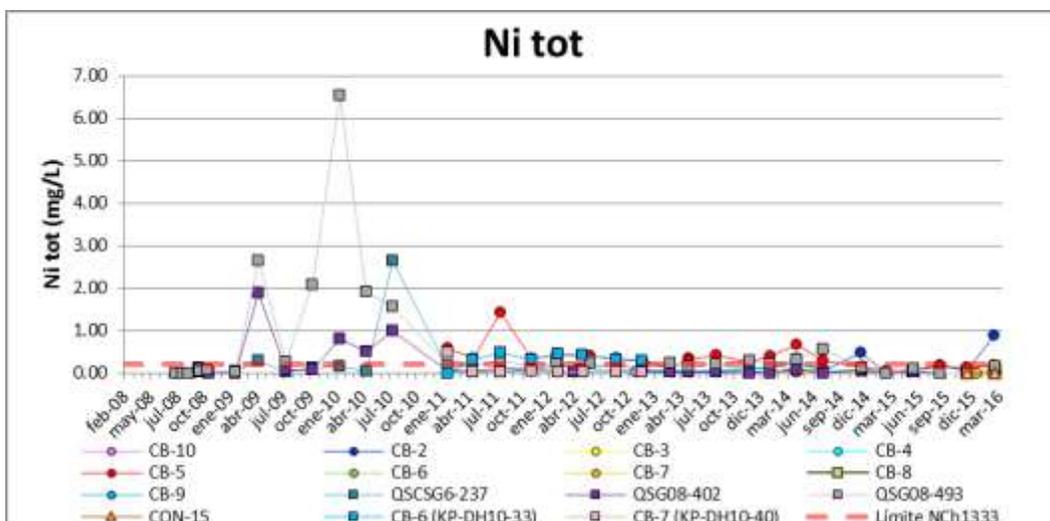
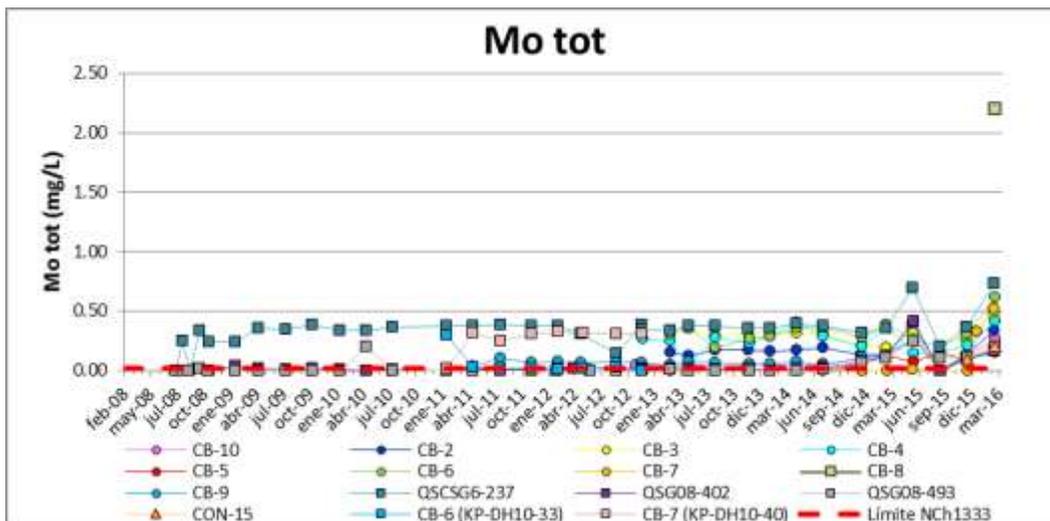
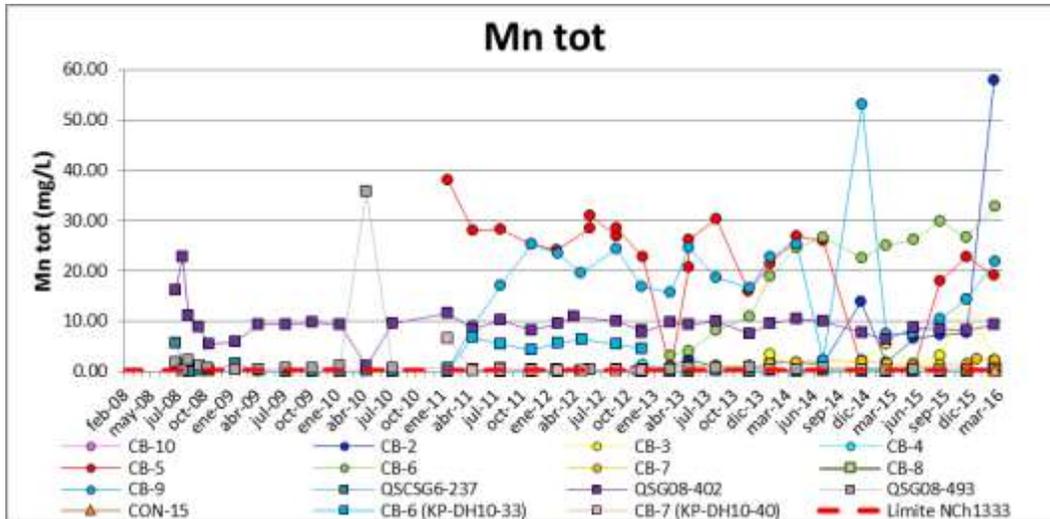


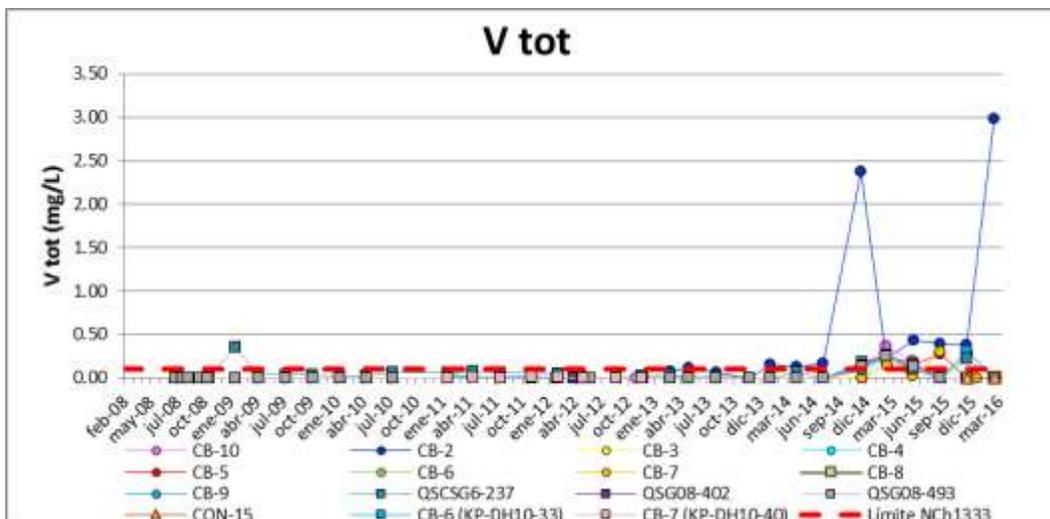
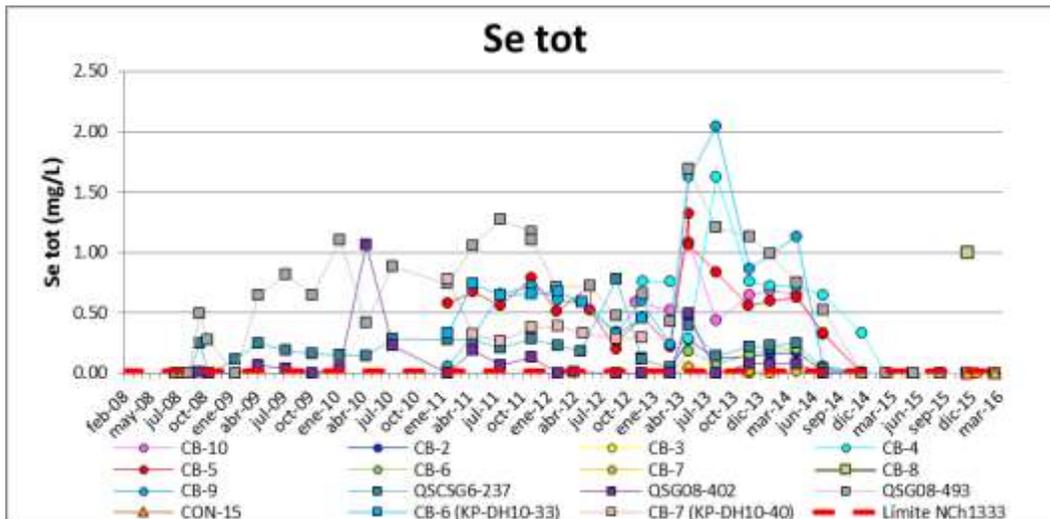
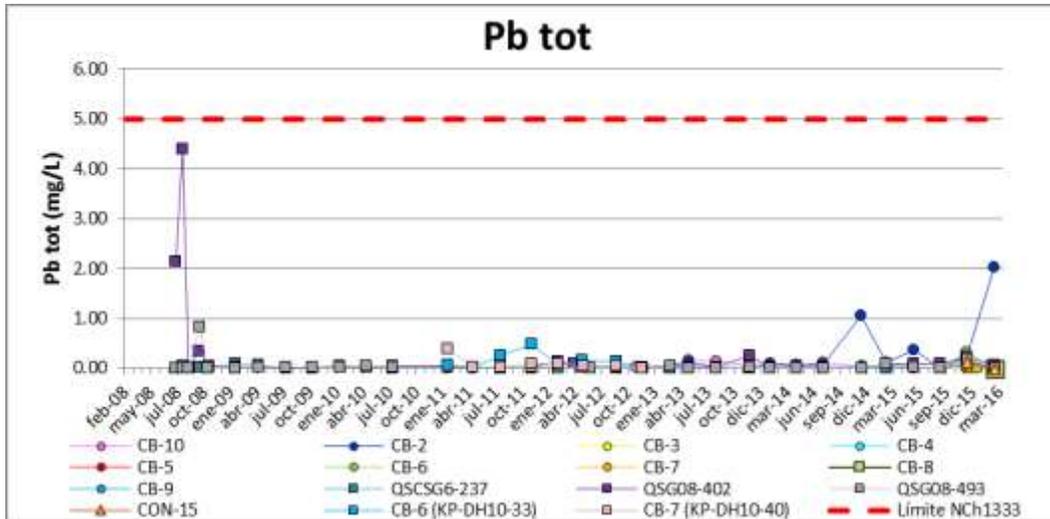


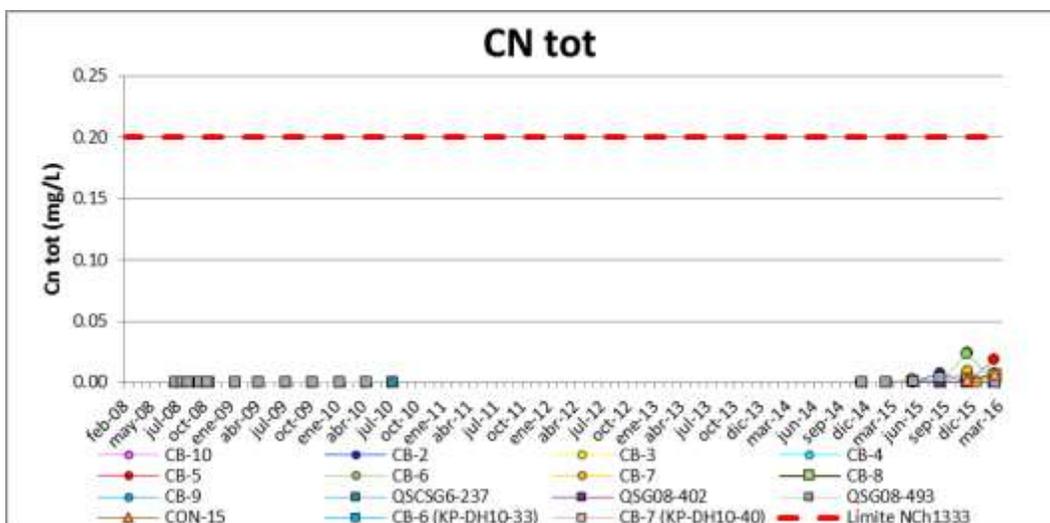
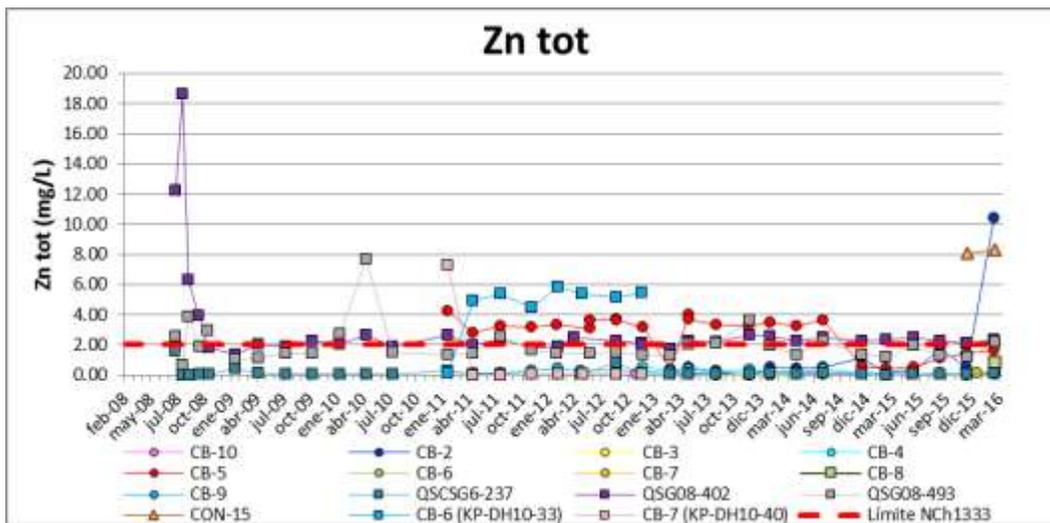
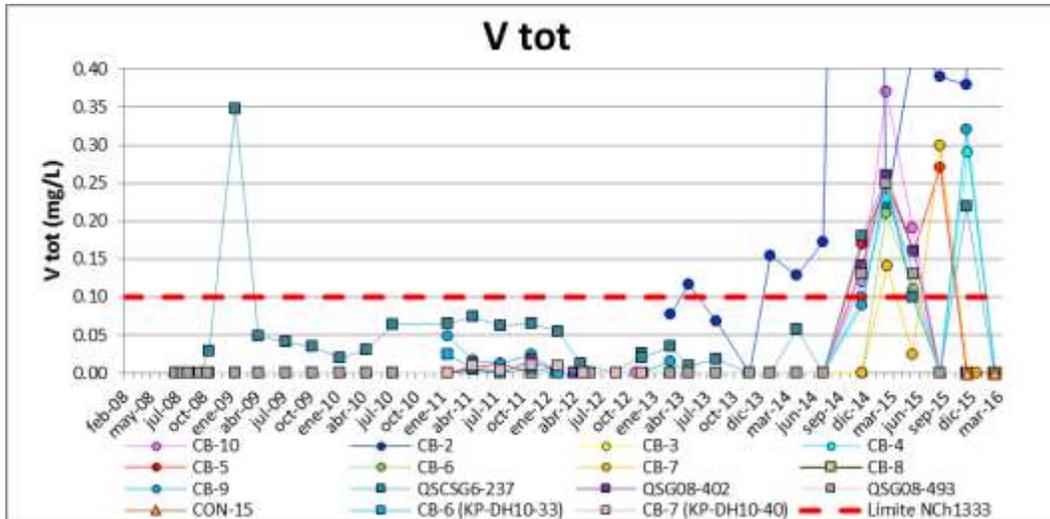


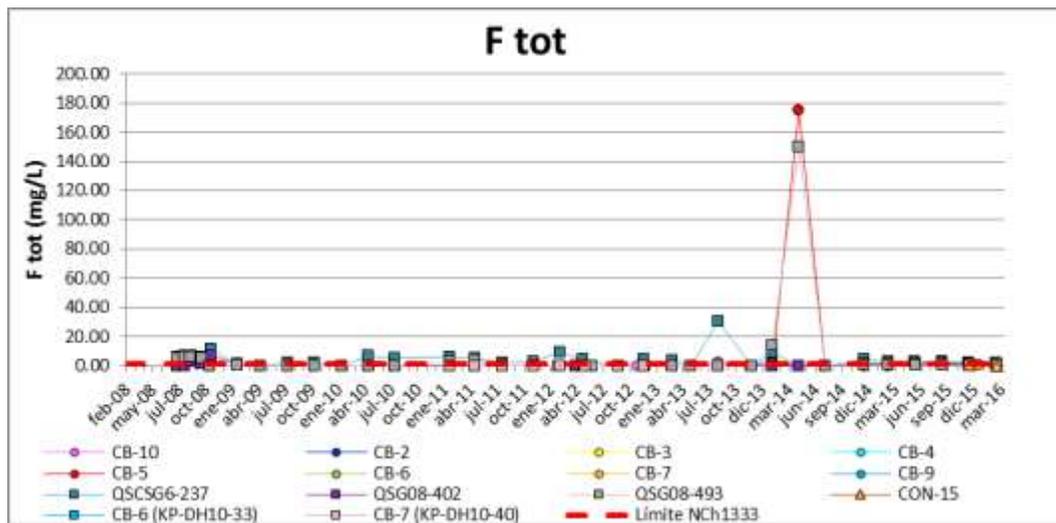
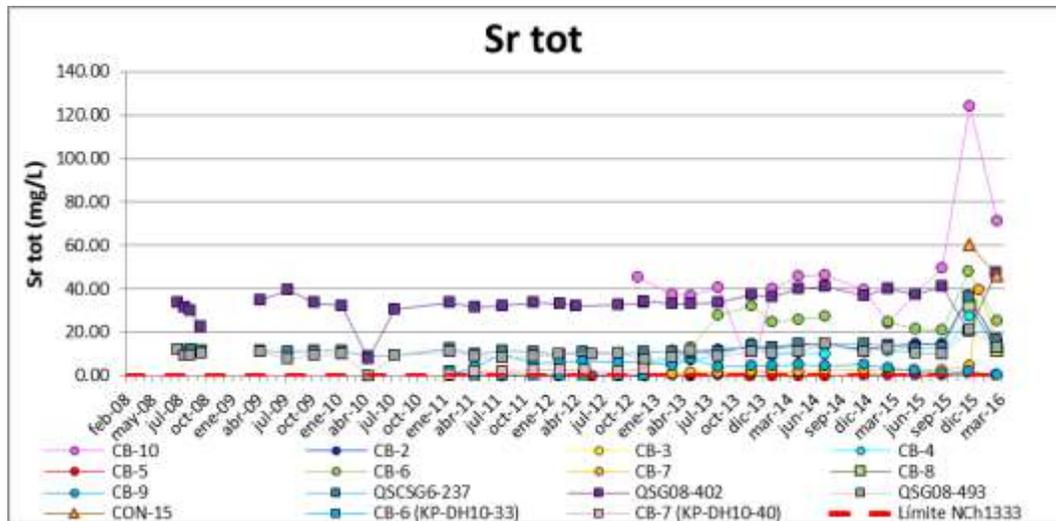












Fuente: elaboración propia.

## 6 DISCUSIONES

### 6.1 Evolución niveles piezométricos

Durante el primer trimestre de 2016 se observa que los niveles piezométricos monitoreados de la mayor parte de los pozos se han mantenido dentro de las tendencias históricas observadas, mientras que otro grupo de pozos (CB-7, CB-8, CB-9, CB-12 y QSG08-402) muestran comportamientos distintos a la tendencia histórica, lo que se aborda más adelante.

Para la interpretación del comportamiento de niveles y de los cambios que han ocurrido en las tendencias, es importante considerar que el mes de agosto de 2014 fue la última vez que las muestras para el monitoreo químico se obtuvieron a través de purga por medio de una bomba sumergible en los pozos QSG08-402, CB-4, CB-6, CB-7, CB-9 y CB-10. Posterior a eso, las muestras se han obtenido a través de *bailers*, con el objetivo de no alterar las mediciones de nivel del acuífero. Además, es importante el hecho de que en todos los pozos CB se usó agua para la instalación de los empaques de grava, arena y bentonita (SWS, 2012). A continuación se presenta por pozo, un resumen del comportamiento histórico de los niveles, y en detalle el comportamiento observado en el primer trimestre de 2016.

El pozo CB-2 presenta un comportamiento inicial atribuible a la etapa de perforación y limpieza la cual fue realizada con inyección de agua (SWS, 2012). Los niveles iniciales fueron de hasta 1,7 m más superficiales que la tendencia histórica posterior. Entre abril de 2013 y agosto 2014 el nivel se estabiliza con una oscilación máxima de 0,5 m. A partir de septiembre de 2014 se observa una tendencia descendente hasta la fecha, con un descenso de 0,17 m en el primer trimestre de 2016, lo que se atribuye al efecto del bombeo desde pozos de terceros en Pampa Lina.

El pozo CB-3 muestra una tendencia levemente a la baja, durante todo su registro histórico, con un descenso acumulado de 20 cm desde el año 2012 a la fecha, lo que corresponde a una tasa de descenso de aproximada de 5 mm por mes. Durante el último trimestre el pozo se ha mantenido estable con una baja de 2 cm. El pozo CB-3 se encuentra aguas abajo de los pozos de Compañía Minera El Bronce, en el sector de Pampa Lina, y más cercano a la ubicación del rajo Catabela que estos últimos. La leve tendencia descendente en su nivel se aprecia desde antes de la construcción del rajo y por lo tanto corresponde a una respuesta natural del acuífero. De esto último y sumado a la estabilización en el nivel del último trimestre se descartan efectos de la operación de SGSCM sobre el nivel de estos pozos de terceros.

Los pozos CB-4, CB-5 y QSG08-423 presentan una clara estabilización durante todo el periodo de registros de niveles, lo que se mantiene durante el último trimestre. El pozo CB-4 se ubica a ~380 m del pozo SQM3 (Loreto3) en dirección suroeste de este último, es decir más cercano al rajo. Por lo tanto, la estabilidad del nivel en el pozo CB-4 refleja que a la fecha no existen descensos en este sector del acuífero debido al rajo Catabela, lo que es consistente con la evaluación de impacto.

Debido al avance de la operación minera el pozo QSG08-423 fue medido por última vez el mes de junio de 2015. En su reemplazo SGSCM ha comenzado a reportar el nivel del pozo QSG08-493, ubicado a 1,3 km al NNE del pozo QSG08-423, como se aprecia en la Figura 4-5. Este pozo cuenta con un registro amplio (julio 2008 – marzo 2016) y se había reportado con anterioridad a la autoridad hasta el primer trimestre del 2013. El nivel en el pozo QSG08-493 se muestra estable la mayor parte del registro, con descensos abruptos algunos meses, lo que estaría relacionado a la purga realizada previa a la obtención de muestras de calidad química. Posterior a estos descensos el nivel tiende a recuperarse lentamente mostrando nuevamente períodos de estabilización. Durante todo el año 2015 el nivel no varió más de 3 cm, lo que es propio del error en la medición, reflejando la estabilización de niveles del acuífero, sin el efecto del bombeo para la obtención de muestras para calidad química. En el primer trimestre de 2016 se observa esta estabilización con un ascenso de 1 cm.

El pozo CB-6 presentó grandes variaciones al comienzo de su registro, las cuales se atribuyen a la estabilización del nivel piezométrico posterior a la etapa de perforación. A partir de septiembre de 2014 los niveles se estabilizan, lo que se mantiene hasta la fecha. Durante el primer trimestre de 2016, el nivel del pozo continúa estable, con un ascenso acumulado de 7 cm.

El pozo CB-7 presenta un evidente descenso durante todo el registro histórico, el cual tiene un comportamiento escalonado constante desde junio de 2013 a diciembre de 2015, con un descenso de 36,79 m, lo que es coincidente con los momentos en que el pozo se purgaba para obtener muestras de agua para el monitoreo de calidad. Una vez adoptada la metodología de muestreo por medio de *bailers* (octubre de 2014), aún se siguen observando descensos coincidentes con la obtención de muestras, aunque de menor magnitud. La situación de este pozo evidencia que no hay aportes de agua desde el acuífero, y que el agua presente correspondería a agua estancada, remanente de la perforación del pozo. Sin embargo, en enero de 2016 se registró un ascenso notorio de su nivel. Al finalizar el primer trimestre de 2016, el pozo acumula un ascenso de 72,52 m; lo que se atribuye a aportes de agua desde el depósito de relaves. Es importante recordar, como se ha indicado en informes previos (Arcadis, 2016), que el pozo CB-7 no llega al acuífero y por tanto las aguas dentro de él provienen de la zona no saturada.

Cabe mencionar, que se instaló un transductor en CB-7 para monitorear continuamente el nivel del pozo. Los datos del transductor arrojan una curva con una tasa de infiltración muy alta hasta el 13 de enero de 2016 para luego cambiar a una tasa de infiltración mucho más baja.

El pozo CB-8 estuvo seco durante todo su registro histórico. Sin embargo, en la última campaña de terreno del 2015, se obtuvo una medida de un nivel de agua de 11,73 m de profundidad. Este nivel no representa un aumento generalizado en el acuífero, tal como lo evidencia el pozo CON-15, sino una entrada puntual de agua en el pozo desde la zona no saturada. Las mediciones del primer trimestre de 2016 evidencian un aumento de 3,17 m, lo que indicaría una continua infiltración de agua desde la zona no saturada, a una tasa menor a lo registrado en diciembre de 2015.

El pozo CB-9 presenta un comportamiento estable en el nivel la mayor parte de su registro, tendencia que cambia debido a un ascenso acumulado de 7,2 m, desde noviembre de 2014 hasta septiembre de 2015. El ascenso durante el primer trimestre de 2016 fue de 4,01 m, levemente mayor al último trimestre reportado (3,93 m).

El pozo CB-10 presenta una tendencia ascendente constante, con un aumento aproximado de 2,8 m desde junio de 2008 hasta la fecha, lo que equivale a una tasa de 7,4 cm por mes. Si bien en las mediciones del segundo trimestre de 2015 pareció estabilizarse, las mediciones del tercer trimestre de 2015 arrojaron un aumento acumulado de 16 cm. En el primer trimestre de 2016 tuvo un aumento de nivel de 10 cm, lo que se condice con la tendencia histórica. No son claras las razones del comportamiento de este pozo, pero dado que fue desarrollado posterior a su perforación (SWS, 2012), es posible que esté recuperando su nivel freático muy lento debido a la baja conductividad hidráulica del medio.

El pozo CB-12 se encontraba seco desde su construcción y durante todo su registro histórico hasta marzo de 2015. El pozo ha presentado nivel desde abril a diciembre de 2015, con un ascenso acumulado de 60 cm y una tasa promedio de 8 cm por mes. En las últimas mediciones correspondientes al primer trimestre de 2016, se midió un ascenso acumulado de 22 cm. Preliminarmente se había postulado que este fenómeno estaría asociado al evento de precipitaciones de marzo, y que la tasa de recarga estaría dominada por la baja permeabilidad del medio. Sin embargo, la tasa constante de ascenso durante 12 meses genera incertidumbre sobre las causas del aumento del nivel. El pozo CB-12 se ubica cercano a los pozos de Transportes Antofagasta y su objeto es verificar el nivel del acuífero cercano a estos pozos de terceros. A la fecha y debido a la tendencia ascendente en el nivel del pozo CB-12 se descartan descensos productos de la operación de Sierra Gorda en los pozos de Transportes Antofagasta.

En el sondaje QSG08-402 la tendencia entre octubre de 2008 y noviembre de 2014 fue de ascenso, con un aumento acumulado de su nivel de casi 3 m, y con oscilaciones atribuibles al efecto del bombeo para la obtención de las muestras. Desde que cambió la metodología del muestreo químico (octubre de 2014) se aprecia una estabilización en el nivel y una tendencia constante hasta julio de 2015. Luego, se ha observado un descenso de 21 cm en el nivel entre los meses de agosto y noviembre de 2015. En la medición de diciembre de 2015 se observó un aumento de 18 cm en el nivel, y el pozo volvió a tener valores similares al que venía mostrando el año 2015. Por otra parte, en el primer trimestre de 2016 se aprecia un ascenso abrupto en la medición de enero, y acumulando un ascenso de 2,88 m en el trimestre. Lo anterior puede deberse a un derrumbe al interior del sondaje, por lo tanto es necesario corroborar el estado de este.

En el pozo QSG08-431 el nivel se ha mantenido con una tendencia levemente descendente, de 2,8 mm por mes, desde el inicio del monitoreo en octubre de 2008, hasta la fecha, con un descenso total de 26 cm. Durante este último trimestre se observa una tendencia estable, donde el nivel del mes de marzo de 2016 es igual al medido en diciembre de 2015.

## 6.2 Evolución hidroquímica

A continuación se hace una revisión de los parámetros incluidos en la norma NCh 1.333 y la evolución histórica de estos en los pozos de monitoreo. Los resultados a los que se hace referencia se pueden encontrar en la Tabla 5-5 y Figura 5-2.

Los valores de pH de todos los pozos están dentro de los rangos admitidos por la norma (5,5 a 9) a excepción del pozo QSG08-493 que ha presentado históricamente valores por debajo de 5,5. Sin embargo, en los análisis de diciembre de 2015 y marzo de 2016, este pozo presentó pH levemente superior a 5,5, por lo tanto hay que seguir observando el comportamiento futuro para ver si esta tendencia se mantiene.

Los valores de sodio porcentual (Na%) están entre 40% (CON-15) y 95% (QSG08-493), excediendo los valores de la norma (35%) para todos los pozos, a excepción del pozo CB-9 el cual tiene un 30%. Esto se relaciona con la composición del agua, que es clorurada sódica para la mayor parte de los pozos, y también con su alta salinidad. El pozo CB-9 tiene una composición clorurada magnésica por lo que es consistente con menores valores de Na%. En la última campaña no se observan cambios en la composición.

Respecto a las concentraciones de SDT se registraron valores entre 16.674 (CB-2) y 75.744 mg/L (CB-5), para los pozos que muestran tendencias concordantes con lo registrado históricamente. Por otra parte, los pozos CB-7, CB-8 y CB-9 aumentaron su nivel y sus TDS durante el primer trimestre de 2016. Estos pozos arrojaron SDT entre 170.194 mg/L (CB-9) y 404.794 mg/L (CB-8). El rango establecido por la norma (500 mg/L) es superado en todos los pozos.

Respecto de los elementos mayores, las concentraciones de Cl y SO<sub>4</sub>, sobrepasan el límite de la norma en todos los pozos. Durante este último trimestre estos elementos han mantenido la tendencia observada previamente en la mayor parte de los pozos. Destacan en la presente campaña, los pozos CB-7 y CON-15 que presentaron un descenso en la concentración de sulfatos entre 1,8 y 5 veces la concentración reportada en diciembre de 2015. Por otra parte, el pozo CB-8 mostró un leve aumento en la concentración de sulfatos.

Si bien la norma no incluye el Ca, Mg y K, sus concentraciones obtenidas en marzo de 2016 siguen la tendencia, o se han mantenido dentro de los rangos de variación histórica en todos los pozos. Sin embargo, el pozo CB-8 sigue aumentando sus concentraciones de Ca, Mg, y K. Caso similar se observa en el CON-15 que presentó un aumento de Ca.

En su mayoría, los elementos menores (F, As, Cd, Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Mn y Zn) poseen concentraciones que se mantienen acordes a la tendencia histórica, existiendo algunas diferencias puntuales, pero que porcentualmente son poco significativas o dentro de los rangos de variación histórica. Existen casos particulares para algunos de los elementos y pozos que sobrepasan la normativa o que presentan patrones fuera de la tendencia, y se mencionan a continuación:

En el caso del aluminio, el Pozo CB-2 presentó en marzo de 2016 valores de 624,4 mg/l, lo que supera la norma. Se debe observar su comportamiento futuro para descartar un error analítico.

Para el arsénico (As), el Pozo CB-9 presenta concentraciones sobre la norma en todas las campañas de 2015. El pozo CB-4 presentó valores casi 30 veces sobre la norma en diciembre de 2015, pero en la presente campaña arrojó valores bajo la norma lo que indica posiblemente un error analítico. En la presente campaña solo el CB-2 arrojó valores sobre la norma con una concentración de 1,38 mg/L.

Las concentraciones de plata (Ag) han variado en toda la serie histórica y en todos los pozos. En el presente reporte trimestral, los pozos CB-7, CB-8 y CB-9 mostraron concentraciones sobre la norma. Es necesario destacar el pozo CB-8 que presenta concentraciones hasta 3 veces la norma.

En el caso del boro, todos los pozos superan la norma históricamente, en concentraciones entre 5 y 145 mg/L. La última medición no es la excepción. Además el CB-8 muestra concentraciones de aprox. 800 mg/L.

En el caso del cadmio (Cd), se observa que todos los pozos, a excepción de CB-10, CB-2 y CB-3 y QSCSG6-237, superan históricamente la norma. Además, si bien el pozo QSG08-402 ha presentado valores que exceden la norma, los últimos análisis están dentro del rango aceptado. El CB-8 presenta concentración de Cd de 4 mg/L.

Para el cromo (Cr), en 4 de los 12 pozos (QSCSG6-237, CB-2, CB-3 y CB-10) tienden históricamente a superar el límite de la norma, y la mayor concentración se encuentra en el pozo CB-2, el cual ha tenido una tendencia al alza en el 2015 y cuyo máximo se encuentra en el presente monitoreo con una concentración de 1,65 mg/L. Destaca el pozo CB-8 con una concentración de 1,74 mg/L.

Para el manganeso (Mn) se observa que las concentraciones superan continuamente la norma en todos los pozos, exceptuando el CB-10 y QSCSG6-237. El valor máximo histórico es del CB-6, pero en este trimestre se observa un aumento notorio del CB-2.

El molibdeno (Mo) supera la norma en todos los pozos monitoreados. Se observó en este trimestre un aumento del Mo con respecto al trimestre anterior (oct-dic 2015) en todos los pozos. Pozo CB-8 presenta la mayor concentración de Mo.

En el caso del estroncio (Sr), todos los pozos superan la norma. Se destacan los pozos QSG08-402, CB-10, CB-6 y CON-15 por tener históricamente las concentraciones más altas. Las concentraciones en el resto de los pozos se muestran acordes a los períodos anteriores.

En cuanto al flúor (F), 3 de los 12 pozos sobrepasan la norma y se observa una tendencia de baja de concentración F desde la medición del último trimestre de 2015. El valor máximo medido se encuentra en el pozo QSCSG6-237, lo cual es concordante con los valores históricos.

El pozo CB-9 ha presentado históricamente concentraciones relativamente altas de sulfatos, magnesio y, en menor medida cloruros. Además presenta las concentraciones históricas más altas en sólidos disueltos totales. Adicionalmente, muestra un ascenso en el nivel desde fines de 2014. El estudio isotópico (Arcadis, 2016) y las razones Ca/Mg (0,02) Na/Cl (0,58) molar y Ca/[HCO<sub>3</sub>+SO<sub>4</sub>] (0,01) no son concluyentes para afirmar que el ascenso de nivel se debe a infiltración desde la piscina de agua de mar.

Respecto al pozo CB-8, el cual presentó nivel por primera vez desde su construcción en el monitoreo de diciembre de 2015, es claro que su ascenso de nivel se debe a infiltraciones desde el tranque de relaves. El estudio isotópico (Arcadis, 2016) muestra que la signatura isotópica del CB-8 es similar a la muestra del tranque de relaves. Por otra parte, en la presente campaña se observó un aumento sustancial de las concentraciones de TDS, Na, K, Cl, HCO<sub>3</sub>, Mg y SO<sub>4</sub>. Adicionalmente, se analizaron elementos menores en esta campaña los cuales en la mayoría de los casos presentaron concentraciones por sobre lo registrado en el acuífero (e.j: As, Ag, B, Cd, Cr, Mo y Se). Lo anterior puede estar indicando una continua concentración de las aguas dentro del pozo CB-8. Por el contrario, el pozo CON-15 no evidenció un aumento en las concentraciones de su química (a excepción del Ca), lo que indicaría que, debido a la poca transmisividad del medio, la infiltración desde el depósito de relaves no ha alcanzado el acuífero.

De las tendencias estables en la química del agua mostradas en pozos de monitoreo cercanos a pozos de terceros (ejm. CB-3 y CB-4), se descartan efectos de la operación de Sierra Gorda sobre la calidad del agua del acuífero en estos sectores.

### 6.3 Medidas y Acciones adoptadas al monitoreo fuera de tendencia

Los pozos CB-7, CB-8 y CB-9 se destacan por poseer comportamientos fuera de tendencia durante las mediciones y análisis realizados durante el cuarto trimestre de 2015 y el primer trimestre de 2016. Las medidas adoptadas para estudiar estas variaciones fueron:

- Muestreo y análisis hidroquímico adicional de pozo CB-7 en enero de 2016 que se presentó en este informe junto a los datos de marzo de 2016.
- Análisis isotópico en pozos de la red de monitoreo, junto a fuentes de agua de procesos. El análisis fue entregado a la autoridad en el informe “Interpretación de Análisis Isotópico. Proyecto Sierra Gorda” (Arcadis, 2016)
- Medición de nivel y análisis hidroquímico adicional del pozo CON-15, el cual se ubica cercano al pozo CB-8, de forma de monitorear el efecto de filtraciones desde el depósito de relaves sobre el acuífero.
- Medición de nivel y análisis hidroquímico adicional del pozo KP-DH10-40, el cual se ubica cercano al pozo CB-7, de forma de monitorear el efecto de filtraciones desde el depósito de relaves sobre el acuífero.
- Monitoreo químico adicional de pozos de la zona no saturada en el entorno del depósito de relaves según solicitud de la Superintendencia de Medioambiente en Resolución exenta N°1, de Marzo de 2016.
- Plan de mejoramiento y optimización de red de monitoreo a través de una serie de trabajos específicos en distintos pozos.
- Actualización del modelo numérico incluyendo el depósito de relaves.

## 7 CONCLUSIONES

En términos generales, la frecuencia de muestreo, medición y análisis cumple con los objetivos del monitoreo de detectar variaciones de los niveles piezométricos y parámetros hidroquímicos en el tiempo. A continuación se presentan las conclusiones del informe de monitoreo correspondiente al primer trimestre de 2016.

En la mayoría de los casos, los niveles piezométricos medidos en el presente periodo han mantenido la tendencia que se venía registrando en los periodos anteriores. Los pozos de monitoreo CB-3, CB-4 y CB-12, ubicados en el sector de Pampa Lina y al sur de la localidad de Sierra Gorda, indican que el efecto del rajo Catabela no ha provocado descensos en el nivel de pozos de terceros, acorde a lo proyectado por el modelo numérico (SWS, 2011) en el EIA del proyecto.

Respecto a la calidad química del agua se observa, en la mayoría de los pozos, que durante el último trimestre las concentraciones de los principales iones se han mantenido dentro de los rangos históricos observados. Sin embargo, como se ha mencionado a lo largo del presente informe los pozos CB-7, CB-8 y CB-9 vienen reportando niveles ascendentes y aumento en su salinidades.

A partir de un estudio isotópico realizado por Arcadis (2016), se concluyó que los pozos CB-7 y CB-8 presentan aumento en su nivel debido a la infiltración de agua desde el depósito de relaves. En el caso del pozo CB-9, el estudio isotópico no fue concluyente. Los análisis químicos del CB-7 y CB-8

muestran una tendencia de aumento en TDS, Cl, Na, Mg, y algunos elementos traza entre otros, comparables con el agua del depósito. Sumado esto a que estos pozos no llegan al acuífero (Arcadis, 2016), las filtraciones desde el depósito de relaves estarían ingresando por la zona no saturada, posiblemente en los niveles superiores de material aluvial de mayor permeabilidad. Información de pozos cercanos que sí llegan al acuífero indican que estas filtraciones no han llegado a la zona saturada.

Se ha postulado como causa de aumento del nivel en CB-9, una posible infiltración desde la piscina de agua salada, sin embargo las características químicas (concentraciones de cloruros y calcio en rangos normales, y razón Ca/Mg cercana a cero), junto la signatura isotópicas, no son concluyentes de que la fuente sea agua de mar.

## 8 REFERENCIAS

Arcadis (2016). Interpretación de Análisis Isotópico. Proyecto Sierra Gorda.

Csuos, M. (1994). Environmental Sampling and Analysis for Technicians. Lewis Publishers, New York.

Schlumberger Water Services. (2011). Actualización Modelo Numérico. Adenda 3, EIA Sierra Gorda.

Schlumberger Water Services. (2012). Instalación de pozos de Monitoreo Proyecto Sierra Gorda.

U.S.G.S (2001). Geochemistry of Mercury and other Trace Elements in Fluvial Tailings Upstream of Daguerre Point Dam Yuba River, California, August 2001. Scientific Investigations Report 2004-5165. U.S Department of the Interior. U.S. Geological Survey

VAI Groundwater Solutions. (2014). Actualización Modelo Hidrogeológico, Proyecto Sierra Gorda.

## 9 ANEXOS

### 9.1 Trazabilidad de muestreo

Los medios de verificación que permiten realizar una trazabilidad de los resultados obtenidos en las actividades de muestreo, medición y análisis del proyecto, se presentan en el diagrama de flujos de la Figura 9-1.

**Figura 9-1: Diagrama de flujo de trazabilidad de resultados**



La siguiente tabla presenta el periodo de reporte de cada documento que acredita la trazabilidad de los resultados obtenidos para el proyecto.

**Tabla 9-1: Periodos de reporte de variables monitoreadas**

Documento	Periodo de reporte
Ficha de registro de nivel	Enero-2016
	Febrero-2016
	Marzo-2016
Ficha de registro de muestreo	Marzo-2016
Registro de parámetro in situ	Marzo-2016
Cadena de custodia	Marzo-2016
Informe de Laboratorio	Marzo-2016

Figura 9-2: Ficha registro de niveles. Enero a marzo de 2016

The figure consists of two tables, one for January 2016 (left) and one for February 2016 (right). Each table has 7 columns: Pozo, Fecha, Nivel, Nivel est., Nivel din., Parametro, Supervisor, and Notas. The tables list numerous monitoring wells with their respective measurements. Handwritten blue scribbles on the right side of each table represent the dynamic groundwater levels for various wells, showing fluctuations over time.

This table continues the groundwater level monitoring data for March 2016. It contains columns for Pozo, Fecha, Nivel, Nivel est., Nivel din., Parametro, Supervisor, and Notas. The table lists monitoring wells and their measurements for the month of March. Handwritten blue scribbles on the right side of the table represent the dynamic groundwater levels, showing fluctuations throughout the month.

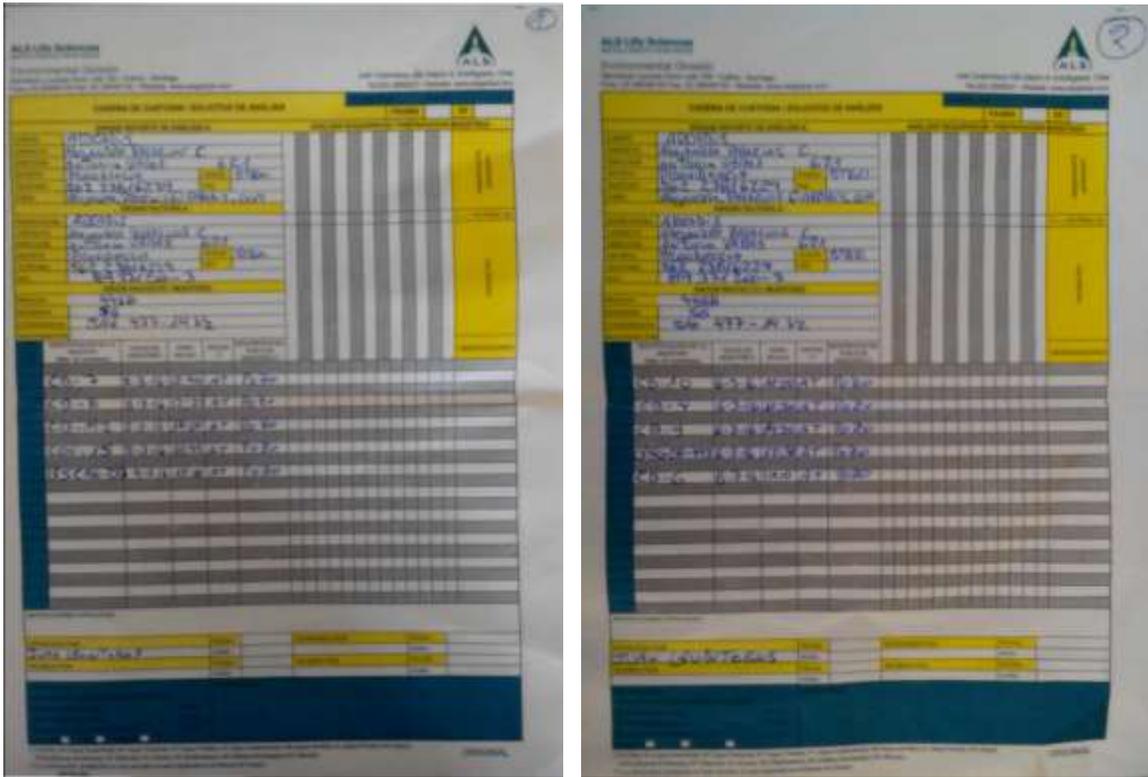
Figura 9-3: Ficha registro de muestreo y parámetros fisicoquímicos. Marzo 2016

					
Registro de Muestreo Sierra Gorda Marzo 2015					
Metodo utilizado: Bailer manual				Operador	Firma
Pozo	Fecha	Hora			
1	CB-2	04-03-2016	10:30		Juan Quinteros
2	CB-3	04-03-2016	12:50		Juan Quinteros
3	CB-4	06-03-2016	11:50		Juan Quinteros
4	CB-5	03-03-2016	16:20		Juan Quinteros
5	CB-6	08-03-2016	11:10		Juan Quinteros
6	CB-7	05-03-2016	13:40		Juan Quinteros
7	CB-8	05-03-2016	12:25		Juan Quinteros
8	CB-9	06-03-2016	14:30		Juan Quinteros
9	CB-10	06-03-2016	11:00		Juan Quinteros
10	CON-15	05-03-2016	11:45		Juan Quinteros
11	QSCSG 6-237	04-03-2016	15:00		Juan Quinteros
12	QSG08-402	04-03-2016	16:55		Juan Quinteros
13	QSG08-493	06-03-2016	12:30		Juan Quinteros

Figura 9-4: Registro de parámetros in situ. Marzo 2016

											
Registro de parametros In-Situ Sierra Gorda Marzo 2015											
Multiparametro HI9828 N° serie 08248603 (SGSCM)										Supervisor	Firma
Pozo	Fecha	Hora	temperatura (°C)	PH	conductividad (ms/cm)	TDS	ORP	Turbides visual			
1	CB-2	04-03-2016	10:30	22,18*	7,64	17,35	8,663	98	Turbia		Juan Quinteros
2	CB-3	04-03-2016	12:50	20,55*	7,53	45,28	22,64	153,7	Turbia		Juan Quinteros
3	CB-4	06-03-2016	11:50	23,27*	7,1	68,16	34,04	95,8	Clara		Juan Quinteros
4	CB-5	03-03-2016	16:20	24,19	7,02	78,17	39,13	142,7	Semi Clara		Juan Quinteros
5	CB-6	08-03-2016	11:10	24,06*	7,3	57,61	28,8	37,2	Clara		Juan Quinteros
6	CB-7	05-03-2016	13:40	24,46*	6,38	168	83,99	-10,9	Semi Clara		Juan Quinteros
7	CB-8	05-03-2016	12:25	24,01*	7,06	173,5	86,77	20,1	Semi Clara		Juan Quinteros
8	CB-9	06-03-2016	14:30	24,74*	7,16	88,01	44,01	176,2	Clara		Juan Quinteros
9	CB-10	06-03-2016	11:00	24,70*	7,36	52,43	26,22	43,2	Clara		Juan Quinteros
10	CON-15	05-03-2016	11:45	25,70*	6,54	64,46	32,23	39,1	Semi Clara		Juan Quinteros
11	QSCSG 6-237	04-03-2016	15:00	22,85*	7,8	33,97	16,99	155,3	Semi Clara		Juan Quinteros
12	QSG08-402	04-03-2016	16:55	24,61*	6,64	61,19	30,59	105,2	Semi clara		Juan Quinteros
13	QSG08-493	06-03-2016	12:30	23,81*	5,21	79,67	39,83	251,9	Semi clara amarillenta		Juan Quinteros

Figura 9-5: Cadena de custodia. Marzo 2016



## 9.2 Acreditación equipo de trabajo

Los profesionales Arcadis responsables del muestreo y medición en terreno, cuentan con las competencias adecuadas para realizar el trabajo desarrollado. Además se cuenta con un staff de profesionales de gabinete que coordina técnica y administrativamente el cumplimiento de los objetivos del proyecto, siendo éstos el administrador de contrato, el consultor senior, el hidrogeólogo especialista y el hidrogeólogo del proyecto. A continuación se presenta una tabla que indica sus roles y competencias.

**Tabla 9-2: Experiencia de equipo de trabajo**

<b>N°</b>	<b>Nombre de Profesional</b>	<b>Profesión/Ocupación</b>	<b>Cargo/Función</b>	<b>Años experiencia</b>
1	Cristian Ortiz	In. agrónomo	Consultor Senior	17
2	Alejandra Palacios	Ing. civil en biotecnología	Administrador de contrato	9
3	Luciano Achurra	Geólogo	Hidrogeólogo especialista	12
4	Pablo Ortega	Geólogo	Hidrogeólogo	2
5	Juan Quinteros	Supervisor de terreno	Coordinador y supervisor de Terreno	20
6	Jose Vargas	Supervisor de terreno	Supervisor de terreno	22

### 9.3 Calibración de Equipos utilizados

La verificación del estado del multiparámetro y su calibración se realizó antes de comenzar la campaña de terreno correspondiente al muestreo químico. La Figura 9-6 presenta la calibración realizada.

**Figura 9-6: Calibración multiparámetro, marzo de 2016**

Información de sonda: Numero de serie: 599387
Temperatura 30/06/2012 13:06:53 Calibracion de fabrica
pH 03/03/2016 15:10:17 Offset -2.2 mV SlopeA: 59.1 mV/pH SlopeB: 55.7 mV/pH Buffer: 7.01 - 4.01 - 10.01 (H) 01/01/2008 18:48:57 Offset -2.5 mV SlopeA: 58.1 mV/pH SlopeB: 56.9 mV/pH Buffer: 7.01 - 4.01 - 10.01 (H) 01/09/2015 11:55:38 Offset -6.3 mV SlopeA: 58.8 mV/pH SlopeB: 55.9 mV/pH Buffer: 7.01 - 4.01 - 10.01 (H) 01/06/2015 13:56:30 Offset -5.0 mV SlopeA: 58.5 mV/pH SlopeB: 57.1 mV/pH Buffer: 7.01 - 4.01 - 10.01 (H) 01/06/2015 13:52:46 Offset 0.0 mV SlopeA: 57.5 mV/pH SlopeB: 57.5 mV/pH Cal. anteriores borradas
ORP 03/03/2016 15:16:31 Punto: 240.0 mV 01/01/2008 18:56:59 Punto: 240.0 mV 01/09/2015 12:03:09 Punto: 240.0 mV 01/06/2015 14:07:19 Punto: 240.0 mV 02/03/2015 12:54:57 Punto: 240.0 mV
Conductividad 03/03/2016 15:12:00 Punto: 12.88 mS/cm Celda: 4.414 Conductividad (H) 01/01/2008 18:53:20 Punto: 12.88 mS/cm Celda: 4.718 Conductividad (H) 01/01/2008 18:51:05 Punto: 12.88 mS/cm Celda: 4.758 Conductividad (H) 01/09/2015 11:59:48 Punto: 1413 µS/cm Celda: 4.279 Conductividad (H) 01/06/2015 13:59:30 Punto: 1413 µS/cm Celda: 4.587 Conductividad (H)
Oxigeno Disuelto 01/01/2008 00:32:12 Punto1: 0 % Saturacion (H) 01/09/2015 12:06:33 Punto1: 0 % Saturacion (H) 01/06/2015 14:03:27 Punto1: 0 % Saturacion (H) 02/03/2015 12:59:26 Punto1: 100 % Saturacion (H) 10/12/2014 20:45:52 Punto1: 100 % Saturacion (H)
Presion atmosferica 24/02/2012 14:32:12 Calibracion de fabrica

**9.4 Acreditación de Laboratorio ALS**

El laboratorio ALS cuenta con acreditación INN (ver Figura 9-7), lo cual acredita que todos los procedimientos fueron desarrollados con la certificación y calibración de los equipos al día.

**Figura 9-7: Acreditación INN laboratorio ALS**

 <p>El Instituto Nacional de Normalización, INN, certifica que:</p> <p style="text-align: center;"><b>ALS LIFE SCIENCES CHILE S.A.</b> SEDE ANTOFAGASTA (Ex ALS ENVIRONMENTAL DE ALS PATAGONIA S.A.)</p> <p style="text-align: center;"><b>LABORATORIO DE AGUAS Y AIRE</b></p> <p style="text-align: center;">ubicado en Juan Gutenberg N°438, Galpón 9 y 10, Antofagasta</p> <p>há renovado su acreditación en el Sistema Nacional de Acreditación del INN, como</p> <p style="text-align: center;"><b>Laboratorio de ensayo</b> según NCh-ISO 17025.01:2005</p> <p>en el área Físico-química para aguas, con el alcance indicado en anexo.</p> <p><small>Primera acreditación: Desde el 15 de Noviembre de 2004</small></p> <p>Vigencia de la Acreditación: hasta el 15 de Noviembre de 2015</p> <p>Santiago de Chile, 1º de Junio de 2015</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">   <b>Eduardo Ceballos Osorio</b>  <small>Jefe de División Acreditación</small> </div> <div style="text-align: center;">   <b>Sergio Toro Galleguillos</b>  <small>Director Ejecutivo</small> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">   <b>ACREDITACIÓN LE 277</b> </div>	 <p>Señor Eduardo Niz F. Gerente General ALS Life Sciences Chile S.A. Hermanos Carrera Pinto #159, Parque Industrial Los Libertadores COLINA-SANTIAGO Correo electrónico: <a href="mailto:eduardo.niz@alsglobal.com">eduardo.niz@alsglobal.com</a>; <a href="mailto:laura.correa@alsglobal.com">laura.correa@alsglobal.com</a>; <a href="mailto:elizabeth.hernandez@alsglobal.com">elizabeth.hernandez@alsglobal.com</a></p> <p>Su Ref. Su Carta del Nuestra Ref. Santiago, 2015.10.08 4070-1268-15</p> <p>Asunto: Comunica aprobación de extensión de la vigencia (Certificados LE 277 y LE 279).</p> <p>De mi consideración:</p> <p>Tengo el agrado de informar a Ud., que el Comité de Acreditación, en su sesión del 28 de Septiembre de 2015, aprobó la extensión de la vigencia de acreditación para los Certificados LE 277 y LE 279 del Laboratorio de Aguas y Aire de ALS Life Sciences Chile S.A., sede Antofagasta, de acuerdo a convenio INN-SISS, en la norma NCh-ISO 17025.01:2005 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración"; para las áreas Físico-química para aguas y Química para aire, por un período de 6 meses a contar del 15 de Noviembre de 2015.</p> <p>Por lo anterior, enviamos a Ud. dos ejemplares del Anexo al Acta de Compromiso N° LE 277 y LE 279, para su firme, solicitando que sean remitidas al INN, dentro de 10 días hábiles, plazo que se cumple el 23 de Octubre de 2015.</p> <p>Sin otro particular, saluda atentamente a Ud.,</p> <p style="text-align: right;"><b>INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION</b></p> <div style="text-align: right;">   <b>Cristina Herrera M.</b>  <small>Jefe de División Acreditación ISI</small> </div> <p>XTO/eml. 2015.10.08</p> <p><small>OFICINAS GENERALES AV. LIBERTADORES BERNARDO O'HIGGINS 1481, TORRE SANTIAGO DOWNTOWN N°7, PISO 15 SANTIAGO, CHILE TEL: (56-2) 2448800 FAX: (56-2) 2441809 www.inn.cl F407-08-03 v07</small></p>
---	--

### 9.5 Equipo responsable

El staff de profesionales que participaron en las campañas de terreno y en el análisis de la información es el siguiente:

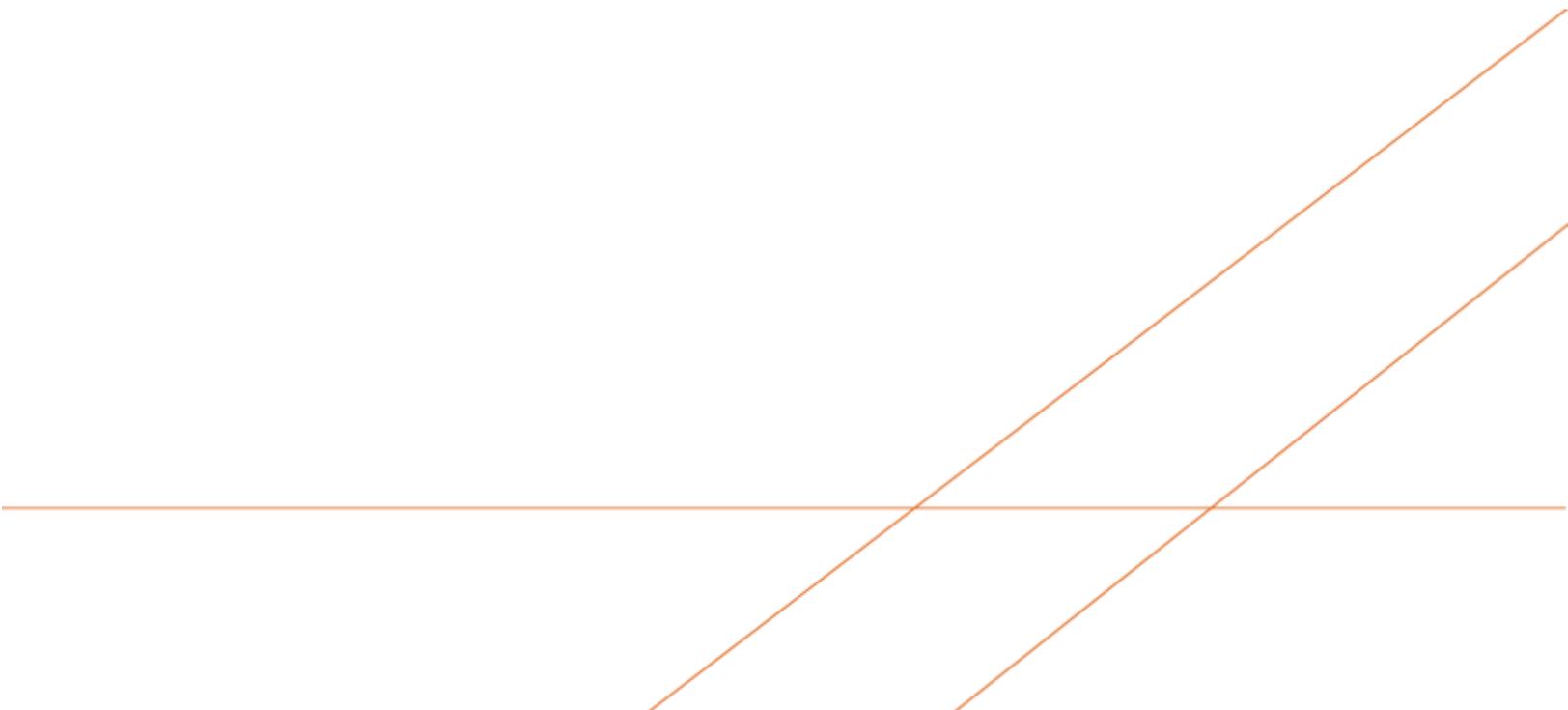
**Tabla 9-3: Profesionales responsables de monitoreo**

<b>N°</b>	<b>Nombre de Profesional</b>	<b>Profesión/Ocupación</b>	<b>Cargo/Función</b>
1	Cristian Ortiz	Ing. Agrónomo	Consultor senior
2	Alejandra Palacios	Ing. civil en biotecnología	Administrador de contrato
3	Luciano Achurra	Geólogo	Hidrogeólogo especialista
4	Pablo Ortega	Geólogo	Hidrogeólogo
5	Juan Quinteros	Supervisor de terreno	Coordinador y supervisor de Terreno
6	Jose Vargas	Supervisor de terreno	Supervisor de terreno

Arcadis

Av. Antonio Varas 621  
Providencia, Santiago  
T: +56 2 2381 6000

[arcadis.com](http://arcadis.com)





Superintendencia  
del Medio Ambiente  
Gobierno de Chile

## COMPROBANTE DE REMISIÓN DE ANTECEDENTES RESPECTO DE LAS CONDICIONES, COMPROMISOS Y MEDIDAS ESTABLECIDAS EN LAS RESOLUCIONES DE CALIFICACIÓN AMBIENTAL

La División de Fiscalización de la Superintendencia del Medio Ambiente informa a Ud. que se ha recibido mediante el Sistema de Seguimiento Ambiental la siguiente información:

<b>Proyecto:</b>	PROYECTO SIERRA GORDA		
<b>Titular:</b>	SIERRA GORDA S.C.M.		
<b>Resolución Exenta N°:</b>	126	<b>Organismo:</b>	
<b>Año:</b>	2011	<b>Región:</b>	II Región de Antofagasta
<b>Considerando:</b>	126 / 2011 - Proyecto Sierra Gorda	<b>Condiciones, compromisos o medidas de la RCA:</b>	Para verificar que los resultados de la modelación hidrogeológica, detallado en el Anexo 1-5.1 de la Adenda N° 3 del EIA o Extracto: Verificar que los resultados de la modelación hidrogeológica, detallado en el Anexo 1-5.1 de la Adenda N° 3 del EIA, evolucionen y se mantengan dentro de lo predicho, se implementará un plan de monitoreo que permita registrar a lo largo del tiempo los cambios que efectivamente ocurran en la dinámica del acuífero y en pozos de terceros.

<b>Tipo de informe:</b>	Seguimiento Ambiental
<b>Nombre del informe:</b>	Informe Monitoreo Aguas Subterráneas
<b>Los documentos recibidos:</b>	- 4468-1000-GH-INF-006_C_REV.pdf

<b>Frecuencia</b>	Trimestral
<b>Alcance del Informe de Seguimiento Ambiental</b>	<b>Agua</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Aguas subterráneas</li></ul>



Cod: 44968

Fecha: 16-04-2016 0:37:16



*El presente certificado únicamente da cuenta de la recepción de la información reportada en el Sistema de Seguimiento Ambiental, cuya integridad y veracidad es de exclusiva responsabilidad del titular del proyecto.*

Antofagasta, 15 de Abril 2016  
SG-HSE-041-16

Señor  
Norberto Portillo Araya  
Director Regional  
Dirección General de Aguas  
Región de Antofagasta  
Presente

**Mat.:** Informe de Monitoreo Pozos de Agua Subterránea en Proyecto Sierra Gorda  
**Ref.:** RCA 137/2011, Carta N° 0419/2012 del SEA.

De nuestra consideración:

De acuerdo al considerando 8.3.2 de la RCA137/11. **“Para verificar que los resultados de la modelación hidrogeológica, detallado en el Anexo 1-5.1 de la Adenda N° 3 del EIA, evolucionen y se mantengan dentro de lo predicho, se implementará un plan de monitoreo que permita registrar a lo largo del tiempo los cambios que efectivamente ocurran en la dinámica del acuífero y en pozos de terceros”.** Carta N° 0419/ Julio 2012 del SEA. **“Propone la entrega de los informes los primeros 15 días de cada trimestre”.** Se adjuntan informes de niveles de los meses Enero, Febrero y Marzo 2016. Como también el primer informe trimestral del 2016, de calidad de aguas subterráneas según NCh. 1333/87.

En caso de presentar dudas sobre lo enviado, no dude en hacérselas llegar.

Sin otro particular, se despide atentamente,



**Ana Zúñiga Sanzana**  
Gerente de Asuntos Corporativos y Sustentabilidad  
Sierra Gorda S.C.M.  
[Ana.Zuniga@sgscm.cl](mailto:Ana.Zuniga@sgscm.cl)

C.C.:  
- Dirección General de Aguas  
- Gerencia ACS  
- Superintendencia de Medio Ambiente SG  
- Archivo  
AZS/MGO/MAQ/CEE



20 ABR 2016  
Claudio Fredes Valdivia  
R.U.T.: 11.344.830 - K  
Oficial de Partes  
Dirección General de Aguas  
Región de Antofagasta



Superintendencia  
del Medio Ambiente  
Gobierno de Chile

## COMPROBANTE DE REMISIÓN DE ANTECEDENTES RESPECTO DE LAS CONDICIONES, COMPROMISOS Y MEDIDAS ESTABLECIDAS EN LAS RESOLUCIONES DE CALIFICACIÓN AMBIENTAL

La División de Fiscalización de la Superintendencia del Medio Ambiente informa a Ud. que se ha recibido mediante el Sistema de Seguimiento Ambiental la siguiente información:

<b>Proyecto:</b>	PROYECTO SIERRA GORDA		
<b>Titular:</b>	SIERRA GORDA S.C.M.		
<b>Resolución Exenta N°:</b>	126	<b>Organismo:</b>	
<b>Año:</b>	2011	<b>Región:</b>	II Región de Antofagasta
<b>Considerando:</b>	126 / 2011 - Proyecto Sierra Gorda	<b>Condiciones, compromisos o medidas de la RCA:</b>	Para verificar que los resultados de la modelación hidrogeológica, detallado en el Anexo 1-5.1 de la Adenda N° 3 del EIA o Extracto: Verificar que los resultados de la modelación hidrogeológica, detallado en el Anexo 1-5.1 de la Adenda N° 3 del EIA, evolucionen y se mantengan dentro de lo predicho, se implementará un plan de monitoreo que permita registrar a lo largo del tiempo los cambios que efectivamente ocurran en la dinámica del acuífero y en pozos de terceros.
<b>Tipo de informe:</b>	Seguimiento Ambiental		
<b>Nombre del informe:</b>	Informe Monitoreo Aguas Subterráneas		
<b>Los documentos recibidos:</b>	- 4468-1000-GH-INF-006_C_REV.pdf		
<b>Frecuencia</b>	Trimestral		
<b>Alcance del Informe de Seguimiento Ambiental</b>	<b>Agua</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aguas subterráneas</li> </ul>		



Cod: 44968



BASE DE DATOS QUÍMICA DE POZOS SIERRA GORDA SCM

Table with 18 columns (Pozo, Método, Fecha, pH, Cond, Temp, TDS, Alc HCO3, CE (uS), Na%, etc.) and 18 rows of data for pozo CB-10. Includes laboratory analysis results for various ions and trace elements.

Table with 18 columns (Pozo, Método, Fecha, pH, Cond, Temp, TDS, Alc HCO3, CE (uS), Na%, etc.) and 18 rows of data for pozo CB-2. Includes laboratory analysis results for various ions and trace elements.

Table with 18 columns (Pozo, Método, Fecha, pH, Cond, Temp, TDS, Alc HCO3, CE (uS), Na%, etc.) and 18 rows of data for pozo CB-3. Includes laboratory analysis results for various ions and trace elements.









	Pozo	Metodo	CON-15	
			Bailer	Bailer
	Prof		03-12-2015	06-03-2016
	pH		7.18	6.54
	Cond		191900.00	64460.00
	Temp		23.84	25.70
	TDS			
	Alc HCO3		85.80	90.30
	CE (uS)		71500.00	63100.00
	Na% <sup>+</sup>		43.00	40.00
	pH		6.78	6.83
	STD		70200.00	62744.00
	Cl		22868.90	29254.00
	F		0.80	0.51
	SO4		9550.00	1918.00
	N-NO3		1800.88	1654.52
	B		21.15	5.80
	Ca		3716.00	4658.00
	K		78.83	64.32
	Mg		3395.20	3379.60
	Ni		8072.10	8027.00
	Sr		60.25	45.93
	Ag		0.11	< 0.05
	Al		2.34	2.69
	AS		0.23	0.00
	Ba		3.20	< 0.10
	Be		< 0.05	< 0.05
	Cd		0.12	0.18
	Co		< 0.02	< 0.02
	Cr		0.08	< 0.05
	Cu		0.23	0.18
	Fe		7.39	1.53
	Hg		0.00	0.00
	IJ		1.04	0.83
	Mn		0.84	0.35
	Mo		0.10	0.20
	Ni		< 0.05	< 0.05
	Pb		0.13	< 0.03
	Se		< 0.0005	< 0.0005
	V		< 0.05	< 0.05
	Zn		8.09	8.32
	CN		0.00	0.01
	NO3		7972.50	7336.33
	HCO3		104.68	110.17
	Anions (meq/l)			
	Cl		-645.10	-825.22
	SO4		-198.83	-39.83
	HCO3		-1.72	-1.81
	NO3		-128.59	-118.17
	Cations (meq/L)			
	Na		351.11	349.15
	K		2.02	1.65
	Ca		185.43	232.44
	Mg		279.33	278.04
BI	PH		-8.72	-6.71