



VOLTA

# Estudio de contaminación y análisis de riesgo, planta Ecobio, región de Ñuble

INFORME DE EVALUACIÓN DE SUELOS Y AGUAS

Rev. 6

Marzo 2024

## Información del documento

Estudio	Estudio de contaminación y análisis de riesgo, planta Ecobio, región de Ñuble		
Mandante	Volta		
Código oferta	O2212	Código proyecto	P2302
Documento	Informe de evaluación de suelos y aguas	Versión	Rev6

## Control de cambios

	Revisión 0	Revisión 1	Revisión 2	Revisión 3	Revisión 4	Revisión 5	Revisión 6
Elaborado por	Francisca Mihovilovic Pablo Moya	Francisca Mihovilovic Pablo Moya	Francisca Mihovilovic Pablo Moya	Francisca Mihovilovic Pablo Moya	Francisca Mihovilovic Pablo Moya	Francisca Mihovilovic Pablo Moya	Francisca Mihovilovic Pablo Moya
Fecha	26-10-2023	16-11-2023	07-12-2023	04-01-2024	09-02-2024	19-02-2024	12-03-2024
Revisado por	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno
Fecha	26-10-2023	16-11-2023	08-12-2023	04-01-2024	09-02-2024	20-02-2024	12-03-2024
Aprobado por	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno
Fecha	30-10-2023	16-11-2023	08-12-2023	04-01-2024	09-02-2024	20-02-2024	21-03-2024



**Jorge Alcaíno**  
Cofundador y Gerente de Proyectos  
EnSoil

**EnSoil**

Av. Apoquindo 6410 Of 605  
Las Condes, Santiago  
+56 9 9733 4722  
[www.ensoil.cl](http://www.ensoil.cl)

## Contenido

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO DEL ESTUDIO</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>ANTECEDENTES GENERALES E HISTORIAL AMBIENTAL</b>	<b>7</b>
3.1	GEOLOGÍA Y SUELOS	8
3.2	HISTORIAL AMBIENTAL DEL SITIO	8
3.3	CONTEXTO AMBIENTAL	10
3.4	ESTRUCTURAS E INSTALACIONES RELEVANTES DEL SITIO EN ESTUDIO	12
3.5	INCIDENTES OCURRIDOS Y MEDIDAS TOMADAS	13
3.6	MUESTREO EXPLORATORIO EN ZANJAS	14
3.7	CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADO DE CITA	15
<b>4</b>	<b>MODELO CONCEPTUAL PRELIMINAR</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>MUESTREO Y ANÁLISIS</b>	<b>18</b>
5.1	METODOLOGÍA DE MUESTREO	18
5.1.1	Muestreo de suelos	18
5.1.2	Muestreo de aguas subterráneas	21
5.2	MUESTREO DE SUELOS	21
5.3	MUESTREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	29
5.4	ANÁLISIS DE LABORATORIO	30
5.4.1	Análisis de suelo	31
5.4.2	Análisis de agua en calicatas	33
5.4.3	Análisis de agua subterránea	33
5.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	34
5.5.1	Delimitación de impactos	34
5.5.2	Evaluación de potenciales riesgos	34
<b>6</b>	<b>RESULTADOS DEL MUESTREO</b>	<b>39</b>
6.1	RESULTADOS DE SUELOS EN CALICATAS	39
6.1.1	Metales y metaloides	39
6.1.2	Iones y nutrientes	41
6.1.3	Parámetros básicos	43
6.1.4	Compuestos orgánicos	45
6.1.5	Otros contaminantes	45
6.2	RESULTADOS DE AGUAS EN CALICATAS	45
6.3	RESULTADOS DE AGUAS EN POZOS DE MONITOREO	45
6.3.1	Metales y metaloides	46
6.3.2	Iones y nutrientes	47
6.3.3	Parámetros básicos	48
6.3.4	Otros parámetros	49
6.3.5	Compuestos orgánicos	49
6.3.6	Otros contaminantes	50
6.3.7	Análisis hidroquímico	50

7	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	53
7.1	RESULTADOS DE SUELOS .....	53
7.2	RESULTADOS DE AGUA SUBTERRÁNEA .....	56
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	57
9	BIBLIOGRAFÍA.....	60

## Tablas

Tabla 3-1	– Historial ambiental del sitio.....	8
Tabla 3-2	– Detalle de incidentes.....	13
Tabla 4-1	– Modelo conceptual de la potencial contaminación .....	17
Tabla 5-1	– Puntos de muestreo y respectivas muestras.....	22
Tabla 5-2	– Ubicación de puntos de muestreo .....	24
Tabla 5-3	– Características pozos de monitoreo.....	29
Tabla 5-4	– Mediciones in-situ en agua subterránea.....	29
Tabla 5-5	– Ubicación de pozos de monitoreo .....	29
Tabla 5-6	– Análisis en suelo según <i>suite</i> .....	31
Tabla 5-7	– Detalle de los análisis para muestras de calicatas .....	31
Tabla 5-8	– Detalle de los análisis para muestras de agua en calicatas .....	33
Tabla 5-9	– Análisis en agua subterránea .....	33
Tabla 5-10	– Concentraciones permisibles en suelo según normativa internacional .....	36
Tabla 6-1	– Resultados de metales en muestras de suelo .....	39
Tabla 6-2	– Resultados de iones y nutrientes en muestras de suelo .....	41
Tabla 6-3	– Resultados de parámetros básicos en muestras de suelo.....	43
Tabla 6-4	– Resultados de parámetros básicos en muestras de agua.....	45
Tabla 6-5	– Resultados de metales totales en muestras de agua subterránea.....	46
Tabla 6-6	– Resultados de metales disueltos en muestras de agua subterránea .....	46
Tabla 6-7	– Resultados de iones y nutrientes en muestras de agua subterránea.....	48
Tabla 6-8	– Resultados de parámetros básicos en muestras de agua subterránea .....	48
Tabla 6-9	– Resultados de otros parámetros en muestras de agua subterránea .....	49

## Figuras

Figura 1-1	– Sitio y Zonas 1, 2 y 3.....	6
Figura 3-1	– Áreas de Ecobío y límites del sitio.....	7
Figura 3-2	– Contexto del sitio .....	11
Figura 3-3	– Ubicación derechos de agua concedidos.....	11
Figura 3-4	– Plano de instalaciones relevantes de CITA.....	13
Figura 5-1	– Fotografía de perfil de suelo en calicata CC02 .....	19
Figura 5-2	– Ubicación de calicatas en Ecobio .....	26
Figura 5-3	– Ubicación de calicatas en Zona 1 .....	26
Figura 5-4	– Ubicación de calicatas en Zona 2 y cara este de CITA.....	27
Figura 5-5	– Ubicación de calicatas en Zona 3 .....	27
Figura 5-6	– Ubicación de calicatas en UAL y Hábitat .....	28
Figura 5-7	– Ubicación de calicatas en terreno 40 ha .....	28

Figura 5-8 – Ubicación de pozos monitoreados en Ecobio .....	30
Figura 6-1 – Diagrama de Schöller-Berkaloff para pozos monitoreados.....	51
Figura 6-2 – Diagrama de Piper para pozos monitoreados.....	52
Figura 7-1 – Resultados de conductividad eléctrica en suelos.....	54
Figura 7-2 – Resultados de cloruro en suelos .....	54
Figura 7-3 – Resultados de nitrato en suelos.....	55
Figura 8-1 – Recomendación de área a remediar en sector cara este macizo.....	58
Figura 8-2 – Recomendación de área a remediar en sector TK10 .....	58
Figura 8-3 – Recomendación de área a remediar en sector TK9 .....	59

## Anexos

- Anexo 1 – Informe de inspección estado de revestimiento TK10
- Anexo 2 – Informe de inspección estado de revestimiento Tranque
- Anexo 3 – Informes de laboratorio de análisis de suelos
- Anexo 4 – Informes de laboratorio de análisis de aguas en calicatas
- Anexo 5 – Informes de laboratorio de análisis de aguas subterráneas

## 1 Introducción

VOLTA ha contactado a EnSoil para realizar un estudio de contaminación y análisis de riesgo a raíz de requerimientos realizados por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) a Ecobio (parte de VOLTA) para su planta ubicada en Variante Cruz Parada, kilómetro 1,5. Fundo Las Cruces, comuna de Chillán Viejo región de Ñuble.

Los requerimientos de la SMA están indicados en el oficio Res. Ex N°1401, de fecha 19 de agosto 2022. Este oficio indica una serie de acciones, entre las que se encuentran:

- *Acción 2. Preparación de un plan de trabajo para la realización de una evaluación de riesgo identificando los sitios contaminados identificados como Zona 1, Zona 2 y Zona 3 (ver Figura 1-1).*
- *Acción 3. Actualización del informe técnico de contaminación de agua y suelo realizado por la consultora Hídrica.*



Figura 1-1 – Sitio y Zonas 1, 2 y 3

Fuente: Ecobio – Hídrica Consultores (2019)

Las acciones exigidas por la SMA guardan relación con filtraciones identificadas en el sitio por la entidad en conjunto con la Brigada Investigadora de Delitos Contra la Salud Pública y Medio Ambiente (Bridesma)<sup>1</sup>, y de efectos en el acuitardo postulados por Hídrica Consultores. De acuerdo al oficio de la SMA, las filtraciones tendrían aparentemente origen en las estructuras TK-10 y Piscina 1.

En respuesta a estos antecedentes, Volta contactó a EnSoil para el desarrollo de una propuesta de trabajo, la que fue definida en un plan de muestreo posterior a la revisión de datos existentes del Centro Integral de Tratamiento Ambiental (CITA).

<sup>1</sup> Anteriormente Bidema (Brigada Investigadora de Delitos contra el Medio Ambiente y Patrimonio Cultural)



En este marco, el presente documento consiste en el informe de evaluación de suelos y aguas a partir de la ejecución del plan de muestreo realizado, es decir, la Acción 3 mencionada anteriormente.

## 2 Objetivo del estudio

El objetivo de los trabajos es cumplir con los requerimientos indicados por la SMA en el oficio Res. Ex N°1401, a través de la realización de estudios ambientales que permitan caracterizar el potencial estado de contaminación de suelos y aguas en el sitio y los riesgos asociados (de existir).

En vista a los antecedentes revisados y en respuesta a reuniones con el cliente, se le dio mayor enfoque a la Zona 1 y Zona 2, sectores de mayor interés para la Autoridad.

## 3 Antecedentes generales e historial ambiental

El relleno sanitario Fundo Las Cruces operado por Ecobio, está ubicado en la Comuna de Chillan Viejo, y corresponde a un centro de tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU) y a CITA para la disposición de residuos industriales de carácter peligroso. Estas dos áreas se indican en la Figura 3-1.



Figura 3-1 – Áreas de Ecobio y límites del sitio

### 3.1 Geología y suelos

La geología y suelos se encuentra descrita en el EIA Proyecto CITA Ecobio S.A. (2001), de la cual se reproducen los aspectos fundamentales.

La geología del sitio está compuesta por rocas volcano-sedimentarias pertenecientes a la formación Mininco (Plioceno) que corresponde a una secuencia de areniscas tobáceas, limolitas y conglomerados con intercalaciones de arcillolitas y tobas. Notar que en el área del sitio estas rocas se han descrito usualmente como “tosca”, que se refiere a toba volcánica. Por consistencia con los estudios anteriores, se continuará utilizando este nombre.

Los suelos en el área de estudio son formados a partir de la “tosca” o toba volcánica, los que son generalmente medios a delgados en profundidad, dependientes onduladas, pardo-rojizos, de textura predominante limos y arcillas, con drenaje deficiente.

En todo el sitio es posible encontrar una capa de la tosca descrita anteriormente, comenzando de manera general entre los 10 cm y 4 m (o más) de profundidad, dependiendo del sector.

### 3.2 Historial ambiental del sitio

El área RSU del proyecto data del año 1999 y fue ambientalmente aprobada mediante la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N°337/99, mientras que CITA fue aprobada el año 2003 mediante RCA N°245/2003. Los hitos importantes en el desarrollo del sitio se pueden observar a través de los proyectos presentados a evaluación ambiental, los que son resumidos en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 – Historial ambiental del sitio

Proyecto	RCA/Res.	Descripción
<b>Relleno Sanitario Fundo Las Cruces</b>	RCA 337/1999	Considera la construcción, operación y cierre del Relleno Sanitario “Fundo las Cruces”, para recepcionar y disponer los residuos sólidos domiciliarios provenientes de 14 comunas de la provincia de Ñuble. El Proyecto además considera un sistema de recolección de gases a través de tubos horizontales y verticales y la recolección de lixiviados desde el relleno mediante zanjas y su posterior tratamiento en piscinas de estabilización (aireadas), dando cumplimiento a la NCH 1.333/78.
<b>Consulta de pertinencia de ingreso al SEIA de mejoras en tratamiento lixiviados RSU</b>	Res Ex N°80/2002	CONAMA Región Biobío resuelve que no es un cambio de consideración ambiental y aprueba el reemplazo de la planta de tratamiento fisicoquímico por una planta de osmosis inversa con una piscina de acumulación de lixiviados de 1.000 m <sup>3</sup> , algunas modificaciones para el tratamiento de aguas servidas, sustituir cobertura diaria de tierra por polietileno e instalación de piezómetros adicionales a los pozos de control.
<b>Centro Integral de Tratamiento Ambiental</b>	RCA 245/2003	Implementar un centro integral de tratamiento ambiental (CITA), de residuos industriales, mediante caracterización, tratamiento de estabilización e inertización y disposición



Proyecto	RCA/Res.	Descripción
Fundo las Cruces: C.I.T.A. Ecobio S.A.		final, en un depósito de seguridad. El centro de tratamiento consideró los siguientes procesos: Recepción, planta de clasificación, planta de trituración, planta de estabilización o inertización de residuos, planta de tratamiento de lixiviados y el depósito de seguridad.
Optimización Sistema de Tratamiento de Lixiviados y Riles CITA HERA Ecobio	193/2007	Complementar la actual Planta de osmosis de capacidad máxima de 20 m <sup>3</sup> /d con una planta de osmosis de 80 m <sup>3</sup> /d y optimizar el pretratamiento de los residuos líquidos industriales procedentes de la industria, así como también de los lixiviados generados en vaso de seguridad y procesos internos, con un tratamiento fisicoquímico.
Consulta sobre pertinencia de ingreso al SEIA de las modificaciones propuestas al sistema de tratamiento CITA	Res Ex N°362/2008	CONAMA Región Biobío confirma que no es un cambio de consideración ambiental y aprueba la implementación gradual de piscinas de líquidos (lixiviados, riles o aguas tratadas) con estanques prefabricados.
Consulta de pertinencia de ingreso al SEIA para tratamiento de lixiviados fuera de las instalaciones del RSU	Res Ex N°296/2009	CONAMA Región Biobío resuelve que no es un cambio de consideración ambiental y aprueba las alternativas propuestas por Ecobio para tratar lixiviados fuera de las instalaciones del RSU.
DIA "Transporte interregional de residuos industriales peligrosos y no peligrosos entre Arica y Puerto Montt"	RCA N°184/2010	El objetivo del proyecto contempló las actividades de transporte y descarga de residuos peligrosos y no peligrosos, desde las instalaciones de los generadores de residuos hasta el CITA.
Consulta de pertinencia que resuelve solicitud de interpretación de RCA 245/2003 del CITA	Res Ex N°105/2011	El SEA de la Región Biobío mediante señala que el proyecto de acuerdo con las capacidades técnicas establecidas en su RCA puede realizar el servicio de recepción, tratamiento y disposición final de residuos arsenicales y peligrosos provenientes de la región y otras regiones del país, en particular de actividades provenientes de fundiciones mineras.
DIA Sistema de Tratamiento Complementario de riles a través de evaporación	340/2017	Tiene por objetivo mantener en la operación normal el uso de celdas bifuncionales de forma de otorgar una holgura en la capacidad de almacenamiento de Riles y mantener la evaporación forzada como la alternativa de reducción de Riles en época estival.
Mejoramiento del sistema de monitoreo de las aguas subterráneas del relleno sanitario Fundo las Cruces y relleno CITA	74/2019	Mejorar la red existente de monitoreo de aguas subterráneas de RSU y CITA, considerando su crecimiento durante toda su vida útil y la dirección principal del flujo subterráneo, para detectar cambios de nivel y/o calidad de las aguas subterráneas durante la operación, así como la vigilancia durante 20 años después del cierre del CITA. Adicionalmente, considera mejorar el Plan de Cierre del

Proyecto	RCA/Res.	Descripción
		CITA incorporando el monitoreo del componente suelos, que permita permitan la restitución de la condición base del suelo del sector.
<b>Mejoramiento integral de la gestión de residuos Planta Ecobio</b>	118/2019	<p>Tiene por propósito la mejora integral del Relleno sanitario, tanto para sus operaciones de CITA y RSU. En particular:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de riles (lixiviados y riles externos) por un evaporador con compresión mecánica (MVR).</li> <li>• Aprovechamiento de la materia orgánica mediante digestión anaeróbica.</li> <li>• Captación y quema eficiente del biogás del RSU y de los biodigestores.</li> <li>• Implementación de un cultivo evapotranspirador.</li> </ul>

### 3.3 Contexto ambiental

Como fue mencionado anteriormente, el sitio se encuentra ubicado en Chillán Viejo, entre las localidades de Quilmo hacia el noreste y Lollinco hacia el suroeste. Se pueden notar terrenos rurales al norte, sur y oeste, además del estero Quilmo hacia el norte y el estero Cauquenes (de régimen estacional). Hacia el este y noroeste del Ecobio, existió el Ex Vertedero Quilmo – Chillán, perteneciente a ENASA, que ahora se encuentra inactivo.

Cabe notar que Ecobio además cuenta con un terreno anexo que se extiende hacia el norte desde su porción oeste (denominado “Terreno 40 Ha” por su área) y otro terreno hacia el oeste de CITA (denominado “Hábitat”), donde no se realizan actividades industriales. Lo anteriormente descrito se puede observar en la Figura 3-2.

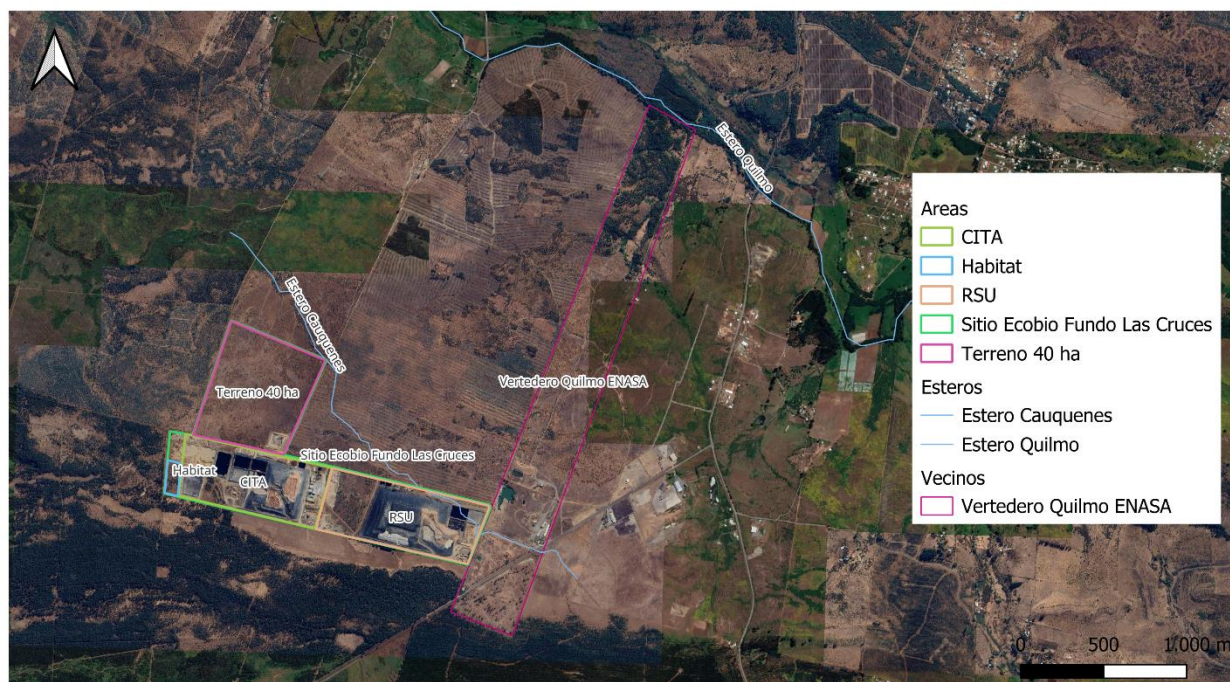


Figura 3-2 – Contexto del sitio

Adicionalmente, como se puede notar en la Figura 3-3, el pozo registrado en la DGA más cercano al sitio se encuentra hacia el noroeste (aguas abajo) a aproximadamente 575 m del límite del sitio. Este pozo está registrado como uso para riego.



Figura 3-3 – Ubicación derechos de agua concedidos



### 3.4 Estructuras e instalaciones relevantes del sitio en estudio

Como fue indicado anteriormente, la planta Ecobio se divide en dos áreas principales: RSU (relleno de Residuos Sólidos Urbanos) y CITA (Centro Integral de Tratamiento Ambiental, asociado a residuos industriales peligrosos y no peligrosos). La presente evaluación de suelos y aguas está enfocada en CITA, específicamente en 3 zonas definidas por la autoridad ambiental. Las estructuras dentro de CITA asociadas a estas 3 zonas y otras relevantes se presentan a continuación y su ubicación se presenta en la Figura 3-4.

- **TK9:** estanque que almacenaba ácido clorhídrico requerido para los procesos. Fue vaciado completamente en abril de 2023, según información proporcionada por Ecobio. Asociado a Zona 2.
- **Piscina 2:** piscina de almacenamiento de lixiviados al costado del TK9. Asociado a Zona 2.
- **Piscina 1:** piscina de almacenamiento de lixiviados al costado del TK10. Asociado a Zona 1.
- **TK10:** estanque que almacenaba lixiviados tratados. Fue vaciado completamente y reparado en octubre de 2023, según información proporcionada por Ecobio, y se realizó prueba y certificación de hermeticidad (Anexo 1). Asociado a Zona 1.
- **Piscina IV-1A:** piscina de almacenamiento de lixiviados, al oeste de macizo (en zona de expansión CITA). Asociado a Zona 1.
- **Canal norte:** antiguo canal al norte de CITA y RSU en dirección aproximada este-oeste, con sentido de flujo indefinido, donde antiguamente se descargaban lixiviados tratados, sin embargo, desde el año 2015 no se realiza descarga.
- **Macizo CITA:** depósito de seguridad en que se disponen los residuos. Posee zanjas de contención construidas luego de eventos de filtración en sus caras norte, sur (asociado a Zona 3) y este, desde donde se bombea periódicamente líquido lixiviado, evitando así su escurrimiento.
- **Tranque de almacenamiento de agua tratada:** tranque de una superficie de 10.000 m<sup>2</sup> ubicado al norte de CITA en terreno denominado “40 hectáreas”, donde se almacenarán efluentes provenientes del tratamiento de lixiviados por el proceso de evaporación por compresión mecánica, con calidad de agua de riego según NCh1333. Corresponde a una de las instalaciones descritas en la RCA 118/2019 (tranque de agua en el área “Cultivo evapotranspirador”). A la fecha se encuentra construido, impermeabilizado y certificado, según información indicada por Ecobio (Anexo 2).
- **UAL RSU y CITA:** Unidades de almacenamiento de lixiviados provenientes de RSU y CITA.

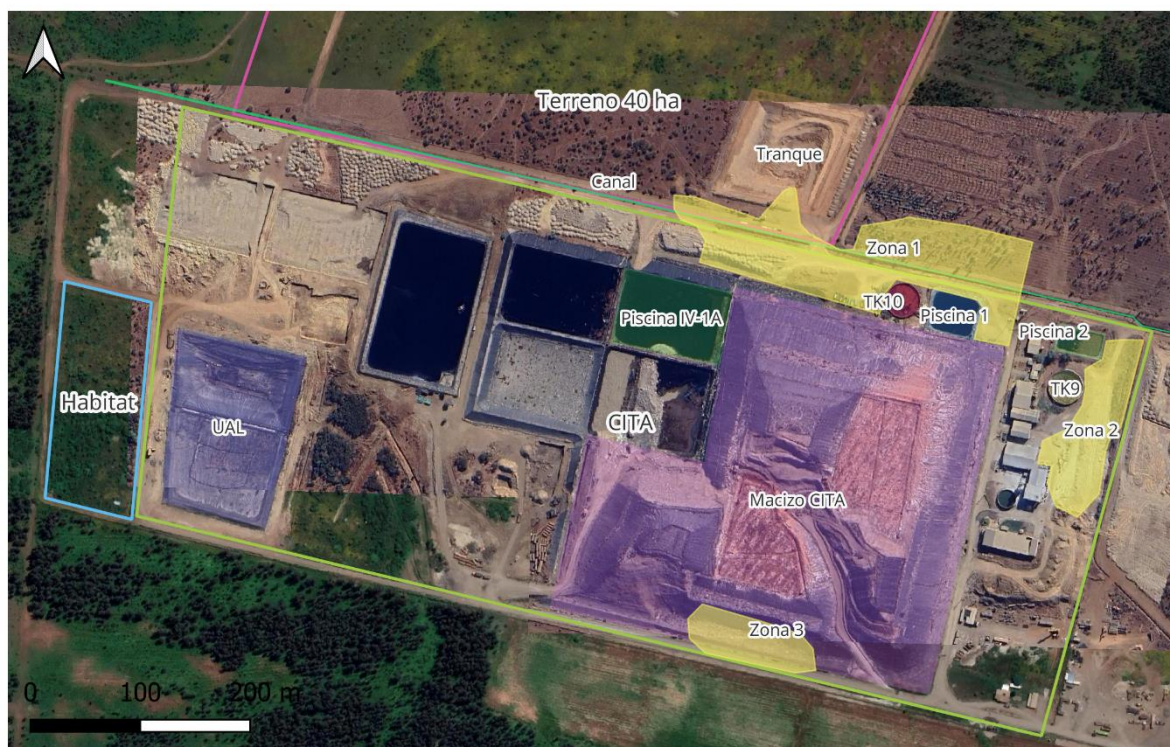


Figura 3-4 – Plano de instalaciones relevantes de CITA

### 3.5 Incidentes ocurridos y medidas tomadas

Durante los últimos años han ocurrido incidentes en CITA asociados a hallazgos de filtraciones de lixiviados desde algunas estructuras, los que han sido reportados oportunamente a la SMA, y se han tomado las medidas necesarias para controlarlas y evitar que vuelvan a ocurrir. Los incidentes ocurridos y las medidas tomadas, según lo informado por Volta, se presentan a continuación en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2 – Detalle de incidentes

Fecha	Tipo de incidente	Documento	Zona según SMA	Descripción de medidas tomadas
21/10/2021	Fuga de lixiviados desde UAL CITA	N° de reporte 8684 del 20/10/2021	-	La unidad fue vaciada y reparada.
16/05/2022	Fuga de lixiviados desde lado sur de macizo CITA	Acta de fiscalización SMA 16/05/2022	Zona 3	Construcción de zanja de contención (mayo 2022) en la cara sur del macizo CITA para contener eventuales escurrimientos de lixiviados y seguimiento a cámara de bombeo.
04/08/2022	Hallazgos de hidrocarburos en agua de canal al este de CITA (dirección sur-	Actas de fiscalización SMA 04/08/2022 y 05/08/2022	Zona 1 y Zona 2	Estanque TK9 fue vaciado completamente (abril 2023), en tanto, estanque TK10 fue vaciado y reparado (octubre 2023). Se realizaron pruebas

Fecha	Tipo de incidente	Documento	Zona según SMA	Descripción de medidas tomadas
	norte) y conductividades altas cerca de estanques TK9 y TK10, en el marco de una inspección de SMA y BRIDESMA			en TK10 que permitieron acreditar su hermeticidad (Anexo 1).
23/03/2023	Fuga de lixiviados desde estanque TK10	N° de reporte 1018074 del 23/03/2023	Zona 1	Estanque TK10 fue vaciado completamente y reparado (octubre 2023), realizando pruebas y acreditando su hermeticidad.
05/04/2023	Fuga de lixiviados desde lado este de macizo CITA	N° de reporte 1019576 del 05/04/2023	-	Construcción de zanja de contención (junio de 2023) en la cara este del macizo CITA para contener eventuales escurrimientos de lixiviados y seguimiento a cámara de bombeo.

### 3.6 Muestreo exploratorio en zanjas

Durante los días 14 y 15 de marzo de 2023 se realizó, por parte de profesionales de Ecobio, un muestreo exploratorio de suelos, con el fin de ver el estado de estos principalmente en la Zona 1 y Zona 2, y aportar información relevante para el diseño del plan de muestreo.

Se realizaron 8 zanjas cercanas a las estructuras Piscina 2, TK10 y Piscina IV-1A, además de 2 calicatas en el Terreno 40 ha y 2 calicatas en Hábitat, donde se colectaron un total de 59 muestras superficiales y en profundidad (entre 0,5 y 4,6 metros, profundidad a la que se encontró tosca) de suelo para analizar pH y conductividad eléctrica en el laboratorio interno de Ecobio.

Los resultados indicaron, en primer lugar, una diferencia entre las calicatas control y las zanjas en las zonas de estudio de Ecobio, en cuanto al pH y conductividad de los suelos. Las calicatas control presentaron un pH entre 7,8 y 8,4, y una conductividad entre 5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 97  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un promedio de 19  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Por otro lado, en las zanjas se encontraron valores de conductividad entre 119  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 5099  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , siendo los máximos en una zanja al norte del TK105.5.2.1, y valores de pH entre 4,6 y 8,1.

Las observaciones en terreno, según lo mencionado por Ecobio, indican presencia de líquido en una zanja realizada entre el TK9 y la Piscina 2 (aunque las conductividades no indican afectación relevante), y en la zanja ubicada en el canal frente a TK10. Además, se encontró humedad no natural en zanjas ubicadas alrededor del TK10, lo que es concordante con los resultados de conductividad en estas calicatas.

De esta forma, se pudieron circunscribir preliminarmente los impactos al TK10.



### 3.7 Caracterización de lixiviado de CITA

En Ecobio se ha realizado de manera puntual, por requerimiento de la SMA, análisis a los lixiviados acumulados en las piscinas, de manera de tener un control de los compuestos existentes en este. En general, los análisis se realizan según los parámetros normados en el D.S. 90/2000 que “Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales”, que incluye metales, aceites y grasas, coliformes, cromo VI, DBO, DQO, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, fenol, amoníaco, cloruro, fluoruro, nitrato, nitrito, nitrógeno amoniacal, nitrógeno Kjeldahl, hidrocarburos, BTEX, cianuro, pentaclorofenol, tetracloroeteno, triclorometano, además de parámetros básicos como conductividad eléctrica y pH.

A continuación, se presentan resultados de estos análisis puntuales en lixiviados de CITA almacenados en las distintas piscinas (y a distintas profundidades), realizados durante los últimos años.

Muestra	Fecha	Al	Sb	As	Ba	Be	B	Cd	Ca	Cr
Lix CITA	03/02/2023	< 0,017		0,009	< 0,01	< 0,017	14,663	< 0,002		0,45
Piscina Lix (16,5 m)	02/09/2022	1,42		0,006			11,3	< 0,002		0,415
Piscina Lix (11 m)	02/09/2022	3,88		0,006			10,6	< 0,002		0,398
Piscina Lix (5,5 m)	02/09/2022	2,37		0,005			9,05	< 0,002		0,401
IV 1B CITA	30/12/2021	1,146	< 0,008	< 0,01			9,038	< 0,01	135,29	< 0,024
DS90 Tabla 2	-	10		1			3	0,3		-

Concentraciones en mg/L

Muestra	Fecha	Co	Cu	Fe	Pb	Li	Mg	Mn	Hg	Mo
Lix CITA	03/02/2023	< 0,012	< 0,012	3,533	< 0,03	< 0,008	62,769	0,76	< 0,0003	1,32
Piscina Lix (16,5 m)	02/09/2022		< 0,01	106	< 0,05			1,06	< 0,001	0,776
Piscina Lix (11 m)	02/09/2022		< 0,01	153	< 0,05			1,36	< 0,001	0,808
Piscina Lix (5,5 m)	02/09/2022		< 0,01	268	< 0,05			3,84	< 0,001	1,05
IV 1B CITA	30/12/2021		< 0,011		< 0,012		37,927		< 0,0003	
DS90 Tabla 2	-		3	10	0,5			3	0,01	2,5

Concentraciones en mg/L

Muestra	Fecha	Ni	P	K	Se	Ag	Na	Sn	V	Zn	Cr VI
Lix CITA	03/02/2023	0,81	13,18	6659,503	< 0,009	< 0,012	37349,578		8,671	0,16	< 0,02
Piscina Lix (16,5 m)	02/09/2022	1,46	12,1		0,014			0,02		60,1	< 0,0180
Piscina Lix (11 m)	02/09/2022	1,51	7,65		0,014			< 0,003		101	< 0,0180
Piscina Lix (5,5 m)	02/09/2022	1,48	2,08		0,01			< 0,003		83,5	< 0,0180
IV 1B CITA	30/12/2021	1,546		33,14	< 0,009		19804,064				
DS90 Tabla 2	-	3	15		0,1			-		20	0,2

Concentraciones en mg/L

Muestra	Fecha	Fluoruro	Cloruro	Nitrato	Nitrato-N	Sulfato	Amoníaco
Lix CITA	03/02/2023	0,407	16236		< 0,009	31175	429
Piscina Lix (16,5 m)	02/09/2022	1,81	19786	1,06		56430	
Piscina Lix (11 m)	02/09/2022	1,67	19339	1,16		36879	
Piscina Lix (5,5 m)	02/09/2022	1,36	13773	1,19		43267	
IV 1B CITA	30/12/2021	< 0,006	12955	< 0,039		40278	
DS90 Tabla 2	-	5	2000			2000	

Concentraciones en mg/L

Muestra	Fecha	Nitrato	Nitrato-N	Nitrógeno Total Kjeldahl	Nitrógeno amoniacal	Sulfuro	Bicarbonato (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
Lix CITA	03/02/2023		< 0,046	905	588,24		
Piscina Lix (16,5 m)	02/09/2022	339		955		0,145	
Piscina Lix (11 m)	02/09/2022	195		913		0,15	

Muestra	Fecha	Nitrato	Nitrato-N	Nitrógeno Total Kjeldahl	Nitrógeno amoniacal	Sulfuro	Bicarbonato (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
Piscina Lix (5,5 m)	02/09/2022	150		766		0,244	
IV 1B CITA	30/12/2021	< 0,203		1362,5	1019,1	< 0,03	6500
DS90 Tabla 2	-			75		10	

Concentraciones no indicadas se encuentran en mg/L

Muestra	Fecha	Conductividad eléctrica (µS/cm)	pH pasta	Sólidos disueltos totales (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)
Lix CITA	03/02/2023	100800	8,55	96590	306
Piscina Lix (16,5 m)	02/09/2022				420
Piscina Lix (11 m)	02/09/2022				544
Piscina Lix (5,5 m)	02/09/2022				448
IV 1B CITA	30/12/2021		8,72	85350	
DS90 Tabla 2	-		6,0 - 8,5		300

Muestra	Fecha	Aceites y grasas (mg/L)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)	Índice de fenol (mg/L)
Lix CITA	03/02/2023	21	< 2	7481	14460	< 0,006
Piscina Lix (16,5 m)	02/09/2022	< 10,0	< 2,00	4606		5
Piscina Lix (11 m)	02/09/2022	< 10,0	< 2,00	4438		4,96
Piscina Lix (5,5 m)	02/09/2022	< 10,0	< 2,00	3427		8,33
IV 1B CITA	30/12/2021			7620	12300	
DS90 Tabla 2	-	50	1000	300		1

Muestra	Fecha	Benceno	Tolueno	Xilenos	HC volátiles	HC fijos	HC totales
Lix CITA	03/02/2023	< 0,0009	0,0016	< 0,0015	0,32	< 1	< 1
Piscina Lix (16,5 m)	02/09/2022		< 0,0010	< 0,001	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Piscina Lix (11 m)	02/09/2022		< 0,0010	< 0,001	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Piscina Lix (5,5 m)	02/09/2022		< 0,0010	< 0,001	< 1,00	< 1,00	< 1,00
IV 1B CITA	30/12/2021				< 0,23	< 1	< 1
DS90 Tabla 2	-		7	5	-	50	-

Concentraciones en mg/L

Muestra	Fecha	Pentaclorofenol	Tetracloroeteno	Triclorometano	Cianuro
Lix CITA	03/02/2023	< 0,0006	< 0,00059	< 0,00059	< 0,018
Piscina Lix (16,5 m)	02/09/2022	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0010	< 0,04
Piscina Lix (11 m)	02/09/2022	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0010	< 0,04
Piscina Lix (5,5 m)	02/09/2022	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0010	< 0,04
IV 1B CITA	30/12/2021				< 0,018
DS90 Tabla 2	-	0,01	0,4	0,5	1

Concentraciones en mg/L

Nota: - parámetro normado en DS90, pero no en la Tabla 2

Se observa de los análisis que los lixiviados presentan altas conductividades eléctricas y sólidos disueltos, asociados a concentraciones altas de sodio, cloruros, fluoruros, sulfatos, nitratos y nitrógeno NKT. Además, poseen un pH básico y alta demanda química y bioquímica de oxígeno. Por otra parte, no se ha detectado la presencia de compuestos tóxicos y riesgosos para la salud, como hidrocarburos y BTEX (o estos han estado muy por debajo de niveles de riesgo), ni otros compuestos como pentaclorofenol, tetracloroeteno, triclorometano y cianuro.

Como una forma de referencia, se compararon los análisis con la norma D.S.90, Tabla 2 (para descargas en cuerpos fluviales con dilución), a pesar de que los lixiviados no son descargados, por lo que no deben cumplir con esta normativa. Con respecto a metales, sus concentraciones en general se encuentran dentro de los límites normados, con excepción de boro (B), hierro (Fe) y zinc (Zn). Con respecto a esta norma, también se sobrepasan los límites de cloruros, sulfatos, nitrógeno NKT, pH, sólidos suspendidos, DBO<sub>5</sub> e índice de fenol). De estado forma, es posible identificar los compuestos o analitos asociados a los lixiviados de CITA, es decir, de la potencial fuente de contaminación, para realizar la evaluación de suelos y aguas.

## 4 Modelo conceptual preliminar

El desarrollo del modelo conceptual es una herramienta a través de la cual se obtiene una “fotografía” de las condiciones del emplazamiento, ilustrando la distribución de las potenciales fuentes contaminantes, vías de exposición, así como los receptores potenciales existentes. Este proceso es vital, ya que para que se configure una situación de riesgo debe obligatoriamente cumplirse con la cadena fuente-ruta-receptor. Vale decir, si no existe la fuente contaminante, vía por la cual este pudiese propagarse, o la presencia de un receptor a la cual pudiese afectar esta contaminación, no habría riesgo. En efecto, los métodos de remediación de sitios contaminados se basan en la eliminación de uno o más de estos componentes.

A partir del análisis de los antecedentes, la potencial fuente de contaminación sería el lixiviado proveniente de estructuras en el sitio que se haya infiltrado y transportado a través del subsuelo. No obstante, la capa natural de tosca presente en todo el sitio podría estar actuando como una especie de sello, previniendo la posible contaminación de las aguas subterráneas.

Las potenciales rutas de transporte serían aguas subterráneas y superficiales, considerando un transporte de los contaminantes hacia estas por infiltración y escorrentía superficial, respectivamente. Las vías de exposición en ese eventual caso sería la ingestión accidental y contacto dérmico con suelo y/o agua, y la inhalación de polvo resuspendido y vapores. Se consideran como receptores potenciales a los trabajadores de sitio que tengan contacto con el suelo y/o lixiviado y a vecinos del sector que puedan utilizar las aguas subterráneas para consumo o riego.

En resumen, para este estudio se identifica lo siguiente:

Tabla 4-1 – Modelo conceptual de la potencial contaminación

Fuente	Rutas y vías de exposición	Receptor
Suelos y aguas subterráneas potencialmente impactados con lixiviado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingestión accidental de suelo y agua</li> <li>• Inhalación de polvo re-suspendido</li> <li>• Contacto dérmico con estos suelos y agua</li> <li>• Aguas subterráneas</li> <li>• Aguas superficiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actuales y futuros trabajadores</li> <li>• Vecinos del sector</li> </ul>

Por otro lado, como fue indicado anteriormente, a partir de análisis puntuales realizados a los lixiviados de CITA, se tiene que los componentes que eventualmente pudiesen estar afectando el suelo corresponderían a metales (boro, hierro y zinc principalmente) e iones y nutrientes (cloruro, sulfato, nitrógeno, fluoruro, magnesio, sodio, nitrato, fósforo, potasio).

## 5 Muestreo y análisis

En las siguientes secciones se presenta la metodología asociada al plan de muestreo ejecutado.

### 5.1 Metodología de muestreo

#### 5.1.1 Muestreo de suelos

##### 5.1.1.1 Número de puntos de muestreo

Como fue revisado en los antecedentes y en la visita a terreno realizada, la principal fuente potencial de contaminación sería el lixiviado proveniente de estructuras en el sitio que se haya infiltrado y transportado a través del subsuelo.

Para el caso de suelos, la Guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes, aprobada por Res. Ex. N° 406/2013 del Ministerio del Medio Ambiente (en adelante, “Guía metodológica”) recomienda, para una investigación de Fase II y para una distribución homogénea de la contaminación, una cantidad de puntos de muestreo mínimo dada por la siguiente fórmula:

$$N \text{ (puntos de muestreo)} = A \text{ (área en ha)} + 5$$

En este sentido, sumando las áreas de las Zonas 1, 2 y 3 declaradas por la autoridad, daría un total de aproximadamente 4 Ha, por lo que se recomendaría un mínimo de 9 puntos de muestreo en el sitio. No obstante, como es esencial delimitar cualquier impacto en el suelo, se definió un total de 23 puntos de muestreo (calicatas) en el sitio, en el sector de CITA, además de 4 puntos para toma de muestras background (niveles basales). De estos puntos se obtuvo entre 1 y 3 muestras (una superficial y demás en profundidad) según observaciones en terreno. Además, en 3 de estas calicatas se tomaron muestras de líquido que escurría en capas subsuperficiales del suelo.

##### 5.1.1.2 Ubicación de puntos de muestreo

Como fue indicado anteriormente, los puntos de muestreo se enfocaron en las zonas 1, 2 y 3 declaradas por la autoridad, además de otros sectores en que hubo filtraciones recientes (declaradas oportunamente a la autoridad ambiental). Además, se realizaron calicatas para coleccionar y analizar muestras en sectores no intervenidos (background).

La ubicación de los puntos de muestreo fue acordada con Volta y fue incorporada al documento “Plan de muestreo de aguas y suelos”, aprobado por personal de Volta y también informado a la autoridad ambiental.

Cabe notar que algunos de estos puntos variaron levemente en su ubicación, por razones de acceso, seguridad y operacionales. Además, donde se consideró relevante, se realizaron calicatas adicionales a las programadas.

Cada calicata fue realizada luego de la aprobación en terreno de personal de Ecobio, de manera de cerciorarse que no existieran servicios ni otra infraestructura enterrada que pudiera ser dañada por la excavación (por ejemplo, válvulas, cañerías, etc.).

#### 5.1.1.3 *Excavación de calicatas*

Las calicatas fueron realizadas por medio de una excavadora. La profundidad de las calicatas estuvo dada por la presencia de tosca que dependiendo del sector fue entre 10 cm y 4,3 m. Una vez alcanzada la profundidad máxima, esta se midió con huincha de medir y se registró. Además, se registraron las profundidades a las que se vieran cambios de color, textura, presencia de agua, etc., en el perfil de suelo, y sus características.



Figura 5-1 – Fotografía de perfil de suelo en calicata CC02

#### 5.1.1.4 *Toma de muestras*

Una vez realizada la calicata y tomados los datos respectivos, se decidieron las profundidades a las que serían tomadas las muestras. En general, se tomó una muestra en la superficie (primeros 40 cm) y otra

muestra de los 40 cm más profundos. En algunos casos, se tomó una muestra adicional en profundidades intermedias, según hallazgos o debido a la profundidad total de la calicata.

Se prepararon y rotularon los envases (frascos de vidrio o plástico adecuados al tipo de análisis) con información de la muestra: nombre de la muestra (compuesto por la identificación de la calicata y la profundidad a la que se tomó), además de la fecha y hora de muestreo, información que luego fue registrada en la cadena de custodia respectiva con la que se ingresan las muestras al laboratorio.

La recolección de la muestra en los tramos identificados se realizó con la pala de la excavadora, indicándole al operador dónde realizar la extracción. Luego, desde la pala de la excavadora, una vez apoyada en terreno firme y con la máquina detenida, se recolectó el volumen suficiente de muestra de manera manual con pala pequeña de acero inoxidable para rellenar los envases dependiendo de los análisis a realizar, procurando evitar incluir gravas de mayor tamaño.

En algunos casos puntuales, donde la profundidad de la calicata era menor a un metro, se ingresó a la calicata para coleccionar la muestra, luego de haber sido excavada de tal manera que no represente un riesgo al muestreador (con paredes en pendiente suave).

Para la toma de muestras se emplearon guantes de trabajo y herramientas apropiadas, las que fueron lavadas con agua destilada luego de la toma de cada muestra, para evitar la contaminación cruzada de muestras.

Las muestras envasadas y rotuladas se guardaron y transportaron en neveras portátiles junto con hielo hasta ser ingresadas al laboratorio para su análisis.

Con posterioridad a la realización de la descripción del perfil y la toma de muestra de suelo de cada calicata, se procedió a su cierre.

#### **5.1.1.5 Observaciones y registros**

En las excavaciones realizadas, se observó la existencia o no de agua u otros líquidos, la profundidad a la que aparece, su aspecto, decoloraciones en el suelo, textura del suelo (fino-grueso, limo-arena), etc. Se llevó un registro de esta información, de las coordenadas de cada calicata, la profundidad alcanzada de la calicata, la profundidad a la que se obtuvieron las muestras, y además un registro fotográfico.

#### **5.1.1.6 Medidas de aseguramiento de calidad y procedimientos de seguridad**

Los procedimientos que se utilizaron durante el muestreo para asegurar y controlar la calidad de las muestras, y por ende la representatividad de estas, están basados en las normas NCh3400/1:2016 Calidad del suelo – Muestreo – Parte 1: Directrices para el diseño de los programas de muestreo (INN, 2016a) y NCh 3400/2:2016 Calidad del suelo – Muestreo – Parte 2: Directrices sobre técnicas de muestreo (INN, 2016b).

Los principales peligros asociados a la actividad de muestreo corresponden a accidentes vehiculares, lesiones por equipo en movimiento, daño a la audición por alto nivel de ruido, caídas, torceduras, exposición a contaminantes, además de quemaduras, insolación y deshidratación. Para evitar estos riesgos se tomaron una serie de medidas recogidas en la matriz de seguridad de EnSoil para trabajos de muestreo de suelos presentada en el Anexo 2 del Plan de Muestreo “SIS-0201 Matriz de riesgos (Análisis de seguridad para trabajos de inspección y muestreo de suelos)”.



### 5.1.2 Muestreo de aguas subterráneas

El muestreo de aguas fue realizado por personal de EnSoil y de laboratorio ALS (certificado ETFa), según procedimientos basados en las normas chilenas NCh411/11:1998 Calidad de agua: Muestreo – Parte 11: Guía para el muestreo de aguas subterráneas, NCh411/1:1996 Calidad de agua: Muestreo – Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo y NCh411/3:2014 Calidad de agua: Muestreo – Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.

En primer lugar, se midió la profundidad del agua subterránea, del pozo y la altura del stick-up. Luego se realizó la purga de cada pozo, que consiste en bombear el agua almacenada en el pozo con el fin de muestrear agua fresca del acuífero. El criterio para determinar cuánto se debe purgar corresponde a bombear 3 volúmenes del pozo (es decir, la resta entre la profundidad del pozo y el nivel freático, multiplicado por el área del pozo, y multiplicado por 3), o hasta que los parámetros físicos del agua medidos in-situ se estabilicen (no varíen significativamente entre una medición y otra). Debido que los pozos son de 6 pulgadas de diámetro (muy grandes), el volumen del pozo también era muy grande para poder purgar 3 volúmenes (sobre todo en el pozo de 40 metros), por lo que también se midieron parámetros físicos in-situ (conductividad, pH, temperatura, ORP, etc.) con un medidor multiparámetro portátil marca Hanna. Se purgaron más de 100 litros de agua en cada pozo previo a recoger la muestra para analizar.

La purga se realizó con una bomba sumergible. Una vez que se bombeó el volumen suficiente para la purga y/o hasta que se hayan estabilizado los parámetros, se procedió a recoger agua fresca para envasar y llevar a laboratorio a analizar. Se rotularon los envases, se registró fecha y hora de muestreo, además de los parámetros in-situ de la muestra y se guardó en una nevera portátil para conservar la cadena de frío.

## 5.2 Muestreo de suelos

La campaña de muestreo de suelos fue realizada durante los días 15, 16 y 17 de agosto de 2023, y se ejecutó de acuerdo con lo planteado en el Plan de muestreo con algunas variaciones por temas logísticos y con la finalidad de optimizar la información obtenida.

Con respecto a la meteorología durante los días de muestreo, cabe notar que hubo precipitaciones durante la tarde del día 15 de agosto (en que se realizaron calicatas en Zona 1) y durante todo el día 16 de agosto (en que se realizaron calicatas en Zona 2 y cara este del macizo). La mañana del día 15 de agosto (en que se realizaron calicatas en terreno 40 ha) y el día 17 de agosto (en que se realizaron calicatas en Zona 3, UAL y Hábitat) estuvo despejado y soleado. Además, los días previos al muestreo también hubo precipitaciones. Por lo anterior, los suelos en general tenían una alta humedad, la mayoría saturados.

Como se indicó anteriormente, el muestreo contempló la toma de muestras en 27 puntos dentro del sitio, 23 de ellos dentro de CITA (Zona 1, Zona 2, Zona 3, UAL) y 4 en sectores no intervenidos (Hábitat y terreno 40 ha), las que fueron tomadas mediante calicatas con excavadora. La profundidad de las excavaciones fue de entre 10 cm y 4,3 m (profundidades máximas a las que se encontró tosca), en las que se tomaron entre 1 a 3 muestras por punto (una superficial y demás en profundidad), dando un total de 53 muestras de suelo (y sedimento).

Además, en 3 puntos se tomaron muestras de agua que afloraba de las paredes de algunas calicatas, posiblemente debido a la saturación del suelo por las precipitaciones recientes. Lo anterior no se asocia a agua subterránea, debido a que el nivel freático, según la información de los pozos de monitoreo, se encuentra a una profundidad aproximada de entre los 6 y 11 metros.

A continuación, en la Tabla 5-1 se presentan las muestras tomadas en cada punto de muestreo. En la Tabla 5-2 se presentan las coordenadas y estructuras asociadas a cada punto, y desde la Figura 5-2 a la Figura 5-7 se presentan mapas con la ubicación de las calicatas.

Tabla 5-1 – Puntos de muestreo y respectivas muestras

Punto de muestreo	Profundidad	Muestra	Descripción de la muestra
CC01	sed	CC01_sed	Sedimentos del canal (tomados del borde), color negro por presencia de materia orgánica, olor fuerte
CC02	0-0,4m	CC02_0-0,4m	Suelo arcilloso color café oscuro
CC02	1-1,4m	CC02_1-1,4m	Suelo arcilloso color amarillento y café oscuro; muestra tomada al nivel en que afloraba agua de las paredes de la calicata
CC02	3-3,4m	CC02_3-3,4m	Suelo arcilloso color café anaranjado; muestra tomada a más de 1m del fondo de la excavación
CC03	1-1,4m	CC03_1-1,4m	Suelo arcilloso color amarillento y café oscuro; muestra tomada al nivel en que afloraba agua de las paredes de la calicata
CC03	3-3,4m	CC03_3-3,4m	Suelo arcilloso color café anaranjado; muestra tomada a más de 1m del fondo de la excavación
CC04	0-0,4m	CC04_0-0,4m	Suelo color café
CC04	1,5-1,9m	CC04_1,5-1,9m	Suelo color café anaranjado, al fondo de la excavación
CC04	AG	CC04_AG	Agua que aflora de paredes de calicata, acumulada al fondo
CC05	0-0,1m	CC05_0-0,1m	Suelo superficial, sobre la tosca
CC06	0-0,4m	CC06_0-0,4m	Suelo arcilla arenosa color café
CC06	1,5-1,9m	CC06_1,5-1,9m	Suelo arcilloso color plumizo, con raíces; muestra tomada al nivel en que afloraba agua de las paredes de la calicata
CC06	3,2-3,6m	CC06_3,2-3,6m	Suelo arcilloso color café, al fondo de la excavación
CC07	0-0,4m	CC07_0-0,4m	Suelo arena arcillosa
CC07	1,2-1,6m	CC07_1,2-1,6m	Suelo arena arcillosa color negro, con raíces y olor
CC07	2,5-2,9m	CC07_2,5-2,9m	Suelo arcilla arenosa, al fondo de la excavación
CC08	0-0,4m	CC08_0-0,4m	Suelo
CC08	0,4-0,8m	CC08_0,4-0,8m	Suelo, muestra tomada al nivel en que afloraba agua de las paredes de la calicata, al fondo de la excavación
CC08	AG	CC08_AG	Agua que aflora de paredes de calicata
CC09	0-0,4m	CC09_0-0,4m	Suelo arcilla arenosa
CC09	0,7-1,1m	CC09_0,7-1,1m	Suelo arcilla color negro/plomo, olor muy fuerte, pastoso; muestra al fondo de la excavación
CC10	0-0,4m	CC10_0-0,4m	Suelo arcilla arenosa color café
CC10	0,4-0,8m	CC10_0,4-0,8m	Suelo arcilla arenosa color plumizo; indicios de estar reducido; muestra al fondo de la excavación
CC11	sed	CC11_sed	Sedimentos del canal (tomados con excavadora), limo arenoso, color negro por presencia probable de materia orgánica, olor fuerte
CC12	0,3-0,7m	CC12_0,3-0,7m	Suelo arcilla arenosa color café; muestra tomada al nivel en que afloraba agua de las paredes de la calicata
CC12	1,6-2m	CC12_1,6-2m	Suelo arcilla arenosa color plumizo; muestra tomada al fondo de la excavación
CC13	0-0,4m	CC13_0-0,4m	Suelo arcilla arenosa y gravas color café oscuro

Punto de muestreo	Profundidad	Muestra	Descripción de la muestra
CC13	1,1-1,5m	CC13_1,1-1,5m	Suelo arcilla arenosa y gravas color café oscuro; muestra tomada al fondo de la excavación
CC14	0-0,4m	CC14_0-0,4m	Suelo arcilla arenosa
CC14	1,1-1,5m	CC14_1,1-1,5m	Suelo arcilla arenosa color grisáceo; muestra tomada al fondo de la excavación
CC15	0-0,4m	CC15_0-0,4m	Suelo arcilloso color café claro anaranjado
CC15	0,7-1,1m	CC15_0,7-1,1m	Suelo arcilloso color café claro anaranjado, con coloraciones; muestra tomada al fondo de la excavación
CC16	sed	CC16_sed	Sedimentos del canal (tomados con excavadora), color negro con vegetación y raíces, sin olor
CC17	0-0,1m	CC17_0-0,1m	Suelo superficial, sobre la tosca
CC18	0-0,1m	CC18_0-0,1m	Suelo superficial, sobre la tosca
CC19	0-0,4m	CC19_0-0,4m	Suelo color café, olor fuerte
CC19	1,2-1,6m	CC19_1,2-1,6m	Suelo color negro, olor fuerte, al nivel en que brotaba líquido
CC19	1,5-1,9m	CC19_1,5-1,9m	Suelo color negro, olor fuerte
CC20	0-0,4m	CC20_0-0,4m	Suelo tomado al fondo de la excavación
CC21	0-0,4m	CC21_0-0,4m	Suelo arena arcillosa color café claro
CC21	0,7-1,1m	CC21_0,7-1,1m	Suelo arcilla arenosa color café claro; muestra tomada al nivel en que afloraba agua de las paredes de la calicata, sin olor
CC21	2,4-2,8m	CC21_2,4-2,8m	Suelo arena limosa color café claro amarillento; muestra tomada al fondo de la excavación
CC22	0-0,4m	CC22_0-0,4m	Suelo arcilla arenosa y gravas color café, olor a químico
CC22	0,8-1,2m	CC22_0,8-1,2m	Suelo arcilloso color plumizo; muestra tomada al fondo de la excavación
CC23	0-0,4m	CC23_0-0,4m	Suelo arcilla arenosa
CC23	1,2-1,6m	CC23_1,2-1,6m	Suelo arcilla arenosa color gris; muestra tomada al fondo de la excavación
CB01	0-0,4m	CB01_0-0,4m	Suelo arcilla limosa color café oscuro con raíces, pasto en la superficie
CB01	0,8-1,2m	CB01_0,8-1,2m	Suelo arena arcillosa con gravas color plumizo y amarillento; muestra tomada al fondo de la excavación
CB02	0-0,4m	CB02_0-0,4m	Suelo arcilla limosa color café oscuro con raíces, pasto en la superficie
CB02	0,6-0,7m	CB02_0,6-0,7m	Suelo arena arcillosa color amarillento con roca meteorizada; muestra tomada al fondo de la excavación
CB03	0-0,4m	CB03_0-0,4m	Suelo arcilla limosa color café oscuro con gravas (roca meteorizada)
CB03	2,6-3m	CB03_2,6-3m	Suelo arcilla color amarillento con roca meteorizada; muestra tomada al fondo de la excavación
CB04	0-0,4m	CB04_0-0,4m	Suelo arcilla limosa color café oscuro con raíces
CB04	0,8-1,2m	CB04_0,8-1,2m	Suelo arcilla limosa color café oscuro
CB04	1,2-1,6m	CB04_1,2-1,6m	Suelo arcilla color amarillento; muestra tomada al nivel en que afloraba agua de las paredes de la calicata
CB04	AG	CB04_AG	Agua que aflora de paredes de calicata

Tabla 5-2 – Ubicación de puntos de muestreo

Punto de muestreo	Coordenada Este	Coordenada Norte	Zona	Instalación asociada	Descripción punto de muestreo
CC01	752357	5935556	Zona 2	Canal norte	Canal con agua semi estancada, no se puede determinar el sentido del flujo, recoge aguas provenientes de otro canal secundario en sentido sur-norte. Límite noreste de CITA.
CC02	752367	5935526	Zona 2	-	Sector al otro lado del cerco que delimita CITA por el este, calicata a la altura de la Piscina 2. Afloramiento de agua desde 1 m de profundidad. Tosca a 4,3 m.
CC03	752355	5935478	Zona 2	-	Sector al otro lado del cerco que delimita CITA por el este, calicata a la altura del TK9. Afloramiento de agua desde 1 m de profundidad. Tosca a 4,3 m.
CC04	752292	5935473	Zona 2	TK9	Al lado sur del TK9. Afloramiento de agua desde 0,6 m de profundidad. Tosca a 2 m.
CC05	751958	5935252	Zona 3	Macizo	Al sur de macizo CITA, al sur del camino. Agua apozada. Tosca a 0,1 m.
CC06	752308	5935510	Zona 2	TK9	Al lado norte del TK9. Afloramiento de agua desde 1,5 m de profundidad. Tosca a 3,6 m.
CC07	752333	5935549	Zona 2	P2	Al lado noreste de Piscina 2. Afloramiento de agua desde 0,7 m de profundidad. Tosca a 2,9 m.
CC08	752278	5935560	Zona 2	P2	Al lado noroeste de Piscina 2. Afloramiento de agua desde 0,6 m de profundidad. Tosca a 0,8 m.
CC09	752132	5935560	Zona 1	TK10 - Macizo	Al lado sur del TK10, entre el macizo CITA y TK10. Tosca a 1,1 m.
CC10	752221	5935564	Zona 1	P1	Al lado este de Piscina 1. Tosca a 0,8 m.
CC11	752232	5935584	Zona 1	Canal norte	Canal con agua semi estancada, no se puede determinar el sentido del flujo. Límite norte de CITA, al este de Piscina 1.
CC12	752165	5935586	Zona 1	TK10 - P1	Entre TK10 y Piscina 1, superficie con relleno estabilizado (gravas grandes redondeadas) por entrada de vehículos. Afloramiento de líquido desde 0,3 m de profundidad. Tosca a 2 m.
CC13	752128	5935596	Zona 1	TK10	Al lado noroeste de TK10. Tosca a 1,5 m.
CC14	752084	5935574	Zona 1	Macizo	Al lado de acopio de material en la cara norte de macizo CITA, hacia el oeste de TK10. Tosca a 1,5 m.
CC15	752102	5935584	Zona 1	TK10	Al lado oeste de TK10. Tosca a 1,1 m.
CC16	752014	5935634	Zona 1	Canal norte	Canal con agua semi estancada, no se puede determinar el sentido del flujo. Límite norte de CITA, a la altura de Piscina IV-1A aproximadamente. Sector inundado.
CC17	751872	5935272	Zona 3	Macizo	Al sur de macizo CITA, al sur del camino. Agua apozada. Tosca a 0,1 m.
CC18	752045	5935228	Zona 3	Macizo	Al sur de macizo CITA, al sur del camino. Agua apozada. Tosca a 0,1 m.

Punto de muestreo	Coordenada Este	Coordenada Norte	Zona	Instalación asociada	Descripción punto de muestreo
CC19x	752218	5935339	-	Macizo	Al lado este de macizo, frente a sector de filtración, al lado este del camino. Aflora lixiviado al excavar a los 40 cm. No se toma muestra.
CC19	752229	5935336	-	Macizo	Al lado este de macizo, frente a sector de filtración, al lado este del camino, más al este que CC19x. Aflora lixiviado al excavar, entre los 0,5 y 1m, menos que en CC19x. Tosca a 1,9 m.
CC20	752240	5935333	-	Macizo	Al lado este de macizo, frente a sector de filtración, al lado este del camino, más al este que CC19. Tosca a 0,4 m.
CC20x	752252	5935334	-	Macizo	Al lado este de macizo, frente a sector de filtración, al lado este del camino, más al este que CC20. Agua apozada con aureolas de colores. Tosca a 0,1 m. No se toma muestra.
CC21	751464	5935431	UAL	UAL	Al lado oeste de UAL CITA. Afloramiento de agua desde 0,7 m de profundidad. Tosca a 2,8 m.
CC22	752127	5935591	Zona 1	TK10	Al lado oeste de TK10. Tosca a 1,2 m.
CC23	752190	5935590	Zona 1	P1	Al lado norte de Piscina 1, en el camino. Tosca a 1,6 m.
CB01	752303	5936201	Background	40 ha	En terreno 40 ha, más al norte. Tosca a 1,2 m.
CB02	752262	5936032	Background	40 ha	En terreno 40 ha, más al sur de CB01, al oeste del camino. Tosca a 0,7 m.
CB03	751358	5935398	Background	Hábitat	En sector Hábitat, esquina suroeste, lado de camino. Afloramiento de agua desde 1 m de profundidad. Tosca a 3 m.
CB04	751391	5935404	Background	Hábitat	En sector sur de Hábitat, dentro del bosque de espinos al norte del camino. Afloramiento de agua desde 1,2 m de profundidad. Tosca a 2,9 m.

Notas: Coordenadas se encuentran referenciadas en Datum WGS84, huso 18S. TK: tanque de almacenamiento superficial; P: piscina de almacenamiento; Macizo: macizo CITA; UAL: unidad de almacenamiento de lixiviados; 40 ha: terreno "40 ha" al norte de CITA.





Figura 5-2 – Ubicación de calicatas en Ecobio



Figura 5-3 – Ubicación de calicatas en Zona 1





Figura 5-4 – Ubicación de calicatas en Zona 2 y cara este de CITA



Figura 5-5 – Ubicación de calicatas en Zona 3





Figura 5-6 – Ubicación de calicatas en UAL y Hábitat



Figura 5-7 – Ubicación de calicatas en terreno 40 ha

### 5.3 Muestreo de aguas subterráneas

El muestreo de aguas subterráneas se realizó en dos campañas. La primera fue realizada durante el día 3 de octubre de 2023 y consistió en el muestreo de los pozos PM1-S, PM2-S, PM3-S, PM3-I y PM5-S. La segunda campaña fue realizada el día 12 de enero de 2024, donde se muestreó el pozo PM4-S (construido y habilitado por Volta durante el mes de diciembre de 2023). El monitoreo de aguas subterráneas se ejecutó de acuerdo con lo planteado en el Plan de muestreo con algunas variaciones por temas logísticos y con la finalidad de optimizar la información obtenida.

A continuación, en la Tabla 5-3, Tabla 5-4 y Tabla 5-5 se presentan las características de los pozos, las mediciones de parámetros en terreno en el agua subterránea y la ubicación de los pozos, respectivamente. En la Figura 5-8 se presenta un mapa con la ubicación de los pozos.

Tabla 5-3 – Características pozos de monitoreo

Pozo/muestra	Fecha monitoreo	Diámetro (pulgadas)	Altura stick-up (m)	Profundidad pozo (m)	Nivel freático (m)	Profundidad ranurado (m)	Año construcción
PM1-S	3-10-2023	6	0,7	15,22	6,37	11,2 – 12,7	2022
PM2-S	3-10-2023	6	0,91	18,90	9,33	13 – 19	2019
PM3-S	3-10-2023	6	0,95	20,6	12,04	6 – 13	2020
PM3-I	3-10-2023	6	0,72	40	11,28	33 – 37	2019
PM4-S	12-01-2024	6	0,59	18	9,62	5,5 – 16,5	2023
PM5-S	3-10-2023	6	1,03	20,76	10,58	12 – 17	2020

Notas: Altura stick-up corresponde a longitud entre le borde superior de la protección del pozo (sin considerar la tapa) y la base de hormigón. Profundidad del pozo y nivel freático es con respecto a borde de stick-up (no con respecto al nivel del suelo). La altura de stick-up, profundidad del pozo y nivel freático fue medido en terreno; el diámetro del pozo, la profundidad del ranurado y el año corresponde a información obtenida de documentos de construcción de los pozos.

Tabla 5-4 – Mediciones in-situ en agua subterránea

Pozo/muestra	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )
PM1-S	309 – 332	7,41 – 8,21	17,2
PM2-S	486 – 513	9,40 – 9,78	17,5
PM3-S	885 – 1492	6,65 – 6,87	17,8
PM3-I	137 – 150	7,60 – 7,75	18,2
PM4-S	127 – 142	6,91 – 7,68	18,6
PM5-S	122 – 276	7,5 – 7,6	17,7

Nota: Los valores de conductividad eléctrica (CE) y pH corresponden a rangos entre lo que variaban las mediciones a medida que se purgaba el pozo.

Tabla 5-5 – Ubicación de pozos de monitoreo

Pozo	Coordenada Este	Coordenada Norte	Ubicación relativa	Comentarios
PM1-S	751383	5935749	Límite oeste Ecobio (aguas abajo)	Agua transparente, sin olor
PM2-S	751976	5935642	Zona 1 (cercanías de IV1-A y/o TK10)	Agua transparente, sin olor



Pozo	Coordenada Este	Coordenada Norte	Ubicación relativa	Comentarios
PM3-S	753138	5934983	Límite este Ecobio (aguas arriba)	Agua color café y transparente por pulsos
PM3-I	753182	5934982	Límite este Ecobio (aguas arriba)	Agua transparente, sin olor
PM4-S	751842	5935648	Límite norte de CITA, entre piscinas de evaporación y terreno 40 ha (aguas abajo de PM2-S)	Agua con algo de sedimentos al principio, pero luego transparente, sin olor
PM5-S	752119	5935596	Zona 1 (cercañas de IV1-A y/o TK10)	Agua oscura al principio, con olor, luego transparente

Notas: Coordenadas se encuentran referenciadas en Datum WGS84, huso 18S.



Figura 5-8 – Ubicación de pozos monitoreados en Ecobio

#### 5.4 Análisis de laboratorio

Los análisis fueron realizados (o subcontratados en el caso de algunos analitos) por el laboratorio ALS, acreditado bajo los estándares de competencia técnica de la norma internacional ISO/IEC 17025:2005 y NCh ISO 17025 (donde fuese aplicable). Los análisis de agua, además de las acreditaciones anteriores, tienen certificación ETFA (Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental) por la SMA. En el Anexo 3, Anexo 4 y Anexo 5, se presentan los informes de laboratorio de las muestras de suelo, agua en calicatas y de agua subterránea, respectivamente, que incluye la concentración de cada analito en cada muestra, además de los métodos de análisis y límites de detección y/o cuantificación.

#### 5.4.1 Análisis de suelo

En consideración de un análisis costo-efectivo y la correcta caracterización de las matrices ambientales, se plantearon 3 *suites* de análisis para suelos (análisis completo, simple y básico).

El análisis completo (*suite 1*) se realizó a 18 muestras distribuidas en 16 calicatas en CITA; el análisis simple (*suite 2*) se realizó a 8 muestras distribuidas en 4 calicatas de background; y el análisis básico (*suite 3*) se realizó a las muestras restantes, es decir, a 27 muestras distribuidas en 18 calicatas en CITA y en 1 calicata background.

A continuación, se presenta el detalle de los análisis en suelo, según las *suites* indicadas anteriormente:

Tabla 5-6 – Análisis en suelo según *suite*

Analito	Suite 1 <sup>2</sup> (análisis completo)	Suite 2 <sup>3</sup> (análisis simple)	Suite 3 <sup>4</sup> (análisis básico)
Metales y metaloides: aluminio, antimonio, arsénico, bario, berilio, bismuto, boro, cadmio, cromo, cobalto, cobre, estaño, estroncio, fósforo, hierro, litio, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plata, plomo, selenio, telurio, talio, titanio, uranio, vanadio, zinc	X	X	
Cromo hexavalente	X	X	
Nutrientes e iones: cloruro, fluoruro, fosfato, nitrógeno total, nitrógeno Kjeldahl, nitrato, nitrito, sulfato, sulfuro	X	X	
Cationes: calcio, magnesio, potasio y sodio	X	X	
Carbono orgánico	X	X	
pH	X	X	X
Conductividad eléctrica	X	X	X
Hidrocarburos totales del petróleo (TPH): volátiles (C <sub>6</sub> -C <sub>10</sub> ), fijos y totales	X		
BTEX: benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos	X		
Pentaclorofenol	X		
Tetracloroetano (tetracloroetileno)	X		
Triclorometano (cloroformo)	X		
Cianuro	X		

La siguiente tabla indica el detalle de los análisis de todas las muestras.

Tabla 5-7 – Detalle de los análisis para muestras de calicatas

Punto	Muestra	Suite	Met	Nut	COT	Org	Cia	pH	CE
CC01	CC01_sed	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC02	CC02_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC02	CC02_1-1,4m	Suite 3						X	X
CC02	CC02_3-3,4m	Suite 3						X	X
CC03	CC03_1-1,4m	Suite 3						X	X
CC03	CC03_3-3,4m	Suite 3						X	X

<sup>2</sup> Corresponde al “Ítem 2” indicado en los informes de laboratorio.

<sup>3</sup> Corresponde al “Ítem 5” indicado en los informes de laboratorio.

<sup>4</sup> Corresponde al “Ítem 4” indicado en los informes de laboratorio.

Punto	Muestra	Suite	Met	Nut	COT	Org	Cia	pH	CE
CC04	CC04_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC04	CC04_1,5-1,9m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC05	CC05_0-0,1m	Suite 3						X	X
CC06	CC06_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC06	CC06_1,5-1,9m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC06	CC06_3,2-3,6m	Suite 3						X	X
CC07	CC07_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC07	CC07_1,2-1,6m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC07	CC07_2,5-2,9m	Suite 3						X	X
CC08	CC08_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC08	CC08_0,4-0,8m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC09	CC09_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC09	CC09_0,7-1,1m	Suite 3						X	X
CC10	CC10_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC10	CC10_0,4-0,8m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC11	CC11_sed	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC12	CC12_0,3-0,7m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC12	CC12_1,6-2m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC13	CC13_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC13	CC13_1,1-1,5m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC14	CC14_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC14	CC14_1,1-1,5m	Suite 3						X	X
CC15	CC15_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC15	CC15_0,7-1,1m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC16	CC16_sed	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC17	CC17_0-0,1m	Suite 3						X	X
CC18	CC18_0-0,1m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC19	CC19_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC19	CC19_1,2-1,6m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC19	CC19_1,5-1,9m	Suite 3						X	X
CC20	CC20_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC21	CC21_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC21	CC21_0,7-1,1m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC21	CC21_2,4-2,8m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC22	CC22_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC22	CC22_0,8-1,2m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CC23	CC23_0-0,4m	Suite 3						X	X
CC23	CC23_1,2-1,6m	Suite 1	X	X	X	X	X	X	X
CB01	CB01_0-0,4m	Suite 2	X	X	X			X	X
CB01	CB01_0,8-1,2m	Suite 2	X	X	X			X	X



Punto	Muestra	Suite	Met	Nut	COT	Org	Cia	pH	CE
CB02	CB02_0-0,4m	Suite 2	X	X	X			X	X
CB02	CB02_0,6-0,7m	Suite 2	X	X	X			X	X
CB03	CB03_0-0,4m	Suite 2	X	X	X			X	X
CB03	CB03_2,6-3m	Suite 2	X	X	X			X	X
CB04	CB04_0-0,4m	Suite 3						X	X
CB04	CB04_0,8-1,2m	Suite 2	X	X	X			X	X
CB04	CB04_1,2-1,6m	Suite 2	X	X	X			X	X

Notas: Met: metales, metaloides y cromo hexavalente; Nut: nutrientes e iones; COT: carbono orgánico; Org: compuestos orgánicos (TPH, BTEX, pentaclorofenol, tetracloroeteno y triclorometano); Cia: cianuro; CE: conductividad eléctrica.

#### 5.4.2 Análisis de agua en calicatas

Las muestras de agua tomadas en 3 calicatas se analizaron por los analitos que se detallan a continuación.

Tabla 5-8 – Detalle de los análisis para muestras de agua en calicatas

Punto	Muestra	pH	CE
CC04	CC04_AG	X	X
CC08	CC08_AG	X	X
CB04	CB04_AG	X	X

Notas: CE: conductividad eléctrica.

#### 5.4.3 Análisis de agua subterránea

Las muestras de agua subterránea de los 6 pozos monitoreados se analizaron por los análisis detallados a continuación. Estos se basan en los análisis normados en la NCh1333 y NCh409, solo como referencia.

Tabla 5-9 – Análisis en agua subterránea

Analito
Metales y metaloides: aluminio, antimonio, arsénico, bario, berilio, bismuto, boro, cadmio, cromo, cobalto, cobre, estaño, estroncio, fósforo, hierro, litio, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plata, plomo, selenio, telurio, talio, titanio, uranio, vanadio, zinc
Cromo hexavalente
Nutrientes e iones: cloruro, fluoruro, fosfato, nitrógeno total, nitrógeno Kjeldahl, nitrato, nitrito, sulfato, sulfuro, amonio, bicarbonato
Cationes: calcio, magnesio, potasio y sodio
Carbono orgánico
pH
Conductividad eléctrica
Sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sólidos sedimentables
Coliformes fecales, DBO5, poder espumógeno, detergentes aniónicos, aceites y grasas, índice de fenol
Hidrocarburos totales del petróleo (TPH): volátiles (C6-C10), fijos y totales
BTEX: benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos
Pentaclorofenol
Tetracloroeteno (tetracloroetileno)
Triclorometano (cloroformo)
Cianuro

## 5.5 Análisis de resultados

Los resultados de los análisis de suelos y aguas subterráneas se revisaron y analizaron enfocándose en 2 objetivos principales, los cuales corresponden a: 1) delimitación de impactos y 2) evaluación de potenciales riesgos. Estos se describen a continuación.

### 5.5.1 Delimitación de impactos

La delimitación de impactos consiste en definir, a partir de los resultados del muestreo, la extensión aproximada de los potenciales impactos en suelos y aguas subterráneas. En caso de los suelos, la delimitación se realiza de manera horizontal y vertical, es decir, hasta qué profundidad se observan impactos (mediante el análisis de muestras de suelo en calicatas a distintas profundidades) y el área en que se extienden. En caso de las aguas, la delimitación se realiza de manera más aproximada, considerando la ubicación de los pozos en que se observan impactos (horizontal) y la profundidad del acuífero que se está analizando (vertical).

Para la delimitación, se considera la conductividad eléctrica y el pH como parámetros indicadores, además de observaciones visuales en terreno (presencia de sales, cambios de coloración, etc.). Cabe destacar que el área de delimitación de posibles impactos no implica que el suelo o las aguas estén contaminadas, ni que conlleve algún riesgo a la salud, sino que solo indica la extensión que alcanzó probablemente alguna fuga o derrame acontecido en el pasado.

### 5.5.2 Evaluación de potenciales riesgos

Para la evaluación de los potenciales riesgos, es necesario evaluar las concentraciones de los analitos analizados en suelos y aguas subterráneas, y compararlas con normativa de referencia. En el caso de la matriz suelo, a falta de legislación chilena, se debe revisar normativa internacional (como está explicado más adelante en la Sección 5.5.2.1).

Cabe destacar que el objetivo es determinar la potencial existencia de riesgos a la salud humana que, en este caso, al ser un sitio industrial, considera como potenciales receptores a los trabajadores de la planta y a los vecinos del sector.

#### 5.5.2.1 Matriz suelo

Con respecto a la matriz suelo, se considerará lo indicado por el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA) en su *Artículo 11 – Normas de referencia*, que designa una lista de países de donde se debe obtener valores de referencia para evaluar cualquier componente ambiental no normado en el país. Esta lista comprende los siguientes países: “República Federal de Alemania, República Argentina, Australia, República Federativa del Brasil, Canadá, Reino de España, Estados Unidos Mexicanos, Estados Unidos de América, Nueva Zelandia, Reino de los Países Bajos, República Italiana, Japón, Reino de Suecia y Confederación Suiza”.

En la gran mayoría de los países que poseen legislación, y en especial aquellos con mayor experiencia en el tema mencionados en el RSEIA (ej. Australia, EE.UU., Canadá), los niveles de referencia se basan en la determinación de un valor máximo bajo el cual: a) no habría riesgo para el receptor más sensible (contaminantes no cancerígenos), o b) resultaría en un aumento de riesgo aceptable (contaminantes cancerígenos) dentro de un escenario de uso de suelo específico.

La metodología para el cálculo de niveles de referencia (tanto para contaminantes cancerígenos y no cancerígenos) para la protección de la salud internacionalmente está en su gran mayoría basada en ecuaciones, conceptos y metodología derivadas por la USEPA para su programa de *superfunds* y *brownfields* *Risk Assessment Guidance for Superfund* (RAGS)<sup>5</sup> que data de 1988. Esta metodología calcula valores de referencia considerando tres posibles vías de exposición que corresponden a ingestión, dermal e inhalación. De manera general, estas tres vías de exposición se combinan entregando un solo valor objetivo general, bajo el cual no habría riesgo para determinado uso de suelo. Esto se muestra en la Ecuación 1.

$$VO(mg/kg) = \left( \frac{1}{VO_{\text{ingestión}}} + \frac{1}{VO_{\text{dermal}}} + \frac{1}{VO_{\text{inhalación}}} \right)^{-1}$$

Ecuación 1 – Formula general de valor objetivo

Donde:

- VO<sub>ingestión</sub>: Valor objetivo calculado para la ingestión de suelo contaminado
- VO<sub>dermal</sub>: Valor objetivo calculado para el contacto dermal con suelo contaminado
- VO<sub>inhalación</sub>: Valor objetivo calculado para la inhalación de suelo contaminado como polvo

La determinación de valores de referencia para suelo es un tema esencialmente relacionado al ámbito de la salud y la protección de esta, y en este sentido, los factores ambientales como climáticos, geología, suelos y otros relacionados influyen solo de manera tangencial en la valoración de los parámetros técnicos. En efecto, aunque se deseara (y fuese relevante) dar mayor importancia a los factores ambientales, existiría el problema de la variabilidad de estos dentro de un mismo país: ¿tomamos como referencia los suelos de la zona norte o de la zona sur?, ¿tomamos el clima lluvioso de cierta provincia o el seco de otra?

Consecuentemente, la normativa de suelos (en los países donde esta existe), está definida para todo un país (o por lo menos un estado, en el caso de países con gobierno de tipo federal), toda vez que la autoridad estima que un habitante expuesto a ciertos niveles de un contaminante en el suelo en un extremo del país tendrá los mismos efectos a la salud (y es igual de importante de proteger) que un habitante en otro extremo del país. En este sentido, el justificar una normativa u otra como “más apropiada” porque sus suelos u otra característica ambiental es más similar a Chile es esencialmente incorrecto, ya que 1) la derivación de normas se refiere fundamentalmente a aspectos de salud humana y 2) posiblemente se está cometiendo una generalización u omisión en cuanto al factor ambiental que se define como “similar”.

Siguiendo con lo anterior, para la elección de normativa de referencia de suelos deben primar otros aspectos diferentes a que “los suelos de tal país sean similares a los de Chile”, lo que como indicado anteriormente, es mayoritariamente irrelevante (en términos de salud humana) y difícil o imposible de lograr. En este sentido, los factores principales para la correcta elección de normativa se estiman como:

- 1) que sea de un país a la vanguardia en la materia, vale decir, que disponga de un organismo especializado que vele por la mantención y actualización de las metodologías y valores de referencia;
- 2) que posea valores de referencia para los parámetros que son relevantes a la investigación;

<sup>5</sup> Disponible en: <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>

- 3) que indique escenarios aplicables al uso de suelo que está siendo evaluado y los receptores sean relevantes al sitio;
- 4) idealmente, que tenga similitudes socioculturales y científicas en su enfoque al tratamiento de los suelos contaminados.

Considerando los factores anteriores, se seleccionó para este estudio en primer lugar la norma de Estados Unidos (USEPA *Regional Screening Levels* – Niveles de referencia regionales) debido a las siguientes razones:

- Las bases fundamentales de la evaluación de riesgo y metodologías de definición de valores de referencia fueron inicialmente derivadas por la USEPA, y se han mantenido a la vanguardia en este tema, por lo que este país es el más relevante en este respecto.
- Es uno de los países que tiene más parámetros normados, y estos son relevantes para la presente investigación.
- Indica niveles para uso de suelo industrial (relevantes para este proyecto) que consideran la salud humana.
- Los estudios que se han realizado en Chile han seguido la metodología indicada por la USEPA, siendo esta considerada además conservadora (tiene niveles permisibles menores a otros países).

Adicionalmente, si bien en Chile no existe normativa de referencia, existe una metodología nacional recomendada para la gestión de suelos contaminados (*Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes*, aprobada por Res. Ex. 406/2013 del Ministerio del Medio Ambiente), la que se basa en gran parte en la normativa del País Vasco (España), vale decir existen similitudes socioculturales y científicas con esta normativa. Por esta razón, se ha adoptado también los niveles de referencia de esta comunidad autónoma.

A continuación, en la Tabla 5-10 se presentan los niveles de referencia para los parámetros analizados en las muestras de suelo. Se presentan los niveles considerados en la norma USEPA para un cociente de peligrosidad objetivo (THQ, por sus siglas en inglés) igual a 1, y un riesgo de cáncer objetivo (TR, por sus siglas en inglés) de  $10^{-6}$  para uso industrial, debido a que no se pretende realizar una modificación del uso del terreno (por ejemplo, a residencial). Además, se presentan los valores de referencia de la normativa de País Vasco para uso industrial.

Tabla 5-10 – Concentraciones permisibles en suelo según normativa internacional

Parámetro	Nivel referencia USEPA <sup>6</sup> (mg/kg)	Nivel referencia País Vasco <sup>7</sup> (mg/kg)
Aluminio	1100000	-
Antimonio	470	-
Arsénico	3	200
Bario	220000	-
Benceno	5,1	10
Berilio	2300	-
Bismuto	-	-
Boro	230000	-
Cadmio	100	50

<sup>6</sup> Concentraciones permisibles en suelo según USEPA para TR=10-6 y THQ=1, uso industrial (actualizado a mayo 2023)

<sup>7</sup> Concentraciones permisibles en suelo según País Vasco, uso industrial

Parámetro	Nivel referencia USEPA <sup>6</sup> (mg/kg)	Nivel referencia País Vasco <sup>7</sup> (mg/kg)
Calcio	-	-
Cianuro total	150	25
Cinc	350000	*
Cloroformo (Triclorometano)	1,4	-
Cobalto	350	-
Cobre	47000	*
Cromo	-	550
Cromo Hexavalente	6,3	15
Estaño	700000	-
Estroncio	700000	-
Etilbenceno	25	100
Fósforo	-	-
Hidrocarburos fijos	-	-
Hidrocarburos totales	-	500
Hidrocarburos volátiles (C <sub>6</sub> -C <sub>10</sub> )	-	-
Hierro	820000	-
Litio	2300	-
Magnesio	-	-
Manganeso	26000	-
Mercurio	46	40
Molibdeno	5800	750
Níquel	8100	800
o-Xileno	2800	200
p/m-Xileno	2400	200
Pentaclorofenol		
Plata	-	-
Plomo	800	1000
Potasio	-	-
Selenio	5800	-
Sodio	-	-
Talio	12	-
Telurio	-	-
Tetracloroetileno	100	-
Titanio	600000	-
Tolueno	47000	200
Uranio	-	-
Vanadio	5800	-

Notas: Parámetros sin norma se indican con "-". \* El valor límite derivado es del orden de decenas de g/kg.

Por otro lado, se entiende que estudios anteriores (ej. Hídrica Consultores) han utilizado la normativa canadiense (federal) y de los Países Bajos en sus evaluaciones, sin embargo, estos niveles de referencia no se estiman aplicables para el sitio. Lo anterior, ya que los niveles de la normativa de Canadá y de Países Bajos consideran para su protección no solo a la salud humana, sino que a receptores ecológicos, donde después de una evaluación de riesgos se determina el valor más bajo (ya sea para protección de salud humana o biota) como el nivel de referencia por defecto a utilizar. Como ejemplo se puede indicar el nivel



de referencia para el selenio, el cual bajo la evaluación de riesgo realizada por la autoridad canadiense<sup>8</sup> indicó un nivel guía de 1135 mg/kg para la protección de la salud humana, pero un nivel de 2,9 mg/kg para la protección de biota, siendo este último el nivel publicado por defecto. Por otro lado, la normativa de los Países Bajos indica para arsénico un nivel por defecto de 22 mg/kg, pero si solo se considera salud humana, sería considerablemente más alto (576,10 mg/kg).

Se debe considerar, adicionalmente, que no existe consenso en una metodología para determinar niveles de riesgo para receptores ecológicos, ya que esto presenta una serie de dificultades. Primeramente, las diferentes legislaciones deben definir cuáles valores ecológicos se desean proteger, si es una especie en particular, si es un conjunto de especies, o si es algún proceso (ej. la función del suelo). Segundo, se debe definir la manera en que se realiza la evaluación de riesgos ecológica, ya sea por métodos estadísticos (ej. Países Bajos), o por rutas de exposición (ej. Estados Unidos). Finalmente, existe una serie de aspectos técnicos en cuanto a los parámetros que se definen como relevantes para la evaluación de riesgos, donde cada legislación puede asignar diferente valor a cada uno de ellos. Es por esto que la mayoría de las legislaciones no indican valores de referencia específicos para biota, y donde sí lo hacen estos deben ser tomados únicamente como indicativos de la posibilidad de una evaluación más a fondo si el sitio lo requiriese.

En este sentido, es relevante recalcar que el sitio Ecobio es un complejo industrial, que no se emplaza en un sitio protegido ni colindante con uno.

Con respecto a la evaluación de los resultados de conductividad eléctrica (que corresponde a un parámetro que actúa como indicador de afectación, pero no es un contaminante), se utilizará la norma canadiense<sup>9</sup> que indica un criterio para remediación, con un valor de 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para suelos de uso comercial o industrial.

#### 5.5.2.2 *Matriz agua subterránea*

En el caso de las aguas subterráneas, en Chile existen normativas aplicables asociadas al potencial uso que se le podría dar al agua, las que corresponden a la norma de riego NCh 1333/1987 y la norma de agua potable NCh 409/2005. Estas normativas se utilizan para evaluar el potencial riesgo a la salud, sin embargo, para esto también se tiene en cuenta el uso efectivo que se le da al agua y la ubicación de los pozos con respecto a la posible captación más cercana. En particular, para el análisis se comparará con la norma de riego para establecer la potencial afectación de aguas subterráneas (ya que se aplica al monitoreo de pozos por la RCA 74/2019), y la norma de agua potable se indicará solo de forma referencial.

---

<sup>8</sup><https://ccme.ca/en/res/selenium-canadian-soil-quality-guidelines-for-the-protection-of-environmental-and-human-health-en.pdf>

<sup>9</sup> Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). 2007. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Summary tables. Updated September, 2007. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. Disponible en: [https://support.esdat.net/Environmental%20Standards/canada/soil/rev\\_soil\\_summary\\_tbl\\_7.0\\_e.pdf](https://support.esdat.net/Environmental%20Standards/canada/soil/rev_soil_summary_tbl_7.0_e.pdf)

## 6 Resultados del muestreo

### 6.1 Resultados de suelos en calicatas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los análisis en suelo. Se comparan estos con las normativas de referencia USEPA y País Vasco (y Canadá en el caso de conductividad eléctrica), para suelos de uso industrial como fue indicado en la sección precedente.

#### 6.1.1 Metales y metaloides

Los resultados para metales y metaloides se presentan en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1 – Resultados de metales en muestras de suelo

Punto	Muestra	Al	Sb	As	Ba	Be	Bi	B	Cd	Ca	Cr	Co
CB01	CB01_0,8-1,2m	32148	< 1,50	4,78	123	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	3825	13,9	19,9
CB01	CB01_0-0,4m	44920	< 1,50	6,99	242	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	2093	20,4	19
CB02	CB02_0,6-0,7m	23560	< 1,50	1,56	320	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	4657	12,9	18,3
CB02	CB02_0-0,4m	28566	< 1,50	5,55	116	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	1817	25,5	15,7
CB03	CB03_0-0,4m	35509	< 1,50	3,6	216	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	1824	17,7	10,9
CB03	CB03_2,6-3m	25193	< 1,50	1,74	183	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	4027	9,02	20,3
CB04	CB04_0,8-1,2m	38622	< 1,50	3,56	249	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	2404	17,5	16,1
CB04	CB04_1,2-1,6m	20045	< 1,50	1,95	156	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	3836	9,04	14,3
CC01	CC01_sed	257987	< 1,50	13,5	261	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	281289	39,5	18,4
CC04	CC04_1,5-1,9m	333648	< 1,50	8,06	382	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	30442	20,8	15,7
CC06	CC06_1,5-1,9m	33317	< 1,50	10,2	286	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	2930	26,5	20,7
CC07	CC07_1,2-1,6m	25447	< 1,50	6,1	447	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	4445	< 7,00	25,2
CC08	CC08_0,4-0,8m	332454	< 1,50	6,1	447	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	44449	17,8	25,2
CC10	CC10_0,4-0,8m	28237	< 1,50	8,18	247	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	10082	26,2	22,8
CC11	CC11_sed	31144	< 1,50	6,48	279	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	8019	58,1	19,9
CC12	CC12_0,3-0,7m	31449	< 1,50	6,08	330	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	5545	23,3	21,6
CC12	CC12_1,6-2m	28896	< 1,50	3,36	269	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	5130	18,4	16,8
CC13	CC13_1,1-1,5m	33909	< 1,50	6,58	292	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	4706	22,6	21,9
CC15	CC15_0,7-1,1m	22774	< 1,50	2,72	307	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	1820	17,4	23,2
CC16	CC16_sed	38396	< 1,50	3,68	137	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	1774	23,3	9,28
CC18	CC18_0-0,1m	33604	< 1,50	7,9	315	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	11953	57,9	23,1
CC19	CC19_1,2-1,6m	280646	< 1,50	9,7	349	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	19353	9,47	16,1
CC21	CC21_0,7-1,1m	32037	< 1,50	3,16	280	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	4286	16,5	14,6
CC21	CC21_2,4-2,8m	26249	< 1,50	2,09	183	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	6846	8,17	13,5
CC22	CC22_0,8-1,2m	27863	< 1,50	3,09	195	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	2276	15,2	14,3
CC23	CC23_1,2-1,6m	29771	< 1,50	8,1	318	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	3794	42	17,6
Máximo		333648	< 1,50	13,5	447	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	281289	58,1	25,2
Mínimo		20045	< 1,50	1,56	116	< 2,00	< 1,00	< 25,0	< 0,900	1774	8,17	9,28
USEPA Industrial		1100000	470	3*	220000	2300	-	230000	100	-	-	350
País Vasco Industrial		-	-	200	-	-	-	-	50	-	550	-

Concentraciones en mg/kg.

Notas: - No analizado/no disponible; \* la normativa de la USEPA para arsénico se considera poco adecuada para las condiciones chilenas, por lo que solo se muestra como referencia.

Punto	Muestra	Cu	Fe	Pb	Li	Mg	Mn	Hg	Mo	Ni	P	K
CB01	CB01_0,8-1,2m	52,5	39077	10,5	5,69	4813	904	< 1,30	< 1,20	11,9	172	275
CB01	CB01_0-0,4m	39,1	43109	14,4	6,06	2408	1102	< 1,30	< 1,20	11,2	522	376
CB02	CB02_0,6-0,7m	48,3	29932	9,81	8,77	5287	599	< 1,30	< 1,20	14,2	48,9	124
CB02	CB02_0-0,4m	34,3	37265	10,3	5,68	1521	638	< 1,30	< 1,20	6,05	141	104
CB03	CB03_0-0,4m	34,5	29261	15,2	5,91	1188	327	< 1,30	< 1,20	9,29	291	119
CB03	CB03_2,6-3m	25	33342	17,8	< 1,50	3023	349	< 1,30	< 1,20	7,87	274	249
CB04	CB04_0,8-1,2m	35,6	29251	11,5	8,83	1496	257	< 1,30	< 1,20	9,35	215	43,8
CB04	CB04_1,2-1,6m	18,6	26175	15,3	5,39	2532	114	< 1,30	< 1,20	4,77	323	272
CC01	CC01_sed	110	327129	197	5,99	40675	1179	< 1,30	51,1	262	818	1640
CC04	CC04_1,5-1,9m	74,9	401611	42,7	3,35	25737	1111	< 1,30	1,91	26,7	473	1721
CC06	CC06_1,5-1,9m	51,2	46039	24,6	2,49	2082	3505	< 1,30	13,5	15,3	525	223
CC07	CC07_1,2-1,6m	31	36043	11,9	2,65	2433	2023	< 1,30	3,97	24,4	390	1235
CC08	CC08_0,4-0,8m	46	368282	43,6	2,77	30969	2023	< 1,30	3,97	30,4	460	1235
CC10	CC10_0,4-0,8m	45,2	45879	188	9,83	2810	1643	< 1,30	3,55	63,6	376	1813
CC11	CC11_sed	51,6	41734	113	7,21	3014	991	< 1,30	5,97	55,8	394	2262
CC12	CC12_0,3-0,7m	47,5	43520	50,4	6,52	3117	1294	< 1,30	1,94	29,7	315	1650
CC12	CC12_1,6-2m	42,3	36363	30,4	4,42	3065	1117	< 1,30	1,21	16,9	167	1668
CC13	CC13_1,1-1,5m	48,6	43826	39,5	7,27	3055	1061	< 1,30	2,41	26,2	339	2105
CC15	CC15_0,7-1,1m	31,1	33291	14,9	8,86	3648	1202	< 1,30	< 1,20	11,4	136	769
CC16	CC16_sed	44,2	39080	10	7,24	1739	375	< 1,30	< 1,20	10,8	290	1294
CC18	CC18_0-0,1m	92,2	45151	212	10,7	2988	1191	< 1,30	31,9	116	561	1187
CC19	CC19_1,2-1,6m	64	109008	12,4	< 1,50	11572	305	< 1,30	< 1,20	12,3	498	2468
CC21	CC21_0,7-1,1m	33,8	35078	15,7	10,1	3087	447	< 1,30	< 1,20	12	332	392
CC21	CC21_2,4-2,8m	25,1	37549	19,7	5,85	3769	242	< 1,30	< 1,20	5,71	284	385
CC22	CC22_0,8-1,2m	46,2	36535	11,8	5,81	3222	903	< 1,30	< 1,20	8,51	41,4	924
CC23	CC23_1,2-1,6m	42,6	44027	31,1	7,32	2567	1103	< 1,30	4,54	19,7	278	1167
Máximo		110	401611	212	10,7	40675	3505	< 1,30	51,1	262	818	2468
Mínimo		18,6	26175	9,81	< 1,50	1188	114	< 1,30	< 1,20	4,77	41,4	43,8
USEPA Industrial		47000	820000	800	2300	-	26000	46	5800	8100	-	-
País Vasco Industrial		**	-	1000	-	-	-	40	750	800	-	-

Concentraciones en mg/kg.

Notas: - No analizado/no disponible; \*\* el valor límite derivado es del orden de decenas de g/kg.

Punto	Muestra	Se	Ag	Na	Sr	Te	Tl	Sn	Ti	U	V	Zn	Cr VI
CB01	CB01_0,8-1,2m	2,03	< 0,6	275	57,4	< 1,0	< 1,0	< 1,00	2065	< 1,50	106	57,5	< 0,40
CB01	CB01_0-0,4m	< 1,50	< 0,6	155	37,4	< 1,0	< 1,0	1,26	2396	< 1,50	135	45,4	< 0,40
CB02	CB02_0,6-0,7m	1,88	< 0,6	569	58,2	< 1,0	< 1,0	1,33	1556	< 1,50	68,7	55,1	< 0,40
CB02	CB02_0-0,4m	1,81	< 0,6	222	25,2	< 1,0	< 1,0	1,01	1352	< 1,50	133	20,1	< 0,40
CB03	CB03_0-0,4m	< 1,50	< 0,6	176	33,4	< 1,0	< 1,0	1,18	914	< 1,50	105	31,8	< 0,40
CB03	CB03_2,6-3m	3,22	< 0,6	281	72,2	< 1,0	< 1,0	1,35	1866	< 1,50	74,8	66,6	< 0,40
CB04	CB04_0,8-1,2m	3,37	< 0,6	194	44,9	< 1,0	< 1,0	< 1,00	953	< 1,50	103	35,9	< 0,40
CB04	CB04_1,2-1,6m	< 1,50	< 0,6	355	67,2	< 1,0	< 1,0	1,21	1832	< 1,50	65,8	79,6	< 0,40
CC01	CC01_sed	1,67	< 0,6	29043	122	< 1,0	< 1,0	3,69	2256	< 1,50	591	1510	< 0,40
CC04	CC04_1,5-1,9m	2,12	< 0,6	41711	47,9	< 1,0	< 1,0	1,83	2249	< 1,50	179	293	< 0,40
CC06	CC06_1,5-1,9m	2,08	< 0,6	752	38,2	< 1,0	< 1,0	2,96	1974	< 1,50	173	178	< 0,40
CC07	CC07_1,2-1,6m	1,5	< 0,6	1047	79,8	< 1,0	< 1,0	< 1,00	1325	< 1,50	108	619	< 0,40
CC08	CC08_0,4-0,8m	1,5	< 0,6	10475	79,8	< 1,0	< 1,0	1,9	2431	< 1,50	156	619	< 0,40
CC10	CC10_0,4-0,8m	< 1,50	< 0,6	5595	52,8	< 1,0	< 1,0	4,6	1697	< 1,50	263	267	< 0,40

Punto	Muestra	Se	Ag	Na	Sr	Te	Tl	Sn	Ti	U	V	Zn	Cr VI
CC11	CC11_sed	< 1,50	< 0,6	5146	55,7	< 1,0	< 1,0	4,05	1914	< 1,50	215	933	< 0,40
CC12	CC12_0,3-0,7m	< 1,50	< 0,6	5433	56,4	< 1,0	< 1,0	2,83	2024	< 1,50	167	232	< 0,40
CC12	CC12_1,6-2m	< 1,50	< 0,6	5548	62,2	< 1,0	< 1,0	1,52	1823	< 1,50	120	142	< 0,40
CC13	CC13_1,1-1,5m	2,27	< 0,6	11421	59,8	< 1,0	< 1,0	2,36	1958	< 1,50	170	154	< 0,40
CC15	CC15_0,7-1,1m	< 1,50	< 0,6	1118	26,9	< 1,0	< 1,0	< 1,00	1539	< 1,50	81,4	61,6	< 0,40
CC16	CC16_sed	2,46	< 0,6	3170	29,2	< 1,0	< 1,0	1,12	1552	< 1,50	128	57,9	< 0,40
CC18	CC18_0-0,1m	1,94	< 0,6	895	48,1	< 1,0	< 1,0	6,58	2005	< 1,50	317	1243	< 0,40
CC19	CC19_1,2-1,6m	< 1,50	< 0,6	257745	110	< 1,0	< 1,0	1,12	1124	1,56	122	36,3	< 0,40
CC21	CC21_0,7-1,1m	< 1,50	< 0,6	526	79,2	< 1,0	< 1,0	1,26	1981	< 1,50	110	67,7	< 0,40
CC21	CC21_2,4-2,8m	< 1,50	< 0,6	594	96,4	< 1,0	< 1,0	1,28	2554	< 1,50	74,4	73,4	< 0,40
CC22	CC22_0,8-1,2m	2,3	< 0,6	9505	38	< 1,0	< 1,0	< 1,00	850	< 1,50	88,4	29,5	< 0,40
CC23	CC23_1,2-1,6m	< 1,50	< 0,6	4968	40,3	< 1,0	< 1,0	2,07	1745	< 1,50	155	494	< 0,40
Máximo		3,37	< 0,6	257745	122	< 1,0	< 1,0	6,58	2554	1,56	591	1510	< 0,40
Mínimo		< 1,50	< 0,6	155	25,2	< 1,0	< 1,0	< 1,00	850	1,56	65,8	20,1	< 0,40
USEPA Industrial		5800	-	-	700000	-	12	700000	600000	-	5800	350000	6,3
País Vasco Industrial		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	15

Concentraciones en mg/kg.

Notas: - No analizado/no disponible. \*\* el valor límite derivado es del orden de decenas de g/kg.

Como se puede observar, solo existe superación para el analito arsénico al utilizar como referencia la norma USEPA para suelos industriales, situación que ocurre en 21 de las 26 muestras medidas. A pesar de lo anterior se debe destacar que el promedio de arsénico en las muestras background es de 3,7 mg/kg y el promedio del resto de las muestras es de 6,4 mg/kg; situación que es relevante debido a que incluso las muestras background se encuentran por sobre la norma de referencia USEPA para suelos industriales. Esto es debido a que la norma de la USEPA para arsénico es excesivamente conservadora y de poca aplicación práctica. Cabe notar, por otra parte, que no se sobrepasa la norma de referencia para uso industrial de País Vasco para ningún metal.

Por otro lado, las concentraciones promedio en las muestras background para los analitos de aluminio, calcio, hierro, plomo, níquel, potasio, sodio y zinc, son significativamente menores al promedio del resto de las muestras. Pero se vuelve a relevar que en ningún caso estos analitos superan ni la norma de referencia USEPA ni del País Vasco para suelos industriales.

### 6.1.2 Iones y nutrientes

Los resultados para iones y nutrientes se presentan en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2 – Resultados de iones y nutrientes en muestras de suelo

Punto	Parámetro	Fluoruro	Cloruro	Nitrito	Nitrito-N	Sulfato
CB01	CB01_0,8-1,2m	< 2,2	36,4	< 2,0	---	26,9
CB01	CB01_0-0,4m	< 2,2	51,7	< 2,0	---	43,2
CB02	CB02_0,6-0,7m	< 2,2	29	< 2,0	---	49,2
CB02	CB02_0-0,4m	< 2,2	44,5	< 2,0	---	90,8
CB03	CB03_0-0,4m	< 2,2	11,9	< 2,0	---	26,6
CB03	CB03_2,6-3m	< 2,2	12,7	< 2,0	---	27,8
CB04	CB04_0,8-1,2m	< 2,2	16,8	< 2,0	---	19,1
CB04	CB04_1,2-1,6m	< 2,2	9,8	< 2,0	---	12,2
CC01	CC01_sed	< 2,2	63,79	< 2,0	< 0,6	19,74

Punto	Parámetro	Fluoruro	Cloruro	Nitrito	Nitrito-N	Sulfato
CC04	CC04_1,5-1,9m	< 2,2	142,1	< 2,0	< 0,6	12,66
CC06	CC06_1,5-1,9m	< 2,2	72,57	< 2,0	< 0,6	< 6,9
CC07	CC07_1,2-1,6m	< 2,2	71,58	< 2,0	< 0,6	13,09
CC08	CC08_0,4-0,8m	< 2,2	30,9	< 2,0	< 0,6	14,12
CC10	CC10_0,4-0,8m	< 2,2	196,9	< 2,0	< 0,6	18,77
CC11	CC11_sed	< 2,2	168,8	< 2,0	< 0,6	21,53
CC12	CC12_0,3-0,7m	< 2,2	92,59	< 2,0	< 0,6	13,05
CC12	CC12_1,6-2m	< 2,2	159,9	< 2,0	< 0,6	12,6
CC13	CC13_1,1-1,5m	< 2,2	323,4	< 2,0	< 0,6	23,48
CC15	CC15_0,7-1,1m	< 2,2	35,87	< 2,0	< 0,6	< 6,9
CC16	CC16_sed	< 2,2	32,36	< 2,0	< 0,6	11,14
CC18	CC18_0-0,1m	< 2,2	7,097	< 2,0	< 0,6	11,03
CC19	CC19_1,2-1,6m	< 2,2	808,7	< 2,0	< 0,6	40,15
CC21	CC21_0,7-1,1m	< 2,2	7,291	< 2,0	< 0,6	< 6,9
CC21	CC21_2,4-2,8m	< 2,2	9,619	< 2,0	< 0,6	< 6,9
CC22	CC22_0,8-1,2m	< 2,2	825,0	< 2,0	< 0,6	49,49
CC23	CC23_1,2-1,6m	< 2,2	136,7	< 2,0	< 0,6	12,17
Máximo BG <sup>10</sup>		< 2,2	51,7	< 2,0	---	90,8
Mínimo BG		< 2,2	9,8	< 2,0	---	12,2
Máximo CITA		< 2,2	825	< 2,0	< 0,6	49,49
Mínimo CITA		< 2,2	7,097	< 2,0	< 0,6	< 6,9

Concentraciones en mg/kg.

Punto	Parámetro	Nitrato	Nitrato-N	Fosfato	Nitrógeno Total Kjeldahl	Nitrógeno Total	Sulfuro
CB01	CB01_0,8-1,2m	12,4	---	< 14,8	645,5	646,1	< 0,10
CB01	CB01_0-0,4m	11,1	---	< 14,8	1136	1136,5	< 0,10
CB02	CB02_0,6-0,7m	< 4,3	---	< 14,8	332	332	< 0,10
CB02	CB02_0-0,4m	11,8	---	< 14,8	1002,3	1002,9	< 0,10
CB03	CB03_0-0,4m	< 4,3	---	< 14,8	1079,5	1079,5	< 0,10
CB03	CB03_2,6-3m	< 4,3	---	< 14,8	184,9	184,9	< 0,10
CB04	CB04_0,8-1,2m	< 4,3	---	< 14,8	798,6	798,6	< 0,10
CB04	CB04_1,2-1,6m	< 4,3	---	< 14,8	200,6	200,6	< 0,10
CC01	CC01_sed	466,3	105,3	< 14,8	1657,2	1762,5	< 0,10
CC04	CC04_1,5-1,9m	1628	367,5	< 14,8	1181,1	1548,6	< 0,10
CC06	CC06_1,5-1,9m	150,2	33,91	< 14,8	947,8	981,7	< 0,10
CC07	CC07_1,2-1,6m	310,9	70,2	< 14,8	641,9	712,1	< 0,10
CC08	CC08_0,4-0,8m	546,7	123,4	< 14,8	698,5	821,9	< 0,10
CC10	CC10_0,4-0,8m	4410	995,8	< 14,8	586,2	1582	< 0,10
CC11	CC11_sed	2214	499,9	< 14,8	605,6	1105,5	< 0,10
CC12	CC12_0,3-0,7m	2110	476,4	< 14,8	372,1	848,5	< 0,10
CC12	CC12_1,6-2m	2112	476,9	< 14,8	610,7	1087,6	< 0,10
CC13	CC13_1,1-1,5m	4483	1012	< 14,8	818,8	1830,8	< 0,10
CC15	CC15_0,7-1,1m	127	28,67	< 14,8	255	283,7	< 0,10
CC16	CC16_sed	306,3	69,15	< 14,8	902,3	971,4	< 0,10

<sup>10</sup> BG: muestras background



Punto	Parámetro	Nitrato	Nitrato-N	Fosfato	Nitrógeno Total Kjeldahl	Nitrógeno Total	Sulfuro
CC18	CC18_0-0,1m	40,23	9,083	< 14,8	355	364,1	< 0,10
CC19	CC19_1,2-1,6m	9911	2238	< 14,8	400,8	2638,8	< 0,10
CC21	CC21_0,7-1,1m	30,03	6,78	< 14,8	296,4	303,2	< 0,10
CC21	CC21_2,4-2,8m	26,14	5,902	< 14,8	218,8	224,7	< 0,10
CC22	CC22_0,8-1,2m	7801	1761	< 14,8	1557,1	3318,1	< 0,10
CC23	CC23_1,2-1,6m	1574	355,3	< 14,8	452,7	808	< 0,10
Máximo BG		12,4	---	< 14,8	1136	1136,5	< 0,10
Mínimo BG		< 4,3	---	< 14,8	184,9	184,9	< 0,10
Máximo CITA		9911	2238	< 14,8	1657,2	3318,1	< 0,10
Mínimo CITA		26,14	5,902	< 14,8	218,8	224,7	< 0,10

Concentraciones en mg/kg.

Los analitos anteriores no presentan niveles de referencia descritos en la literatura, al no presentar riesgos a la salud, si no que más bien se utilizan para una descripción general de las condiciones de suelo.

A pesar de que no se identifica una tendencia clara en los resultados se puede destacar que en promedio los resultados para cloruro, nitrato y nitrógeno total de muestras background tienen valores promedio significativamente más bajos que el promedio del resto de las muestras.

### 6.1.3 Parámetros básicos

Los resultados para los parámetros básicos se presentan en la Tabla 6-3.

Tabla 6-3 – Resultados de parámetros básicos en muestras de suelo

Punto	Muestra	Conductividad eléctrica (μS/cm)	pH pasta	Carbono orgánico (%)
CB01	CB01_0,8-1,2m	19	6,9	2,9
CB01	CB01_0-0,4m	26	6	13,9
CB02	CB02_0,6-0,7m	59	7,6	0,7
CB02	CB02_0-0,4m	58	6,4	6,2
CB03	CB03_0-0,4m	27	6,2	6,6
CB03	CB03_2,6-3m	19	6,7	0,6
CB04	CB04_0,8-1,2m	19	6,4	5,4
CB04	CB04_0-0,4m	45	6,6	-
CB04	CB04_1,2-1,6m	17	6,9	0,6
CC01	CC01_sed	1276	8,2	17,7
CC02	CC02_0-0,4m	430	5,2	-
CC02	CC02_1-1,4m	512	6,5	-
CC02	CC02_3-3,4m	23	8,2	-
CC03	CC03_1-1,4m	105	6,1	-
CC03	CC03_3-3,4m	68	6,7	-
CC04	CC04_0-0,4m	917	8,4	-
CC04	CC04_1,5-1,9m	1626	7,6	6,7
CC05	CC05_0-0,1m	419	6,4	-
CC06	CC06_0-0,4m	184	8,2	-
CC06	CC06_1,5-1,9m	899	6,6	7,5
CC06	CC06_3,2-3,6m	75	8,4	-

Punto	Muestra	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH pasta	Carbono orgánico (%)
CC07	CC07_0-0,4m	2851	5,7	-
CC07	CC07_1,2-1,6m	1083	8,1	2,9
CC07	CC07_2,5-2,9m	817	6	-
CC08	CC08_0,4-0,8m	890	8,1	5,4
CC08	CC08_0-0,4m	284	8,7	-
CC09	CC09_0,7-1,1m	4190	7,2	-
CC09	CC09_0-0,4m	3568	7,5	-
CC10	CC10_0,4-0,8m	3887	8,1	7,2
CC10	CC10_0-0,4m	3047	7,7	-
CC11	CC11_sed	4079	7,8	6,6
CC12	CC12_0,3-0,7m	4186	7,2	5,5
CC12	CC12_1,6-2m	3653	7,6	6,4
CC13	CC13_0-0,4m	4062	7,5	-
CC13	CC13_1,1-1,5m	6411	7,8	6,2
CC14	CC14_0-0,4m	4031	7,5	-
CC14	CC14_1,1-1,5m	4742	7,5	-
CC15	CC15_0,7-1,1m	742	5,6	1,3
CC15	CC15_0-0,4m	6002	7,6	-
CC16	CC16_sed	1037	6,5	6,8
CC17	CC17_0-0,1m	730	6,6	-
CC18	CC18_0-0,1m	428	6,4	9,9
CC19	CC19_0-0,4m	1280	8,1	-
CC19	CC19_1,2-1,6m	17410	8,4	1,8
CC20	CC20_0-0,4m	3155	8,2	-
CC21	CC21_0,7-1,1m	132	6,4	3,6
CC21	CC21_0-0,4m	68	6,4	-
CC22	CC22_0,8-1,2m	3568	7,8	8,8
CC22	CC22_0-0,4m	3821	7,5	-
CC23	CC23_0-0,4m	730	7,3	-
CC23	CC23_1,2-1,6m	3504	7,3	2,8
Máximo BG		59	7,6	13,9
Mínimo BG		17	6	0,6
Máximo CITA		17410	8,7	17,7
Mínimo CITA		23	5,2	1,3
Norma canadiense		4000		

Notas: - No analizado. En gris valores superiores a norma canadiense para conductividad eléctrica.

Los analitos anteriores no presentan niveles de referencia descritos en la literatura, al no presentar riesgos a la salud, si no que más bien se utilizan para una descripción general de las condiciones de suelo y pueden influir en el comportamiento de compuestos y/o elementos considerados como contaminantes.

A pesar de que no se identifica una tendencia clara en los resultados se puede destacar que en promedio las muestras background para conductividad eléctrica tienen un promedio de 32,1 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y el promedio del resto de las muestras corresponde a 2348,8 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Situación similar ocurre con el pH y el carbono orgánico, donde el promedio de las muestras background es menor al del resto de las muestras, pero de forma menos significativa.

Como fue indicado en la Sección 5.5.2.1, la norma canadiense indica un criterio para remediación según la conductividad del suelo. Las muestras que superan este nivel (4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) son las ubicadas en los puntos de muestreo CC09, CC11, CC12, CC13, CC14, CC15 y CC19, es decir, aquellas muestras asociadas al TK10 y a la cara este del macizo CITA.

#### 6.1.4 Compuestos orgánicos

Los análisis para compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos totales del petróleo (TPH) y compuestos orgánicos semivolátiles (SCOV) reportaron valores bajo los límites de detección en las 18 muestras analizadas. Estos no fueron tabulados y no se presentan en este informe, sin embargo, se adjuntan junto con todos los resultados en los informes de laboratorio incluidos en el Anexo 3.

#### 6.1.5 Otros contaminantes

Los análisis para cianuro reportaron valores bajo los límites de detección en las 18 muestras analizadas. Estos no fueron tabulados y no se presentan en este informe, sin embargo, se adjuntan junto con todos los resultados en los informes de laboratorio incluidos en el Anexo 3.

### 6.2 Resultados de aguas en calicatas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los análisis de las muestras de agua obtenidas de calicatas.

Tabla 6-4 – Resultados de parámetros básicos en muestras de agua

Muestra	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH
CB04_AG	74	6,48
CC04_AG	11170	6,19
CC08_AG	4150	6,74

Al igual que en las muestras de suelo, se puede observar una diferencia significativa en las conductividades de las aguas que afloraban en las calicatas dentro de CITA (CC04 corresponde a calicata en Zona 2, al costado de TK9; mientras que CC08 corresponde a calicata en Zona 2, al costado de Piscina 2) y la calicata background (en sector Hábitat).

### 6.3 Resultados de aguas en pozos de monitoreo

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los análisis en aguas subterráneas. Se comparan estos además con las normas chilenas para agua de riego (NCh1333) y agua potable (NCh409), esta última solo como referencia, como fue indicado en la Sección 5.5.2.2.

Se presentan los resultados consolidados para todos los pozos monitoreados, a pesar de que fueron muestreados y analizados en distintas fechas<sup>11</sup>, como fue indicado en la Sección 5.3.

### 6.3.1 Metales y metaloides

Los resultados para metales y metaloides totales y disueltos se presentan en la Tabla 6-5 y Tabla 6-6, respectivamente.

Tabla 6-5 – Resultados de metales totales en muestras de agua subterránea

Pozo	Al	Sb	As	Ba	Be	Bi	B	Cd	Ca	Cr	Co
PM1-S	0,03	< 0,0002	0,0011	0,0098	< 0,00002	< 0,00002	< 0,002	< 0,00002	38,61	0,00022	0,00016
PM2-S	0,09	0,0005	0,0071	0,0129	< 0,00002	< 0,00002	0,032	< 0,00002	37,69	0,00049	0,00012
PM3-S	0,82	< 0,0002	0,0011	0,1227	< 0,00002	< 0,00002	0,004	0,00004	114,7	0,00088	0,00935
PM3-I	0,03	0,0006	0,0079	0,0126	< 0,00002	< 0,00002	0,023	< 0,00002	17,54	0,00024	< 0,00010
PM4-S	0,594	< 0,0002	0,00244	0,01509	0,00011	< 0,00002	< 0,00200	< 0,00002	9,548	0,00256	0,00014
PM5-S	0,24	< 0,0002	0,0026	0,0205	0,00011	< 0,00002	0,004	< 0,00002	11,19	< 0,00010	0,00057
NCh1333	5		0,1	4	0,1		0,75	0,01		0,1	0,05
NCh409			0,01					0,01		0,05	

Pozo	Cu	Fe	Pb	Li	Mg	Mn	Hg	Mo	Ni	P	K
PM1-S	0,0008	0,102	0,0018	0,0021	16,94	0,02862	< 0,00010	0,0005	0,00035	0,081	4,671
PM2-S	0,0023	0,126	0,0027	0,0034	11,92	0,00618	< 0,00010	0,0016	0,00052	0,268	5,155
PM3-S	0,0012	7,595	0,0009	0,0003	59,59	5,976	< 0,00010	0,001	0,00157	0,025	7,404
PM3-I	< 0,0005	0,02	0,0006	0,0014	11,89	0,4771	< 0,00010	0,0014	0,00013	0,232	5,132
PM4-S	0,01684	1,108	0,00452	< 0,00030	4,566	0,01277	< 0,00010	0,00097	0,00049	0,2713	1,589
PM5-S	0,0012	0,384	0,0012	< 0,0003	5,883	1	< 0,00010	0,0008	< 0,00010	0,177	2,494
NCh1333	0,2	5	5	2,5		0,2	0,001	0,01	0,2		
NCh409	2	0,3	0,05		125	0,1	0,001				

Pozo	Se	Si	Ag	Na	Sr	Tl	Sn	Ti	U	V	Zn
PM1-S	< 0,0003	31,91	< 0,00002	17,87	0,3161	< 0,0002	< 0,0005	0,0016	0,00017	0,0085	0,0562
PM2-S	0,0034	28,63	< 0,00002	79,32	0,2047	< 0,0002	< 0,0005	0,0056	0,00016	0,0544	0,0731
PM3-S	0,0017	17,62	< 0,00002	25,1	0,8898	< 0,0002	< 0,0005	0,0521	0,00019	< 0,0003	0,0647
PM3-I	< 0,0003	28,81	< 0,00002	19,88	0,2046	< 0,0002	< 0,0005	0,0024	0,00013	0,0529	0,0545
PM4-S	0,00043	32,96	< 0,00002	10	0,07228	< 0,0002	< 0,0005	0,05604	< 0,00006	0,01786	0,00795
PM5-S	< 0,0003	29,82	< 0,00002	12,51	0,0849	< 0,0002	< 0,0005	0,0173	< 0,00006	0,0039	0,0545
NCh1333	0,02		0,2							0,1	2
NCh409	0,01										3

Notas: Concentraciones en mg/kg. En gris valores superiores a norma de riego NCh1333. Para metales sin norma, se deja vacío.

Tabla 6-6 – Resultados de metales disueltos en muestras de agua subterránea

Pozo	Al	Sb	As	Ba	Be	Bi	B	Cd	Ca	Cr	Co
PM1-S	< 0,010	< 0,0002	0,001	0,0096	< 0,00002	< 0,00002	< 0,002	< 0,00002	35,66	< 0,0001	< 0,0001
PM2-S	0,04	0,0004	0,0068	0,0125	< 0,00002	< 0,00002	0,03	< 0,00002	34,77	0,0003	< 0,0001

<sup>11</sup> Los pozos PM1-S, PM2-S, PM3-S, PM3-I y PM5-S fueron monitoreados el 3 de octubre de 2023, mientras que el pozo PM4-S fue muestreado el 12 de enero de 2024.

Pozo	Al	Sb	As	Ba	Be	Bi	B	Cd	Ca	Cr	Co
PM3-S	0,717	< 0,0002	0,0008	0,1206	< 0,00002	< 0,00002	< 0,002	< 0,00002	110,44	< 0,0001	0,009
PM3-I	0,012	0,0005	0,006	0,0102	< 0,00002	< 0,00002	0,01	< 0,00002	12,53	0,0002	< 0,0001
PM4-S	0,085	< 0,0002	0,0021	0,0113	< 0,00002	< 0,00002	< 0,002	< 0,00002	9,47	0,00108	< 0,0001
PM5-S	0,21	< 0,0002	0,0023	0,0205	< 0,00002	< 0,00002	0,003	< 0,00002	10,38	< 0,0001	< 0,0001
NCh1333	5		0,1	4	0,1		0,75	0,01		0,1	0,05
NCh409			0,01					0,01		0,05	

Pozo	Cu	Fe	Pb	Li	Mg	Mn	Hg	Mo	Ni	P	K
PM1-S	< 0,0005	0,052	< 0,0004	0,0018	15,779	0,0277	< 0,0001	0,0004	0,0003	0,064	4,259
PM2-S	0,0007	0,019	< 0,0004	0,003	11,115	0,0029	< 0,0002	0,0015	0,0001	0,266	4,756
PM3-S	< 0,0005	3,735	< 0,0004	< 0,0003	56,229	5,8018	< 0,0002	0,0009	0,0014	< 0,005	7,082
PM3-I	< 0,0005	0,012	< 0,0004	0,0005	6,358	0,0025	< 0,0002	0,0009	< 0,0001	0,231	3,333
PM4-S	0,0028	0,045	0,0009	< 0,0003	4,546	0,00319	< 0,0001	0,0007	0,0002	0,204	1,562
PM5-S	< 0,0005	0,193	0,0005	< 0,0003	5,402	0,9513	< 0,0001	0,0007	< 0,0001	0,173	2,24
NCh1333	0,2	5	5	2,5		0,2	0,001	0,01	0,2		
NCh409	2	0,3	0,05		125	0,1	0,001				

Pozo	Se	Si	Ag	Na	Sr	Tl	Sn	Ti	U	V	Zn
PM1-S	< 0,0003	30,8	< 0,00002	16,843	0,2923	< 0,0002	< 0,0005	0,0005	0,00015	0,0074	0,0122
PM2-S	0,0028	27,47	< 0,00002	74,368	0,1908	< 0,0002	< 0,0005	0,0016	0,00014	0,0535	0,0062
PM3-S	< 0,0003	17,2	< 0,00002	24	0,855	< 0,0002	< 0,0005	0,0105	0,00016	< 0,0003	0,0119
PM3-I	< 0,0003	28,23	< 0,00002	11,194	0,0758	< 0,0002	< 0,0005	0,0007	< 0,00006	0,0106	0,0038
PM4-S	< 0,0003	32,55	< 0,00002	9,837	0,071	< 0,0002	< 0,0005	0,0084	< 0,00006	0,0157	0,0034
PM5-S	< 0,0003	28,38	< 0,00002	11,398	0,0795	< 0,0002	< 0,0005	0,0081	< 0,00006	0,0028	0,0093
NCh1333	0,02		0,2							0,1	2
NCh409	0,01										3

Notas: Concentraciones en mg/L. En gris valores superiores a norma de riego NCh1333. Para metales sin norma, se deja vacío.

Se observa de los resultados de análisis de metales totales que en los pozos PM3-S, PM3-I y PM5-S hay superaciones de algunos parámetros como hierro y manganeso, al comparar con las normas NCh1333 y NCh409.

Sin embargo, revisando las concentraciones de metales disueltos, en el pozo **PM3-S** se supera solo la norma de agua potable (en general más conservadora que la de agua de riego) para **hierro** y ambas normas para **manganeso**; mientras que en el pozo **PM5-S** se superan ambas normas solo para **manganeso**. La comparación con la norma de agua potable se realizó solo de manera referencial, ya que los pozos de Ecobio no tienen el requisito de cumplir con esta normativa.

Cabe notar que las diferencias entre Mn total y disuelto en **PM3-I**, y entre Fe total y disuelto en **PM4-S**, indican que las concentraciones elevadas se refieren solamente a detrimento (partículas sólidas en la muestra) de la matriz del acuífero, y por ende no revisten un problema desde el punto de vista ambiental.

### 6.3.2 Iones y nutrientes

Los resultados para iones y nutrientes en las aguas subterráneas se presentan en la Tabla 6-7.



Tabla 6-7 – Resultados de iones y nutrientes en muestras de agua subterránea

Pozo	Fluoruro	Cloruro	Nitrito	Nitrito-N	Sulfato	Nitrato	Nitrato-N
PM1-S	< 0,06	23,21	< 0,30	< 0,09	73,12	4,79	1,08
PM2-S	< 0,06	34,87	< 0,30	< 0,09	173	7,76	1,75
PM3-S	< 0,06	228,6	< 0,30	< 0,09	85,83	< 0,22	< 0,05
PM3-I	< 0,06	7,66	< 0,30	< 0,09	5,87	1,38	0,31
PM4-S	< 0,06	2,99	< 0,30	< 0,09	1,29	< 0,22	< 0,05
PM5-S	< 0,06	8,4	< 0,30	< 0,09	6,23	0,97	0,22
NCh1333	1	200			250		
NCh409	1,5	400	3	3	500	50	50

Pozo	Fosfato	Bicarbonato	Sulfuro	Amonio	Nitrógeno Kjeldahl	Nitrógeno Total
PM1-S	< 0,35	95,6	< 0,050	<0,064	< 0,5	1,1
PM2-S	< 0,35	110,8	< 0,050	<0,064	< 0,5	1,8
PM3-S	< 0,35	189,8	< 0,050	<0,064	< 0,5	< 0,5
PM3-I	< 0,35	87	< 0,050	<0,064	< 0,5	< 0,5
PM4-S	< 0,35	54,9	< 0,050	<0,064	< 0,5	< 0,5
PM5-S	< 0,35	69,4	< 0,050	<0,064	< 0,5	< 0,5
NCh1333						
NCh409						

Notas: Concentraciones en mg/L, a excepción de bicarbonato que se presenta como mg CaCO<sub>3</sub>/L. En gris valores superiores a norma de riego NCh1333.

Como se observa en la tabla anterior, solo se supera levemente la norma de agua de riego para **cloruro** en el pozo **PM3-S**. Por otro lado, no se detectan fluoruro, nitrito, fosfato, sulfuro, amonio ni nitrógeno Kjeldahl, lo que indica que no habría impactos debido a estos compuestos en el agua subterránea.

### 6.3.3 Parámetros básicos

Los resultados para los parámetros básicos se presentan en la Tabla 6-8.

Tabla 6-8 – Resultados de parámetros básicos en muestras de agua subterránea

Pozo	Conductividad eléctrica (µS/cm)	pH
PM1-S	433	7,14
PM2-S	678	9,02
PM3-S	1279	6,71
PM3-I	186	7,3
PM4-S	135	7,83
PM5-S	169	7,41
NCh1333	750 * / 1500 **	5,5 - 9
NCh409		6,5 - 8,5

Notas: En gris valores superiores a norma de riego NCh1333. \* límite para clasificación “agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales”. \*\* límite para clasificación “agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles”

Se observa de los resultados que el pozo **PM3-S** posee una **conductividad eléctrica** entre 750 y 1500 µS/cm, lo que para la norma de riego sería clasificada como “agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles”, sin embargo, el agua del presente pozo no es utilizada para regadío, sino solo como monitoreo.

### 6.3.4 Otros parámetros

Los resultados para otros parámetros en las aguas subterráneas se presentan en la Tabla 6-9.

Tabla 6-9 – Resultados de otros parámetros en muestras de agua subterránea

Pozo	Sólidos disueltos totales (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Sólidos sedimentables (mL/L*hr)	Aceites y grasas (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
PM1-S	272	4	< 0,1	< 2,0	< 2,0
PM2-S	426	< 3	< 0,1	< 2,0	< 2,0
PM3-S	772	34	< 0,1	< 2,0	4,5
PM3-I	114	< 3	< 0,1	< 2,0	< 2,0
PM4-S	189	7	< 0,1	< 2,0	2,8
PM5-S	110	12	< 0,1	< 2,0	< 2,0
NCh1333	500 *				
NCh409	1500				

Pozo	Carbono orgánico total (mg/L)	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Poder espumígeno (mm)	Surfactantes aniónicos (SAAM) (mg/L)	Fenol (mg/L)
PM1-S	2,1	< 1.8	< 1,00	< 0,010	< 0,0005
PM2-S	0,5	< 1.8	< 1,00	< 0,010	< 0,0005
PM3-S	4	5	< 1,00	< 0,010	< 0,0005
PM3-I	7,8	1,8	< 1,00	< 0,010	< 0,0005
PM4-S	< 0,3	220	< 1,00	< 0,010	< 0,0005
PM5-S	5	< 1.8	< 1,00	< 0,010	< 0,0005
NCh1333		1000			
NCh409		sin detección			0,002

Notas: Concentraciones en mg/L. En gris valores superiores a norma de riego NCh1333. \* límite para clasificación “agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales”

Como se observa en la tabla anterior, se supera la norma para agua potable (NCh409) para **coliformes fecales** en los pozos **PM3-S, PM3-I y PM4-S**, no obstante, esta norma solo es indicada como referencia (no existen usos de agua potable en el sitio). Ninguno de los pozos supera el límite establecido en la NCh 1333 (riego) para coliformes fecales y, por otro lado, no se detectan aceites y grasas, surfactantes aniónicos ni compuestos fenólicos.

La comparación con la norma de agua potable se realizó solo de manera referencial, ya que los pozos de Ecobio no tienen el requisito de cumplir con esta normativa.

### 6.3.5 Compuestos orgánicos

Los análisis para compuestos orgánicos volátiles (COVs), hidrocarburos totales del petróleo (TPH) y compuestos orgánicos semivolátiles (SCOVs) reportaron valores bajo los límites de detección (y además bajo los valores indicados por las normas de agua potable y riego, en los compuestos normados) en las 5 muestras de agua subterránea analizadas. Estos no fueron tabulados y no se presentan en este informe, sin embargo, se adjuntan junto con todos los resultados en los informes de laboratorio incluidos en el Anexo 5.

#### 6.3.6 Otros contaminantes

Los análisis para cianuro reportaron valores bajo los límites de detección y bajo los valores indicados por las normas de agua potable y riego en las 5 muestras de agua subterránea analizadas. Además, los análisis para cromo hexavalente reportaron valores bajo los límites de detección en todas las muestras. Estos no fueron tabulados y no se presentan en este informe, sin embargo, se adjuntan junto con todos los resultados en los informes de laboratorio incluidos en el Anexo 5.

#### 6.3.7 Análisis hidroquímico

A partir de los resultados de laboratorio en las muestras de agua en pozos, se realizó un análisis de iones mayores, que resulta de utilidad para determinar, entre otras cosas, la calidad del análisis y las variaciones químicas de las aguas subterráneas. Para esto se realizó un balance iónico con ayuda del programa Easy Quim 5.0 (diseñado por el Grupo de Hidrología Subterránea – Departamento de Ingeniería del Terreno de la Universidad Politécnica de Cataluña).

Con respecto a la calidad del análisis, el programa calculó un error entre el -19,7% y el 8,5% en el balance iónico, lo que es considerado como admisible (dentro del 20%).

Luego, a partir del análisis de iones mayores, fue posible caracterizar las aguas de los distintos pozos y representarlos visualmente con los diagramas de Schöller-Berkaloff (Figura 6-1) y Piper (Figura 6-2).

# SCHÖELLER-BERKALOFF DIAGRAM

Volta (Feb 2024)

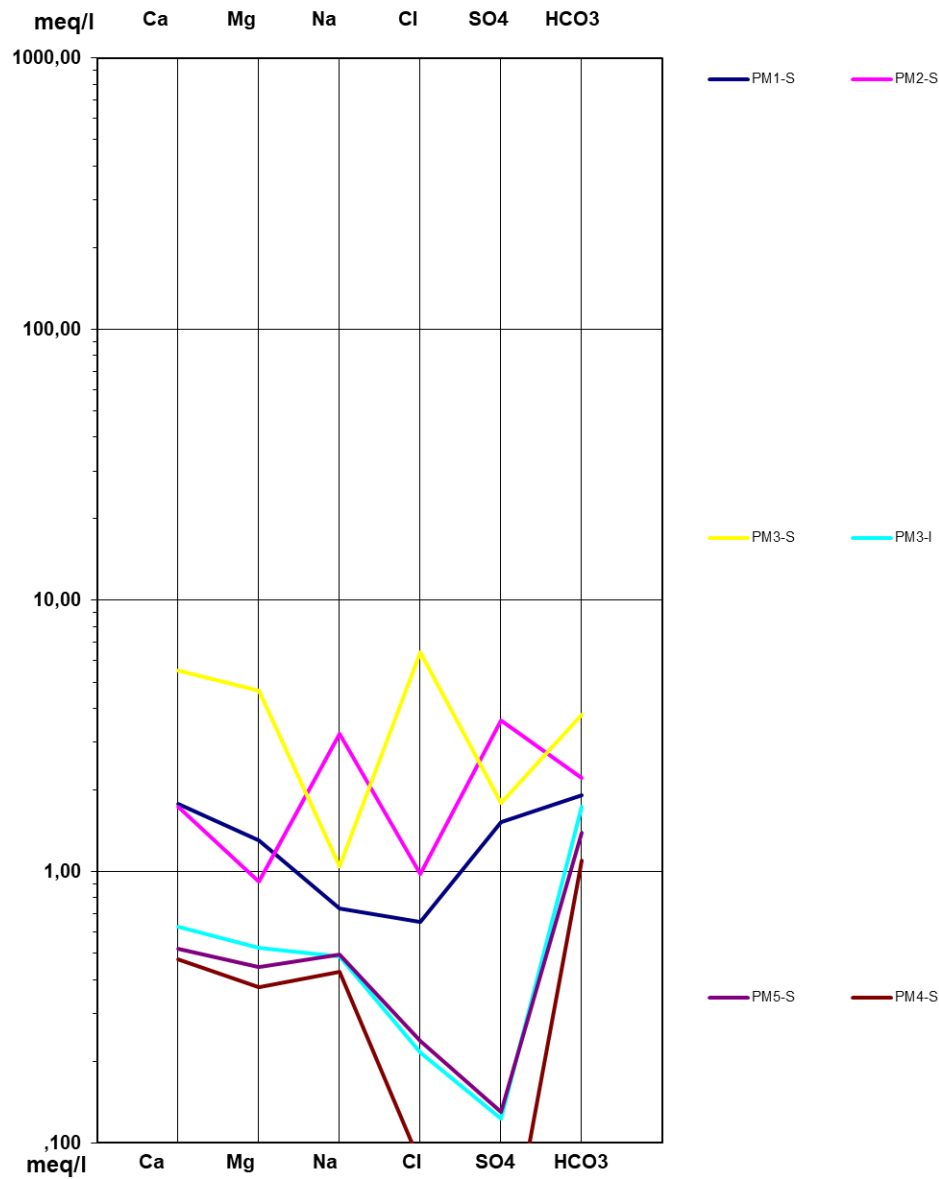


Figura 6-1 – Diagrama de Schöeller-Berkaloff para pozos monitoreados

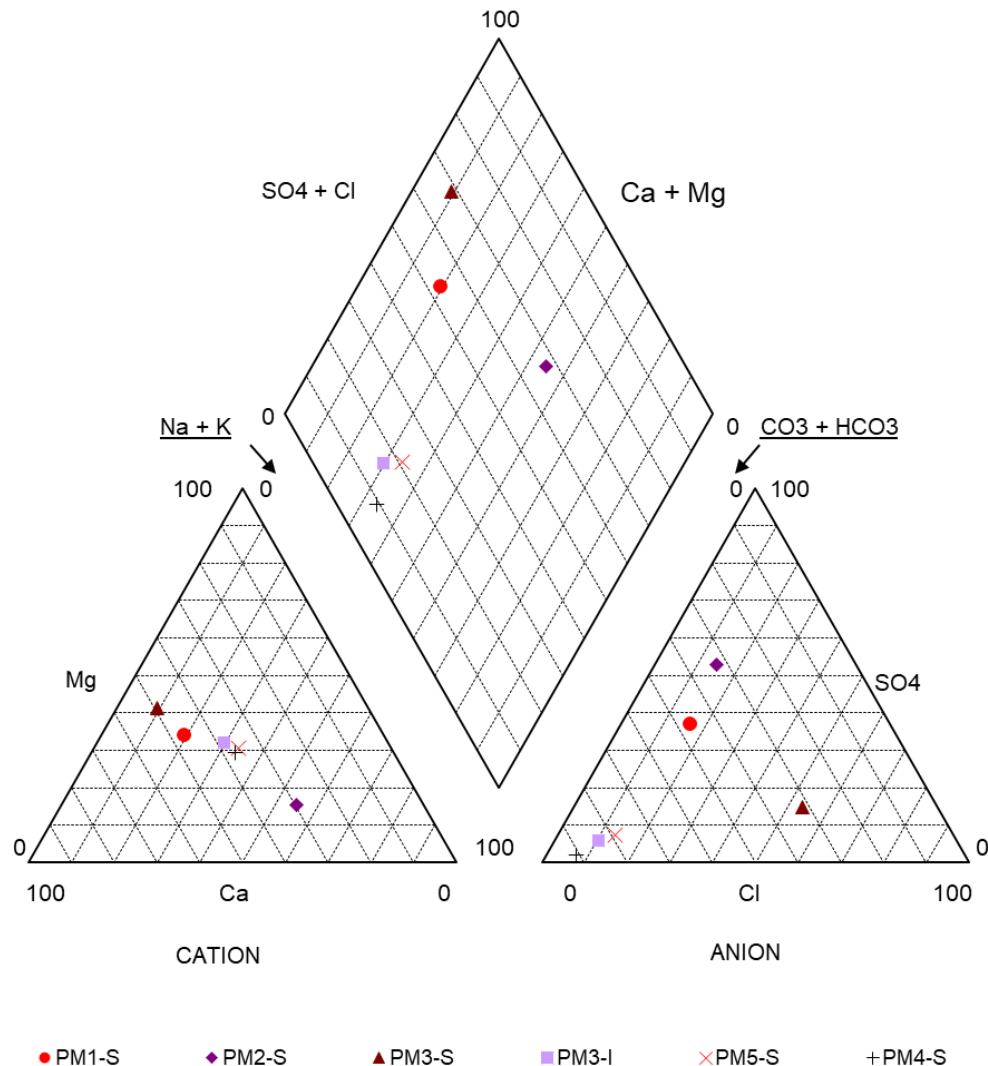
Volta (Feb 2024)PIPER DIAGRAM

Figura 6-2 – Diagrama de Piper para pozos monitoreados

Los diagramas anteriores muestran que los pozos PM2-S y PM3-S tienen mayor concentración de iones que el resto de los pozos (lo que se refleja también en las conductividades eléctricas obtenidas); y mientras en el pozo PM2-S predominan sodio, sulfato y bicarbonato, en el pozo PM3-S predominan calcio, magnesio y cloruro.

Los pozos PM3-I, PM5-S y PM4-S, en cambio, tienen una composición de iones similar entre sí, con mayores concentraciones de bicarbonato, calcio, sodio y magnesio, y menores concentraciones de sulfato y cloruro.

El pozo PM1-S presenta concentraciones intermedias en todos los iones (comparado con los pozos PM2-S y PM3-S y los pozos PM3-I, PM5-S y PM4-S), siendo mayores sus concentraciones de bicarbonato, sulfato y calcio, con respecto a sus concentraciones de magnesio, sodio y cloruro.



## 7 Discusión de resultados

### 7.1 Resultados de suelos

Los resultados de los análisis de muestras de suelo indican en primer lugar que no hay presencia de concentraciones relevantes de elementos, compuestos o contaminantes que provoquen un riesgo a la salud de los receptores identificados. Esto se evidencia por las concentraciones de metales bajo los niveles establecidos por normas internacionales para suelos de uso industrial (en este caso Estados Unidos y País Vasco) y en algunos casos similares a los valores background, y la no detección de otros compuestos tóxicos, específicamente TPH (hidrocarburos totales del petróleo), BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos), pentaclorofenol (asociado a pesticidas y preservante de madera), tetracloroeteno (asociado a solventes químicos), triclorometano (cloroformo) y cianuro. Lo anterior sugiere entonces que los suelos no causarían riesgo a la salud de las personas que hacen un uso de tipo industrial del sitio (trabajadores).

Por otro lado, existe evidencia de impactos en los suelos a causa de filtraciones de lixiviados ocurridas en el pasado a partir de estructuras de la planta (ver recomendaciones en Sección 8). Lo anterior se evidencia por lo siguiente:

- Hallazgos en terreno: presencia de lixiviados confinados en suelos en el sector donde hubo filtración en abril de 2023 en la cara este del macizo, y con presencia de olores en suelos de calicatas cercanas a TK10. En ambos sectores se tomaron las medidas de control correspondientes, como fue indicado en la Sección 3.5.
- Resultados de análisis en suelos: principalmente indicados por niveles altos de conductividad eléctrica y concentraciones de cloruros y nitratos, sobre los niveles background.
- Conductividades del agua que afloraba de algunas de las calicatas: puede ser indicio de “lavado” de suelos impactados previamente, producto de las precipitaciones.

Cabe notar que en terreno no se evidenciaron fugas activas, solo una reciente en cara este del macizo que fue reportada a la SMA (reporte N° 1019576 del 05.04.2023) y controlada mediante la construcción de una zanja de contención (ver Sección 3.5). En este sector, al realizar las calicatas CC19 y CC19x (como fue indicado en la Sección 5.2, Tabla 5-2), se encontró afloramiento de lixiviado, que se estima corresponde solo a un bolsón atrapado por la tosca. Esto debido a que en ese sector la tosca se encontró entre los 1,9 m (en punto CC19, más cerca del macizo) y los 10 cm (en punto CC20x, más lejos del macizo, hacia el este) de profundidad. De manera estimativa, el área potencialmente impactada por esta fuga sería de 200 m<sup>2</sup>, con un volumen de suelos de alrededor de 230 m<sup>3</sup> (considerando el suelo hasta la tosca, promediando las profundidades a la que se encuentra).

En este sentido, los hallazgos en los suelos corresponden a impactos remanentes por filtraciones pasadas. Sin embargo, estos impactos serían acotados a las zonas donde ocurrieron filtraciones pasadas, que fueron debidamente informadas a la autoridad.

La Figura 7-1, Figura 7-2 y Figura 7-3 siguientes presentan la ubicación de las muestras y las concentraciones/niveles de conductividad eléctrica, cloruro y nitrato, respectivamente.



Figura 7-1 – Resultados de conductividad eléctrica en suelos



Figura 7-2 – Resultados de cloruro en suelos





Figura 7-3 – Resultados de nitrato en suelos

De las figuras anteriores es posible delimitar los impactos en suelos a algunas de las zonas ya identificadas por la SMA, es decir, Zona 1 (asociada a TK10 y Piscina 1) y Zona 2 (asociada a TK9 y Piscina 2), además del sector de filtración reciente en la cara este del macizo. Considerando el indicador de conductividad eléctrica (debido a que la norma canadiense indica un criterio de remediación según este parámetro), la afectación se vería limitada a los alrededores de TK10, parte del canal norte y la cara este del macizo. Adicionalmente, personal de Volta, en labores de reparación de TK9, han indicado que los suelos bajo este estanque estarían impactados por filtraciones de este, por lo que los suelos de este sector también estarían afectados. Por otro lado, en la Zona 3 previamente identificada por SMA no se encontraron impactos, al igual que en UAL. En la Sección 8 siguiente, se incluyen recomendaciones y medidas a seguir con respecto a los impactos identificados en el sitio.

Cabe notar que los impactos identificados son producto de incidentes pasados, para los cuales se tomaron las medidas de control correspondientes; y al contrario de lo encontrado en el muestreo exploratorio en zanjas realizado en marzo de 2023 (donde se observaron eventuales fugas en algunas de estas instalaciones), en el muestreo realizado en agosto de 2023 (donde ya se habían ejecutado medidas) no se evidenciaron fugas activas.

Por otra parte, se pudo evidenciar en terreno la presencia de tosca en todas las calicatas, con una profundidad variable de entre los 10 cm (sector sur y este del macizo, a excepción de pequeños sectores donde las calicatas llegaron a mayor profundidad y donde se encontró lixiviado acumulado) y los 4,3 m (en sector al costado noroeste de Zona 2).

## 7.2 Resultados de agua subterránea

Los resultados de los análisis de muestras de agua subterránea indican en primer lugar que no hay presencia de concentraciones relevantes de elementos, compuestos o contaminantes en el sitio, que impliquen un riesgo a la salud de las personas. Lo anterior se encuentra en concordancia con los resultados de los monitoreos de pozos realizados por Ecobio, de acuerdo al seguimiento ambiental de la Resolución de Calificación Ambiental 74/2019, que indica una periodicidad cuatrimestral para pozos de acuífero superior y anual para pozos de acuífero intermedio.

Existen algunos parámetros con concentraciones anómalas en ciertos pozos, con respecto a las normas de agua para riego y potable, específicamente hierro, manganeso, cloruro, conductividad eléctrica, pH y coliformes fecales. Sin embargo, el pozo ubicado aguas abajo PM1-S presenta concentraciones que cumplen con estas normas para todos los analitos, por lo que se estima que estas concentraciones pueden deberse a variaciones naturales o efectos localizados, no existiendo riesgo para los usos planteados (potenciales receptores fuera del sitio). En todo caso, la comparación con la norma de agua potable se realizó solo de manera referencial, ya que los pozos de Ecobio no tienen el requisito de cumplir con esta normativa.

Los resultados elevados encontrados en el pozo PM3-S (manganeso, cloruros y conductividad) aparecen como localizados a esta área (pudiendo incluso corresponder a efectos remanentes del vertedero histórico ubicado hacia el este) y no corresponden a parámetros que indiquen contaminantes tóxicos<sup>12</sup>.

Como se mencionó anteriormente en la Sección 3.3 (Contexto ambiental), los receptores potenciales más cercanos serían los usuarios de un pozo utilizado para riego ubicado a aproximadamente 575 m del límite del sitio hacia el noroeste (aguas abajo), según información de la DGA. En este punto, el agua subterránea sería de igual o mejor calidad que la encontrada en el pozo PM1-S, que cumple con los estándares para riego y para agua potable (con respecto a concentraciones máximas de elementos y compuestos químicos).

Se estima que, en el caso de que existieran incidentes, el transporte de contaminantes a través de las aguas subterráneas se vería dificultado debido a las condiciones naturales del sitio, específicamente por la presencia de tosca y de capas de material fino en el perfil de suelo, por lo que el escurrimiento sería primordialmente superficial o por la interfaz sobre la tosca.

Actualmente, las conductividades de los pozos PM2-S y PM5-S se encuentran entre los rangos 120 y 680  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (menores al límite de 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicados en la norma de riego para “agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales”), evidenciando que no existen fugas activas y que las distintas medidas adoptadas en el pasado han resultado eficientes y eficaces.

---

<sup>12</sup> <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/chemical-safety-and-health/health-impacts/chemicals>

## 8 Conclusiones y recomendaciones

La evaluación de suelos y aguas realizada en la planta Ecobio CITA indicó que actualmente no existen condiciones que pudiesen generar un riesgo a la salud de las personas, o para los usos potenciales de las aguas subterráneas fuera del sitio.

Con respecto a suelos, los análisis indicaron concentraciones bajo los niveles de referencia para efectos de salud humana. Si bien se determinaron marcadores de impactos por lixiviados en los suelos (cloruros, nitratos, conductividad elevada), estos corresponden a incidentes pasados, los que fueron debidamente reportados y controlados.

Por otra parte, si bien se encontraron algunos analitos por sobre la norma de riego en muestras de pozos del sitio, estos compuestos (manganeso y cloruros) no se encuentran en la lista de contaminantes más tóxicos de la OMS, a diferencia de compuestos orgánicos o metales pesados (los que estuvieron ausentes o bajo las normativas, incluso la norma de agua potable). Finalmente, el pozo ubicado aguas abajo PM1-S presenta concentraciones que cumplen con estas normas para todos los analitos, por lo que se estima que estas concentraciones pueden deberse a variaciones naturales o efectos localizados, no existiendo riesgo para los usos planteados.

Actualmente, las conductividades de PM2-S y PM5-S se encuentran en rangos menores al límite indicado en la norma de riego para “agua con la cual no se observarán efectos perjudiciales”, evidenciando entonces que no existen fugas activas y que las distintas medidas adoptadas en el pasado han resultado eficientes y eficaces. Estos pozos son los más relevantes como indicadores de potenciales fugas de CITA, por lo que se recomienda que se continúen evaluando como se hace al día de hoy para anticipar algún frente de lixiviados (fluctuaciones, tendencias, etc.).

Se estima además que las condiciones naturales correspondientes a un suelo en general de textura pesada (arcillas y limos) y la presencia de tosca bajo estos suelos (a una profundidad entre 10 cm y 4,3 m), actúa como barrera, lo que dificultaría el transporte de contaminantes a las aguas subterráneas (ante eventuales fugas). En este sentido, el transporte sería generalmente de manera superficial o por la interfaz entre la tosca y el suelo, por lo que la construcción de zanjas serían un método de control efectivo ante un eventual incidente.

Respecto a las zanjas de contención existentes, estas se estiman efectivas; no obstante, se recomienda el bombeo frecuente del lixiviado desde las zanjas y evaluar cada cierto tiempo los suelos en los costados y posteriores a las zanjas para asegurar la captura de todo eventual lixiviado y evitar que parte de este escurra en otras direcciones.

Por otro lado, se recomienda el retiro del suelo impactado y el lixiviado encontrado en la ubicación de la calicata CC19 (cara este del macizo CITA). Es posible que esto solo corresponda a un bolsón atrapado por tosca, sin embargo, por mayor seguridad se hace esta recomendación para evitar que se pudiese convertir en una fuente secundaria, y debido a que las conductividades encontradas en los suelos del sector superan el criterio de remediación de la norma canadiense. De la misma forma, y debido a que también se superan los niveles de esta norma, se recomienda considerar el retiro del suelo impactado alrededor del TK10 en los sectores que fuese logísticamente posible. Finalmente, también se recomienda considerar el retiro del suelo impactado dentro y bajo del TK9



En la Figura 8-1, Figura 8-2 y Figura 8-3 se presentan mapas con la superficie estimada impactada que se recomienda considerar retirar en el sector cara este del macizo, en el sector de TK10 y en el sector de TK9, respectivamente.

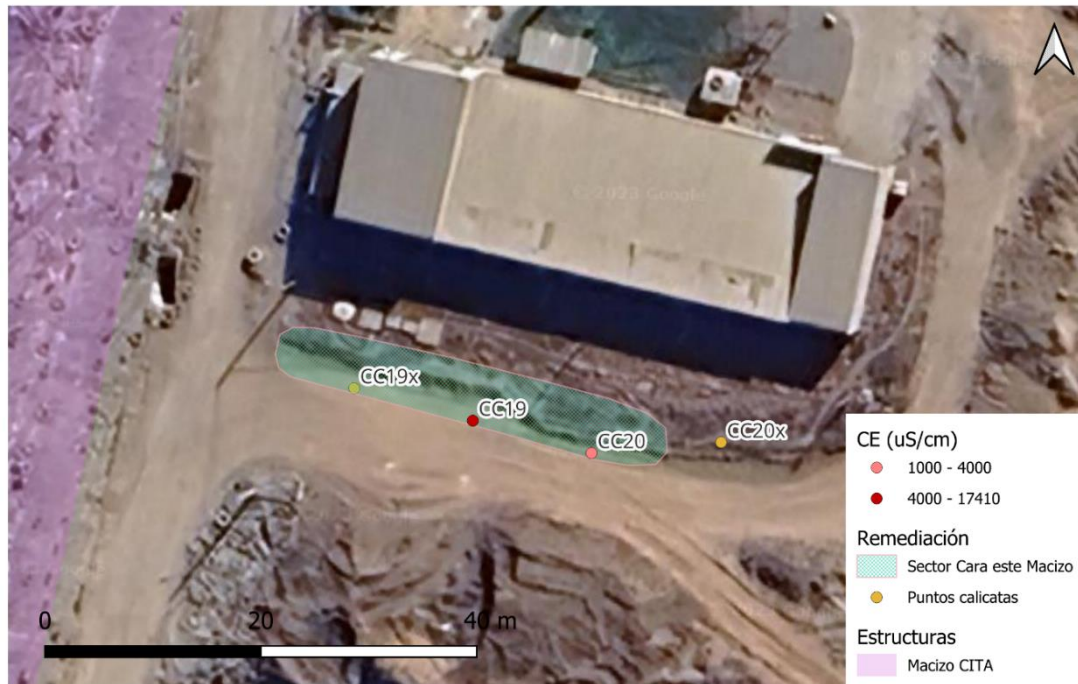


Figura 8-1 – Recomendación de área a remediar en sector cara este macizo



Figura 8-2 – Recomendación de área a remediar en sector TK10



Figura 8-3 – Recomendación de área a remediar en sector TK9

Lo anterior corresponde a una superficie de 200 m<sup>2</sup> y un volumen de suelo de aproximadamente 230 m<sup>3</sup> para cara este, y una superficie de 1500 m<sup>2</sup> y un volumen de suelo de aproximadamente 1850 m<sup>3</sup> para sector TK10, y una superficie de 700 m<sup>2</sup> y un volumen de suelo de aproximadamente 700 m<sup>3</sup> (asumiendo un impacto hasta un máximo de 1 m de profundidad). En el caso de TK10, el área mostrada no contempla CC09, CC12 ni suelos en el tanque mismo, por la imposibilidad logística de realizar labores de remediación en el área, y se debe considerar una distancia que no cause riesgos estructurales al tanque. Además, para el cálculo del volumen, considera un promedio de las profundidades hasta donde se encontró impactos. Por otra parte, en el caso de TK9 no se realizaron muestras dentro de esta estructura, por lo que la recomendación se basa en información compartida por Volta, donde se puede apreciar impactos visibles en los suelos. La profundidad de 1 m en este caso es indicativa (basado en hallazgos en TK10), y en lo posible se recomienda realizar mediciones de conductividad cuando se esté retirando el suelo para ir comprobando que se está retirando todo el suelo impactado (sobre los 4000 µS/cm). En caso de encontrarse suelos impactados en los costados del estanque, se recomienda su retiro solo si es que no compromete la estabilidad estructural de este. Posteriormente, los sectores donde se haya retirado suelo se pueden rellenar utilizando material inerte, idealmente de naturaleza fina y compactado.

Con respecto a aguas subterráneas, se recomienda la mantención de los pozos existentes de manera preventiva, tal como está establecido en la RCA 74/2019, aumentar la frecuencia establecida en la RCA para el monitoreo interno de pozos con análisis de conductividad, pH y cloruros (marcadores de lixiviado), y rondas de verificación de puntos de bombeo (en zanjas en cara norte, este, sur).

Finalmente, se recomienda la vigilancia continua de cualquier expresión de lixiviado superficial en el sitio (cambio de color, olor o conductividades elevadas).

## 9 Bibliografía

---

Ecobio – Hídrica Consultores. 2019. Declaración de Impacto Ambiental “Mejoramiento del Sistema de Monitoreo de Aguas Subterráneas del Relleno Sanitario Fundo Las Cruces y Relleno CITA”.

Ministerio del Medio Ambiente – Fundación Chile. 2012. Guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes. Aprobada por Resolución Exenta N° 406/2013 del MMA. Disponible en: <https://sqi.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/07/g4-Guia-Metodologica-Evaluacion-y-Gestion-de-Riesgo-SPPC.pdf>