



VOLTA

Informe de seguimiento RCA N°340/2017

MONITOREO DE CALIDAD DEL SUELO

Rev. 1

Septiembre 2025

Información del documento

Estudio	Informe de seguimiento RCA N°340/2017		
Mandante	Superintendencia del Medio Ambiente		
Código oferta	O2510	Código proyecto	P2503
Documento	Monitoreo calidad del suelo	Versión	Rev1

Control de cambios

	Revisión 0	Revisión 1	Revisión 2
Elaborado por	Jorge Alcaíno Simón Burgos Francisca Mihovilovic	Jorge Alcaíno Simón Burgos Francisca Mihovilovic	
Fecha	21-08-2025	17-09-2025	
Revisado por	Francisca Mihovilovic	Francisca Mihovilovic	
Fecha	21-08-2025	22-09-2025	
Aprobado por	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	
Fecha	21-08-2025	22-09-2025	



Jorge Alcaíno
Cofundador y Gerente de Proyectos
EnSoil

EnSoil

Av. Apoquindo 6410 Of 605
Las Condes, Santiago
www.ensoil.cl

Contenido

1	OBJETIVO	4
2	ANTECEDENTES	4
3	MUESTREO Y ANÁLISIS	6
4	EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	9
4.1	ANTECEDENTES FISICOQUÍMICOS PRELIMINARES.....	9
4.2	CRITERIOS PARA EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	9
4.2.1	Evaluación de variabilidad natural de los suelos.....	9
4.2.2	Evaluación de potenciales riesgos	13
4.2.3	Evaluación de distribución espacial	14
4.3	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	15
5	CONCLUSIONES	20
6	BIBLIOGRAFÍA.....	21

Tablas

Tabla 1 – Ubicación puntos muestreados, campaña 2025	6
Tabla 2 – Detalle de muestras testigo años 2017, 2022 y 2025.....	11
Tabla 3 – Concentraciones permisibles en suelo según normativa internacional	14
Tabla 4 – Resultados Zona Norte	15
Tabla 5 – Resultados Zona Sur	16
Tabla 6 – Resultados Zona Este.....	17
Tabla 7 – Resultados Zona Oeste	18

Figuras

Figura 1 – Áreas de Evaporación Consideradas de 9.300 m ² y 5.700 m ²	5
Figura 2 – Determinación de Área de Dispersión de Gotas y Partículas (condición más desfavorable)	6
Figura 3 – Ubicación de los puntos muestreados	7
Figura 4 – Calicata tipo muestreo 2025	8
Figura 5 – Capacidad de uso suelos del área	10
Figura 6 – Ubicación de los puntos muestreados y testigos considerados para el análisis.....	12

1 Objetivo

El presente documento tiene por objetivo dar cumplimiento al compromiso de monitorear la calidad fisicoquímica del suelo establecido en el numeral 8 de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) aprobada por Resolución Exenta N°340 del 6 de diciembre 2017 (RCA N°340/2017) asociada al proyecto “Sistema de tratamiento complementario de riles a través de evaporación” (Ecobio, 2017) presentado por Ecobio S.A.

El objetivo del presente informe es evaluar la calidad fisicoquímica del suelo en el área de influencia del sistema de evaporación de CITA, considerando: (i) la variabilidad natural de los suelos, (ii) los niveles de referencia internacionales para protección de la salud humana, y (iii) la distribución espacial de los parámetros analizados.

Para estos efectos, se realizó una campaña de muestreo de suelos durante el primer trimestre del año 2025, donde se analizaron 29 parámetros en muestras de suelos obtenidas en 20 calicatas fuera del perímetro de operación del sistema de evaporación asistida.

2 Antecedentes

El requerimiento de monitoreo de suelos se origina por la instalación del sistema de tratamiento complementario de RILes. A continuación, se reproduce información indicada en la Adenda Complementaria Declaración De Impacto Ambiental “Sistema de Tratamiento Complementario de Riles a Través de Evaporación” (Hídrica Consultores & Ecobio, 2017) referente a las características del sistema, y su potencial impacto en los suelos de acuerdo al modelamiento realizado.

El sistema complementario de evaporación en las instalaciones de CITA-Ecobio consiste en la utilización de un proceso de evaporación natural asistida. Este sistema complementario emplea planicies impermeabilizadas (geomembranas) en la parte superior de los depósitos de seguridad para facilitar la evaporación de lixiviados en los meses de mayor temperatura (de octubre a abril).

Para controlar la dispersión de lixiviados atomizados, se ha instalado un sistema de barreras físicas junto con un control automático que se regula según variables meteorológicas, tales como la velocidad y dirección del viento, la temperatura, entre otras. Esto permite prevenir y reducir el arrastre de gotas de menor tamaño, las cuales tienen mayor probabilidad de sobrepasar los límites del área de aspersión.

En este sentido, el sistema de evaporación natural asistida contempla una red de puntos de aspersión distribuidos de manera homogénea sobre la geomembrana sintética de HDPE que cubre la parte superior del depósito de seguridad, abarcando una superficie total de 15.000 m². De esta forma, se busca aprovechar la superficie del depósito como una lámina de contacto con el ambiente, favoreciendo la evaporación de los lixiviados asperjados.

De acuerdo a lo especificado por el titular, el área total de evaporación se dispone según lo indicado en la Figura 1.

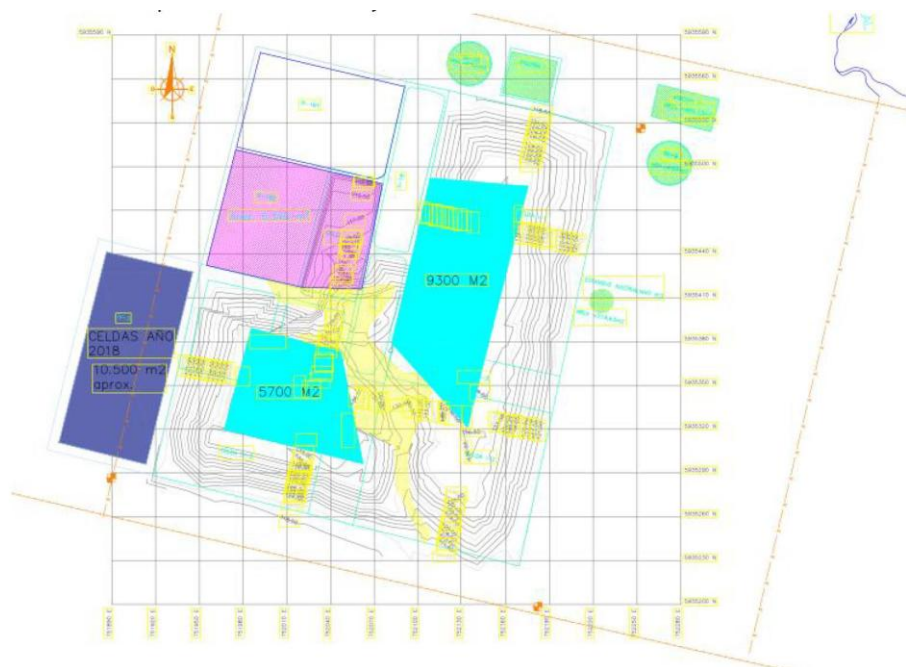


Figura 1 – Áreas de Evaporación Consideradas de 9.300 m² y 5.700 m²

Fuente: Volta, S.I, extraído de Hídrica Consultores & Ecobio (2017)

Ecometrika llevó a cabo una modelación para evaluar el impacto del arrastre del viento en el sistema de evaporación natural asistida, analizando la dispersión de gotas y la dinámica del viento. Los resultados permitieron determinar el alcance de la depositación de gotas y residuos remanentes, estimando que en el escenario más desfavorable, el área de depositación sería de aproximadamente 6,18 hectáreas alrededor de la zona de evaporación, con una distancia máxima de dispersión de 51 metros para las gotas y 42 metros para las partículas, desde el pretil fuera de las cortinas.

Estos cálculos se basaron en un criterio de depositación "cero", que indica que gotas y partículas serían retenidas dentro de los límites del proyecto CITA, sin exceder su perímetro. En consecuencia, el viento no dispersaría residuos más allá del área delimitada, asegurando que la dispersión y depositación permanecen confinadas en la zona de influencia del sistema, sobre instalaciones del CITA, y una reducida porción lo haría sobre suelo descubierto, que actualmente ya se encuentra intervenido por la operación del proyecto.

Lo anterior se presenta en la Figura 2, que muestra el área donde se presentarían los efectos del proyecto por arrastre y depositación de gotas/partículas en su condición más desfavorable.



Figura 2 – Determinación de Área de Dispersión de Gotas y Partículas (condición más desfavorable)

Fuente: (Ecometrika, 2017)

3 Muestreo y análisis

De acuerdo a la Condición 8.1 “Monitoreo calidad de suelo” de la RCA 340/2017, se ejecutó un muestreo en enero del 2025 mediante la excavación de 20 calicatas. De estas calicatas, 6 fueron al interior del predio de Ecobio (CITA y 40 hectáreas) y 14 en predios vecinos, abordando los 4 puntos cardinales (Norte, Sur, Este, Oeste). Dentro de cada punto cardinal, se incorporó 1 muestra de suelo denominada “testigo”, la cual hace referencia a suelo no intervenido.

A continuación, en la Tabla 1 y en la Figura 3 se presenta ubicación de los puntos muestreados.

Tabla 1 – Ubicación puntos muestreados, campaña 2025

Zona	Tipo	Punto	Muestra	Coord E	Coord N	Profundidad
Norte	Testigo	TN	TN-1,20 m	752735	5937012	1,20 m
Norte	Monitoreo	N1	N1-1,10 m	751734	5935856	1,10 m
Norte	Monitoreo	N2	N2-1,20 m	752024	5935808	1,20 m
Norte	Monitoreo	N3	N3-1,50 m	752296	5936073	1,50 m
Norte	Monitoreo	N4	N4-0,60 m	752091	5935635	0,60 m
Norte	Monitoreo	N5	N5-0,70 m	752013	5936080	0,70 m
Norte	Monitoreo	N6	N6-0,80 m	752245	5935965	0,80 m
Sur	Testigo	TS	TS-1,60 m	751754	5934246	1,60 m
Sur	Monitoreo	S1	S1-1,40 m	752364	5934672	1,40 m

Zona	Tipo	Punto	Muestra	Coord E	Coord N	Profundidad
Sur	Monitoreo	S2	S2-1,30 m	752165	5935033	1,30 m
Sur	Monitoreo	S3	S3-0,60 m	751836	5934775	0,60 m
Sur	Monitoreo	S4	S4-0,40 m	751619	5935142	0,40 m
Sur	Monitoreo	S5	S5-1,50 m	752151	5934415	1,50 m
Sur	Monitoreo	S6	S6-0,70 m	751600	5934514	0,70 m
Este	Testigo	TE	TE-1,10 m	754308	5935587	1,10 m
Este	Monitoreo	E1	E1-1,30 m	752407	5935349	1,30 m
Este	Monitoreo	E2	E2-0,80 m	754120	5935426	0,80 m
Oeste	Testigo	TO	TO-0,90 m	750488	5935781	0,90 m
Oeste	Monitoreo	O1	O1-1,50 m	751660	5935535	1,50 m
Oeste	Monitoreo	O2	O2-1,60 m	751399	5935612	1,60 m

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Volta

Nota: Coordenadas UTM en sistema WGS84 Zona UTM 18S



Figura 3 – Ubicación de los puntos muestreados

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Volta

La ubicación de las calicatas fue informada a la Superintendencia de Medio Ambiente, quien se pronunció mediante ORD N°024/2024, ante lo cual se acogieron las observaciones y recomendaciones. No obstante, lo anterior, en algunas calicatas se debió modificar levemente su ubicación, principalmente por razones de acceso para la maquinaria.

Las calicatas fueron realizadas por medio de una retroexcavadora, donde la profundidad estuvo dada por la presencia de tosca o por el máximo logístico obtenido por la maquinaria (1,5 metros). Se registró por parte del personal de Volta Ecobio las profundidades mediante cinta métrica, así también, cambios de color en suelo, textura, presencia de agua, olor, entre otros.

Una vez abierta la calicata, el personal muestreador del laboratorio externo acreditado, extrajo la muestra de suelo desde la máxima profundidad alcanzada y envasó según correspondía. Se muestra una calicata tipo en la Figura 4.



Figura 4 – Calicata tipo muestreo 2025

Fuente: Volta

Las muestras de suelos fueron analizadas por el Laboratorio ANAM (y en el caso de algunos analitos subcontratados a ALS), acreditado bajo los estándares de competencia técnica de la norma internacional ISO/IEC 17025:2017 y posee certificación ETFa (Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental) por la SMA. Estas se analizaron según los parámetros indicados en la *Condición o exigencia Monitoreo de suelo* de la RCA N°340/2017, detallados en el Cuadro 2-2 del Anexo 9 Informe de la Adenda complementaria (Hídrica Consultores & Ecobio, 2017).

4 Evaluación de resultados

4.1 Antecedentes fisicoquímicos preliminares

Se han realizado dos estudios de la calidad fisicoquímica del suelo en el sector, el primero el año 2017 (Hídrica Consultores & Ecobio, 2017) y el segundo el año 2022 (Ecobio, 2022).

En particular, el primer estudio mencionado se realizó en el marco de respuestas a la Adenda Complementaria del proyecto “Sistema de Tratamiento Complementario de Riles a través de Evaporación”. Para aquel estudio, se realizaron 9 calicatas para posterior colección de muestras y análisis de suelo, donde los parámetros analizados corresponden a los indicados en la RCA N°340/2017. Este monitoreo incorporó una muestra testigo (“CA-10”) para determinar la calidad base del suelo.

Por otro lado, el segundo estudio tuvo como objetivo el monitoreo de la calidad fisicoquímica del suelo dentro del área operacional del CITA y en zonas adyacentes. Para esta campaña se realizaron 18 calicatas y se analizaron los parámetros indicados en la RCA N°340/2017. Este monitoreo incorporó una muestra testigo (“C-14”) como caso base del suelo.

En la Figura 6 (sección 4.2.1 más adelante) se presenta la ubicación de estos puntos de muestreo testigo, cuyos resultados serán utilizados también en la evaluación de resultados que se presenta a continuación.

4.2 Criterios para evaluación de resultados

Para la evaluación de los resultados se revisó lo estipulado por la RCA N°340/2017, encontrándose que no existe una metodología específica para realizar la evaluación, no obstante, se rescata que el objetivo esencial es evaluar que el sistema de evaporación no está afectando los suelos locales.

En este sentido, los resultados de los análisis de suelos se revisaron y analizaron enfocándose en 3 objetivos principales:

1. Identificar si las concentraciones de elementos están o no dentro de la variabilidad natural a esperarse en los suelos locales, en base a concentraciones en muestras testigo o control.
2. Evaluar si las concentraciones de elementos medidas representarían un riesgo a la salud de las personas, en base a valores de referencia de acuerdo al uso del suelo.
3. Analizar la distribución espacial de las concentraciones de elementos para identificar si estas pudieran o no atribuirse al sistema de evaporación.

A continuación, se indica la metodología para realizar la evaluación de resultados, de acuerdo a los objetivos planteados anteriormente.

4.2.1 Evaluación de variabilidad natural de los suelos

Para evaluar si las concentraciones encontradas están dentro de los rangos esperables en los suelos del área de estudio, primeramente, se debe clasificar los suelos locales y su propia variabilidad natural. En este sentido, de acuerdo a información recopilada, los suelos del área corresponden al grupo de suelos de la Depresión Intermedia de la Región del Biobío y específicamente de los suelos sobre toba volcánica, donde se presentan suelos de los órdenes de Molisoles (suelos fértiles con alta materia orgánica, típicos en

praderas templadas), Andisoles (suelos volcánicos con alta retención de agua y minerales volcánicos) y Vertisoles (suelos con arcillas expansivas que se hinchan y se agrietan) (Luzio, 2010).

Cabe notar que la presencia de toba volcánica a través de toda el área ha sido confirmada por estudios en terreno (EnSoil, 2024; GAC Consultores, 2018), encontrándose a profundidades variables que van desde los 10 cm a los 4 m aproximadamente.

Los suelos han sido clasificados también desde el punto de vista de capacidad de uso (GAC Consultores, 2018), identificándose una gran unidad homogénea correspondiente Pradera, con Clases de Capacidad de Uso de Suelo que van de clase IV, V, VI y VII (ver Figura 5). De estos, solo la clase IV es un suelo de tipo arable, y desde las clases V-VII corresponden a suelos de tipo no arable.

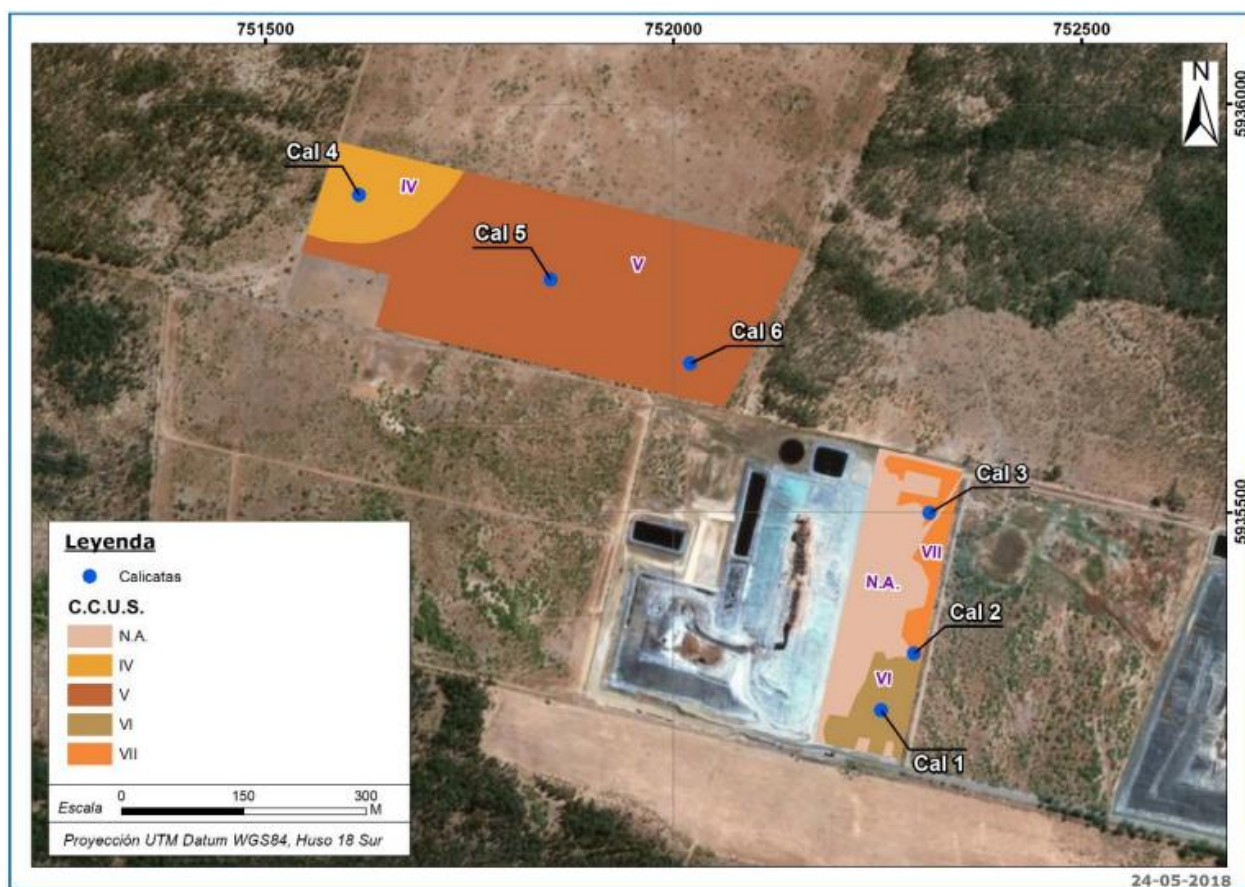


Figura 5 – Capacidad de uso suelos del área¹

Fuente: (GAC Consultores, 2018)

En este sentido, se puede establecer que los suelos son similares, con un origen común, sin embargo, con variaciones dadas por condiciones locales como la profundidad de la toba, pendiente, grado de intervención, etc.

¹ Las calicatas indicadas en la figura fueron realizadas con el objeto de caracterización edafológica para el estudio de GAC del 2018, no corresponden a los puntos de muestreo objeto del presente estudio.

Considerando lo anterior, para la evaluación de los resultados, se compilaron los resultados de las muestras “Testigo” para el monitoreo realizado en el año 2025 y además los muestreos de 2017 y 2022, para otorgar más robustez a la base de datos de concentraciones naturales. Se determinó como criterio para evaluar los resultados la variabilidad natural a un valor límite calculado como el promedio de las muestras más dos desviaciones estándar (lo que representaría el 95% de los resultados de una distribución normal). El uso de la desviación estándar como medida para determinar valores *outliers* o “valores fuera de rango” (al realizar evaluaciones ambientales) está bien establecido en la literatura (Maurer et al., 1999; USEPA, 2002).

A continuación, en la Tabla 2, se presentan los resultados de las 6 muestras Testigo consideradas, además de su promedio (“X”) y valores de promedio + 2 desviaciones estándar (“X+2SD”).

Tabla 2 – Detalle de muestras testigo años 2017, 2022 y 2025

Parámetro	Unidad	2017 CA-10	2022 C14	2025 TN	2025 TS	2025 TE	2025 TO	X testigos	X+2STD
Aluminio	mg/kg	45.069	53.369	8.780	93.552	50.448	38.208	48.238	103.025
Arsénico	mg/kg	6,9	<3,5	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	2,5	7,2
Calcio	mg/kg	1.936	3.273	1.131	1.639	7.118	3.791	3.148	7.530
Cadmio	mg/kg	<0,1	<2,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	N/A	N/A
Cromo	mg/kg	21	<2,5	<2,4	41	20	20	18	46
Cobre	mg/kg	34	<3,5	<1,4	60	45	38	30	77
Mercurio	mg/kg	<1	N/M	<1	<1	<1	<1	N/A	N/A
Potasio	mg/kg	197	230	496	429	405	141	316	607
Magnesio	mg/kg	1.380	1.979	1.385	2.627	6.664	3.028	2.844	6.813
Sodio	mg/kg	283	N/M	219	263	1.045	184	399	1.125
Níquel	mg/kg	6,7	N/M	<1,2	41,4	19,3	10,8	15,9	47,3
Plomo	mg/kg	9,5	N/M	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	2,9	10,3
Antimonio	mg/kg	<2	<2,5	<2	<2	<2	<2	N/A	N/A
Selenio	mg/kg	7,7	<4,5	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	2,6	8,4
Sólidos totales	%	77	N/M	80	77	78	88	80	90
Cloruro	g/kg	N/M	0,05	1,40	3,50	1,70	4,20	2,17	5,52
Fluoruro	mg/kg	N/M	N/M	209	209	205	206	207	212
Sulfato	mg/kg	N/M	158	20	11	85	101	75	197
Carbonato	g/kg	<0,01	N/M	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	N/A	N/A
Conductividad	DS/m	0,45	0,05	0,30	0,10	0,10	0,20	0,20	0,50
Cianuro	mg/kg	<1,8	N/M	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	N/A	N/A
DQO	g/kg	<25	N/M	<25	<25	<25	37	27	38
Nitrógeno nitrato	mg/kg	13	<10	6	9	10	59	18	58
Nitrógeno nitrito	mg/kg	<1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	N/A	N/A
pH*	-	7,8	5,6	9,9	7	6,9	7,5	5,6 - 9,9	N/A

Parámetro	Unidad	2017 CA-10	2022 C14	2025 TN	2025 TS	2025 TE	2025 TO	X testigos	X+2STD
Sulfuro	g/kg	0,2	N/M	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,04	0,22
HC volátiles	mg/kg	<2	<1	<2	<2	<2	<2	N/A	N/A
HC fijos**	mg/kg	<10	<25	<10	<10	<10	14.690	N/A	N/A
HC totales**	mg/kg	<12	<25	<12	<12	<12	14.690	N/A	N/A

Notas: *: Para el valor de pH se presenta el rango dado por el mínimo y máximo de las muestras testigo. **: Para la muestra TO (Testigo Oeste) los valores de HC volátiles e HC fijos se considera un error de medición. DQO: demanda química de oxígeno. HC: hidrocarburos LD: límite de detección. N/M: parámetro no medido. N/A: no aplica. X: promedio. SD: desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia

Dentro de los resultados, llama la atención el valor inusualmente alto en la muestra Testigo Oeste (TO) para hidrocarburos fijos y totales de 14.690 mg/kg, dada presunta ausencia de fuentes potenciales para hidrocarburos en esta área. Cabe notar que la zona donde fue tomada la muestra se considera relativamente prístina, o al menos libre de impactos antrópicos históricos, y se encuentra alejada de las instalaciones de CITA. Por lo anterior, estos resultados no se consideran para el cálculo del valor de variabilidad natural.



Figura 6 – Ubicación de los puntos muestreados y testigos considerados para el análisis

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Volta

4.2.2 Evaluación de potenciales riesgos

Para la evaluación de los potenciales riesgos, se considera 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”.

Al respecto, se seleccionaron para este estudio dos normas de referencia: la norma de Estados Unidos “USEPA *Regional Screening Levels* – Niveles de referencia regionales” (USEPA, 2025), y la normativa del País Vasco, España (Comunidad Autónoma del País Vasco, 2015).

La normativa de Estados Unidos se seleccionó debido a las siguientes razones. En primer lugar, 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. Por otro lado, es uno de los países que tiene más parámetros normados, y estos son relevantes para la presente investigación. Por último, 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, denominada *Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes*, aprobada por Res. Ex. 406/2013 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2013), la que se basa en gran parte en la normativa del País Vasco, España (Comunidad Autónoma del País Vasco, 2015), 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.

Se debe notar que, en una evaluación de suelos, los valores de referencia se deben seleccionar de acuerdo al uso del suelo, que está asociado al tipo de receptor potencialmente expuesto. En el caso particular de este estudio, se han tomado algunas muestras dentro de las zonas productivas de Ecobio, para lo cual se debiese comparar con un uso de suelo industrial, sin embargo, la mayor parte de estas se ubican en sectores aledaños, con un uso más probable de tipo agrícola. De esta forma, y para realizar un análisis más conservador (con mayor protección), se ha seleccionado los valores para “otros usos” (que considera actividades agropecuarias) de la norma del País Vasco, y los valores para uso “residencial” de la USEPA, ya que esta última solo posee ese uso (que es más restrictivo) y el industrial.

A continuación, en la Tabla 3 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 “residencial”. Además, se presentan los valores de referencia de la normativa de País Vasco para “otros usos”.

Tabla 3 – Concentraciones permisibles en suelo según normativa internacional

Parámetro	Unidad	USEPA Residencial	País Vasco Otros usos
Aluminio	mg/kg	77.000	–
Arsénico	mg/kg	0,68	30
Calcio	mg/kg	–	–
Cadmio	mg/kg	7,1	5,0
Cromo	mg/kg	–	200
Cobre	mg/kg	3.100	10.000
Mercurio	mg/kg	7,1	4
Potasio	mg/kg	–	–
Magnesio	mg/kg	–	–
Sodio	mg/kg	–	–
Níquel	mg/kg	1.400	110
Plomo	mg/kg	200	120
Antimonio	mg/kg	31	–
Selenio	mg/kg	390	–
Sólidos totales	%	–	–
Cloruro	g/kg	–	–
Fluoruro	mg/kg	3.900	–
Sulfato	mg/kg	–	–
Carbonato	g/kg	–	–
Conductividad eléctrica	dS/m	–	5,0
Cianuro	mg/kg	24	–
DQO	g/kg	–	–
Nitrógeno nitrato	mg/kg	130.000	–
Nitrógeno nitrito	mg/kg	7.800	–
Sulfuro	g/kg	–	–
Conductividad	DS/m	–	–
pH	-	–	–
HC fijos	mg/kg	–	–
HC totales	mg/kg	–	–
HC volátiles	mg/kg	–	–

Notas: Parámetros sin norma se indican con “-”.

4.2.3 Evaluación de distribución espacial

A partir de las evaluaciones anteriores, es decir, la comparación con niveles naturales y con niveles de referencia para protección de la salud, se identificaron los elementos o parámetros que sobrepasaran alguno estos valores. Luego, se identificó, para cada parámetro qué muestras tenían alguna superación y se revisó su ubicación, analizando su concentración con respecto a las demás muestras.

Lo anterior es relevante, ya que en caso de que efectivamente existiera una afectación a los suelos aledaños a causa del sistema de evaporación, las mayores concentraciones de los parámetros se encontrarían en puntos de muestreo más próximos a CITA, y disminuirían sus concentraciones en los puntos más lejanos. De lo contrario, si es que no existe una distribución de este tipo en las concentraciones, o su distribución es más bien aleatoria, es posible afirmar que las concentraciones de parámetros de los suelos no se deben al sistema de evaporación (es decir, no están afectados por estos), sino que podría deberse a la variabilidad natural de los suelos o a fuentes externas en las inmediaciones del sitio.

4.3 Presentación y discusión de resultados

Tras el desarrollo del análisis estadístico, y la comparación de resultados con valores control de monitoreos anteriores y de normativa internacional, se procede a analizar los valores de las muestras de la campaña del 2025. Estos valores, separados por zonas, se pueden observar en las tablas a continuación. Luego, los resultados se analizan para cada parámetro, según los siguientes criterios, indicados en la sección anterior:

1. Comparación con valores naturales (considerando testigos de 2017, 2022 y 2025²)
2. Comparación con valores de referencia internacional (salud humana)
3. Ubicación de los puntos de muestreo

Tabla 4 – Resultados Zona Norte

Parámetro	Un.	Normativa internacional		Testigos		Muestras 2025					
		Residencial USEPA	Otros usos País Vasco	X testigos	X+2STD	N1	N2	N3	N4	N5	N6
Al	mg/kg	77.000	–	48.238	103.025	34.828	38.210	78.604	41.551	63.310	66.086
As	mg/kg	0,68	30	2,5	7,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
Ca	mg/kg	–	–	3.148	7.530	4.690	7.156	4.080	6.130	2.160	1.985
Cd	mg/kg	7,1	5,0	N/A	N/A	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	6,0	5,3
Cr	mg/kg	–	200	18	46	24	19	17	19	28	37
Cu	mg/kg	3.100	10.000	30	77	62	64	71	66	52	58
Hg	mg/kg	7,1	4,0	N/A	N/A	<1	<1	<1	<1	<1	<1
K	mg/kg	–	–	316	607	264	255	484	227	200	321
Mg	mg/kg	–	–	2.844	6.813	5.328	7.550	4.817	6.214	2.320	1.935
Na	mg/kg	–	–	399	1.125	401	1.202	333	1.516	264	211
Ni	mg/kg	1.400	110	16	47	19	20	17	21	23	21
Pb	mg/kg	200	120	2,9	10,3	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
Sb	mg/kg	31	–	N/A	N/A	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Se	mg/kg	390	–	2,6	8,4	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9
ST	%	–	–	80,0	90,0	82,4	79,8	80,2	86,0	81,7	90,5
Cl-	g/kg	–	–	2,2	5,5	2,4	7,8	3,9	1,7	2,4	2,1
F-	mg/kg	3.900	–	207	212	209	214	207	208	208	208

² Como indicado en la sección 4.2.1, para la comparación con valores naturales se consideraron los valores de promedio + 2 desviaciones estándar (“X+2SD”) de los testigos de los años 2017, 2022 y 2025.

Parámetro	Un.	Normativa internacional		Testigos		Muestras 2025					
		Residencial USEPA	Otros usos País Vasco	X testigos	X+2STD	N1	N2	N3	N4	N5	N6
Sulfato	mg/kg	–	–	75	197	21	57	35	455	29	49
Carbonato	g/kg	–	–	N/A	N/A	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cond.	DS/m	–	–	0,2	0,5	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1
CN-	mg/kg	24	5	N/A	N/A	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8
DQO	g/kg	–	–	27	38	<25	<25	<25	<25	<25	<25
N nitrato	mg/kg	130.000	–	18	58	25	11	24	19	9	5
N nitrito	mg/kg	7.800	–	N/A	N/A	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
pH	-	–	–	5,6 - 9,9	N/A	7,1	7,4	6,9	6,7	6,5	6,3
Sulfuro	g/kg	–	–	0,04	0,22	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
HC volátiles	mg/kg	–	–	N/A	N/A	<2	<2	<2	<2	<2	<2
HC fijos	mg/kg	–	–	N/A	N/A	<10	<10	<10	<10	<10	<10
HC totales	mg/kg	–	–	N/A	N/A	<12	<12	<12	<12	<12	<12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 – Resultados Zona Sur

Parámetro	Un.	Normativa internacional		Testigos		Muestras 2025					
		Residencial USEPA	Otros usos País Vasco	X testigos	X+2STD	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Al	mg/kg	77.000	–	48.238	103.025	93.860	78.607	41.256	56.064	84.648	54.205
As	mg/kg	0,68	30	2,5	7,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
Ca	mg/kg	–	–	3.148	7.530	2.626	4.210	1.858	2.270	1.644	3.145
Cd	mg/kg	7,1	5,0	N/A	N/A	<0,1	<0,1	5,1	5,3	6,1	7,0
Cr	mg/kg	–	200	18	46	17	22	35	32	53	58
Cu	mg/kg	3.100	10.000	30	77	98	157	60	60	74	64
Hg	mg/kg	7,1	4,0	N/A	N/A	<1	<1	<1	<1	<1	<1
K	mg/kg	–	–	316	607	178	396	289	357	218	340
Mg	mg/kg	–	–	2.844	6.813	3.518	5.142	1.217	1.957	2.893	2.009
Na	mg/kg	–	–	399	1.125	209	404	80	94	110	460
Ni	mg/kg	1.400	110	16	47	19	17	12	18	36	27
Pb	mg/kg	200	120	2,9	10,3	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
Sb	mg/kg	31	–	N/A	N/A	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Se	mg/kg	390	–	2,6	8,4	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9
ST	%	–	–	80,0	90,0	75,9	78,5	88,5	91,0	74,9	91,6
Cl-	g/kg	–	–	2,2	5,5	2,4	4,2	1,7	3,9	2,4	2,1
F-	mg/kg	3.900	–	207	212	211	209	210	209	210	209
Sulfato	mg/kg	–	–	75	197	14	47	33	100	22	19
Carbonato	g/kg	–	–	N/A	N/A	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cond.	DS/m	–	–	0,2	0,5	<0,0005	0,1	0,1	0,1	0,1	<0,0005
CN-	mg/kg	24	5	N/A	N/A	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8
DQO	g/kg	–	–	27	38	<25	94	<25	<25	<25	<25

Parámetro	Un.	Normativa internacional		Testigos		Muestras 2025					
		Residencial USEPA	Otros usos País Vasco	X testigos	X+2STD	S1	S2	S3	S4	S5	S6
N nitrato	mg/kg	130.000	–	18	58	<1	28	18	13	8	8
N nitrito	mg/kg	7.800	–	N/A	N/A	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
pH	-	–	–	5,6 - 9,9	N/A	7,1	7,3	6,5	6,3	6,3	6,4
Sulfuro	g/kg	–	–	0,04	0,22	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
HC volátiles	mg/kg	–	–	N/A	N/A	<2	<2	<2	<2	<2	<2
HC fijos	mg/kg	–	–	N/A	N/A	<10	<10	<10	<10	<10	<10
HC totales	mg/kg	–	–	N/A	N/A	<12	<12	<12	<12	<12	<12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 – Resultados Zona Este

Parámetro	Un.	Normativa internacional		Testigos		Muestras 2025	
		Residencial USEPA	Otros usos País Vasco	X testigos	X+2STD	E1	E2
Al	mg/kg	77.000	–	48.238	103.025	61.750	72.871
As	mg/kg	0,68	30	2,5	7,2	<1,2	<1,2
Ca	mg/kg	–	–	3.148	7.530	5.873	4.944
Cd	mg/kg	7,1	5,0	N/A	N/A	<0,1	<0,1
Cr	mg/kg	–	200	18	46	23	21
Cu	mg/kg	3.100	10.000	30	77	73	71
Hg	mg/kg	7,1	4,0	N/A	N/A	<1	<1
K	mg/kg	–	–	316	607	246	257
Mg	mg/kg	–	–	2.844	6.813	3.987	5.510
Na	mg/kg	–	–	399	1.125	333	434
Ni	mg/kg	1.400	110	16	47	20	28
Pb	mg/kg	200	120	2,9	10,3	<1,2	<1,2
Sb	mg/kg	31	–	N/A	N/A	<2	<2
Se	mg/kg	390	–	2,6	8,4	<0,9	<0,9
ST	%	–	–	80,0	90,0	59,9	80,4
Cl-	g/kg	–	–	2,2	5,5	2,1	1,4
F-	mg/kg	3.900	–	207	212	209	205
Sulfato	mg/kg	–	–	75	197	16	26
Carbonato	g/kg	–	–	N/A	N/A	<0,01	<0,01
Cond.	DS/m	–	–	0,2	0,5	0,1	0,1
CN-	mg/kg	24	5	N/A	N/A	<1,8	<1,8
DQO	g/kg	–	–	27	38	<25	<25
N nitrato	mg/kg	130.000	–	18	58	11	25
N nitrito	mg/kg	7.800	–	N/A	N/A	<0,1	<0,1
pH	-	–	–	5,6 - 9,9	N/A	6,8	6,8
Sulfuro	g/kg	–	–	0,04	0,22	<0,002	<0,002
HC volátiles	mg/kg	–	–	N/A	N/A	<2	<2
HC fijos	mg/kg	–	–	N/A	N/A	<10	<10

Parámetro	Un.	Normativa internacional		Testigos		Muestras 2025	
		Residencial USEPA	Otros usos País Vasco	X testigos	X+2STD	E1	E2
HC totales	mg/kg	–	–	N/A	N/A	<12	<12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 – Resultados Zona Oeste

Parámetro	Un.	Normativa internacional		Testigos		Muestras 2025	
		Residencial USEPA	Otros usos País Vasco	X testigos	X+2STD	O1	O2
Al	mg/kg	77.000	–	48.238	103.025	45.827	79.034
As	mg/kg	0,68	30	2,5	7,2	<1,2	<1,2
Ca	mg/kg	–	–	3.148	7.530	5.542	4.273
Cd	mg/kg	7,1	5,0	N/A	N/A	<0,1	<0,1
Cr	mg/kg	–	200	18	46	23	28
Cu	mg/kg	3.100	10.000	30	77	49	80
Hg	mg/kg	7,1	4,0	N/A	N/A	<1	<1
K	mg/kg	–	–	316	607	459	229
Mg	mg/kg	–	–	2.844	6.813	5.076	9.674
Na	mg/kg	–	–	399	1.125	488	284
Ni	mg/kg	1.400	110	16	47	18	27
Pb	mg/kg	200	120	2,9	10,3	<1,2	<1,2
Sb	mg/kg	31	–	N/A	N/A	<2	<2
Se	mg/kg	390	–	2,6	8,4	<0,9	<0,9
ST	%	–	–	80,0	90,0	75,8	73,0
Cl-	g/kg	–	–	2,2	5,5	3,5	2,4
F-	mg/kg	3.900	–	207	212	207	209
Sulfato	mg/kg	–	–	75	197	23	20
Carbonato	g/kg	–	–	N/A	N/A	<0,01	<0,01
Cond.	DS/m	–	–	0,2	0,5	0,1	0,1
CN-	mg/kg	24	5	N/A	N/A	<1,8	<1,8
DQO	g/kg	–	–	27	38	<25	<25
N nitrato	mg/kg	130.000	–	18	58	15	11
N nitrito	mg/kg	7.800	–	N/A	N/A	<0,1	<0,1
pH	-	–	–	5,6 - 9,9	N/A	6,6	7,8
Sulfuro	g/kg	–	–	0,04	0,22	<0,002	<0,002
HC volátiles	mg/kg	–	–	N/A	N/A	<2	<2
HC fijos	mg/kg	–	–	N/A	N/A	<10	<10
HC totales	mg/kg	–	–	N/A	N/A	<12	<12

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados presentados y a los criterios de evaluación indicados en la sección anterior, se realizó un análisis el cual indicó lo siguiente:

- Los resultados de los analitos arsénico, calcio, mercurio, potasio, níquel, plomo, antimonio, selenio, sólidos totales, carbonato, cianuro, nitrato, nitrito, sulfuro, conductividad, pH, hidrocarburos volátiles, fijos y totales se encuentran para todas las muestras bajo el nivel de detección, bajo el nivel de variabilidad natural o bajo los valores de referencia.
- Para los analitos cromo, cobre y fluoruro, algunas muestras superan el valor de variabilidad natural, pero se encontraron bajo los valores de referencia internacional para protección de la salud, además de ser descartada la atribución al sistema de evaporación por análisis de distribución espacial. Además, para los analitos magnesio, sodio, cloruro, sulfato y DQO, se tiene un escenario similar, donde algunas muestras superan el valor de variabilidad natural, pero se descarta la atribución del sistema de evaporación por análisis de distribución espacial, y además se nota que estos analitos no cuentan con valores de referencia por no tener efectos tóxicos en humanos.
- En relación con el aluminio (Al), algunas muestras presentaron concentraciones superiores a ciertos valores de referencia internacionales (CCME, 2007; USEPA, 2018). Sin embargo, estos niveles son coherentes con la naturaleza volcánica de los suelos de la zona centro-sur de Chile, caracterizados por elevados contenidos de arcillas alofánicas y óxidos de Fe/Al. En cuanto al cadmio (Cd), se observaron algunas superaciones respecto de los criterios de referencia más estrictos, como los establecidos por el Gobierno Vasco (2015). No obstante, dichas concentraciones no exceden los valores guía de la USEPA (2018) para escenarios de uso más restrictivo (residencial), lo que acota el riesgo ambiental y sanitario asociado. Adicionalmente, el análisis de distribución espacial (Sección 4.2.3) indica que tanto en Al como en Cd las superaciones no siguen un patrón de incremento hacia las zonas de influencia directa del sistema de evaporación. Por el contrario, corresponden a variaciones puntuales y aleatorias observadas en calicatas periféricas, lo que respalda su interpretación como manifestaciones de la heterogeneidad natural de los suelos volcánicos y/o de fuentes externas no asociadas al proyecto.

5 Conclusiones

Se realizó una evaluación de los resultados del monitoreo realizado en enero 2025, en relación a las condiciones de la RCA N°340/2017, específicamente la condición *8.1 Condición o exigencia Monitoreo calidad de suelo*. Cabe notar que se identificaron ciertas incongruencias en cuanto a la justificación de esta condición, no obstante, se tomó como objetivo esencial evaluar si el sistema de tratamiento de RILes por evaporación está impactando a los suelos locales.

En este respecto, la evaluación se enfocó en 2 objetivos principales, que incluyen evaluar: i) si las concentraciones se encuentran dentro de la variabilidad natural de los suelos; y ii) si las concentraciones se encuentran elevadas por sobre normativa internacional para el resguardo de la salud de las personas. Además, en base a lo anterior, se analizó si muestras con concentraciones más altas que los valores de referencia podrían atribuirse o no al sistema de evaporación debido a la ubicación de estas.

Los resultados del monitoreo muestran que, en la mayoría de los parámetros analizados, los valores de las muestras se encuentran por debajo de los límites de detección, por debajo de los niveles de referencia internacionales establecidos para protección de la salud de las personas. Ahora bien, hay algunas muestras con valores superiores a algunos de estos criterios para ciertos parámetros; sin perjuicio de ello, y conforme al análisis de distribución espacial desarrollado en el informe, dichas superaciones no presentan un patrón que se relacione con la ubicación del sistema de evaporación. En otras palabras, no se observa un gradiente de concentración creciente hacia las zonas de influencia directa de esta instalación, sino que corresponden a variaciones puntuales y aleatorias atribuibles a la heterogeneidad natural del suelo y a fuentes externas no asociadas al proyecto.

De acuerdo al análisis realizado, se concluye que el Sistema de Tratamiento de RILes por evaporación no ha generado impacto en los suelos locales.

6 Bibliografía

- Comunidad Autónoma del País Vasco. (2015). *Ley 4/2015, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo*. – BOE-A-2015-8272. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-8272
- Ecobio. (2017). *Sistema de tratamiento complementario de Riles a través de Evaporación - RCA N°340/2017*. https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2131949949
- Ecobio. (2022). *Informe RCA 340 Monitoreo Calidad del Suelo año 2022*.
- Ecometrika. (2017). *Modelación de Dispersión de Partículas*, CITA.
- EnSoil. (2024). *Estudio de contaminación y análisis de riesgo, planta Ecobio, región de Ñuble*. www.ensoil.cl
- GAC Consultores. (2018). *Anexo 14 Informe de Caracterización de Suelos Declaración de Impacto Ambiental “Mejoramiento Integral de la Gestión de Residuos Planta Ecobio.”* https://seia.sea.gob.cl/archivos/2018/08/30/Anexo_14_Caracterizacion_Suelos.pdf
- Hídrica Consultores, & Ecobio. (2017). *Anexo 9. Informe suelos – ADENDA COMPLEMENTARIA DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL “SISTEMA DE TRATAMIENTO COMPLEMENTARIO DE RILES A TRAVÉS DE EVAPORACIÓN.”* https://seia.sea.gob.cl/archivos/2017/10/06/Anexo_9._Informe_de_Suelos_Rev0.pdf
- Luzio, W. (2010). *Suelos de Chile*. <https://biblioteca.inia.cl/items/5d184697-112a-4ba1-ad88-315780e74c5b>
- Maurer, D., Mengel, M., Robertson, G., Gerlinger, T., & Lissner, A. (1999). Statistical process control in sediment pollutant analysis. *Environmental Pollution*, 104(1), 21–29. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00162-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00162-6)
- MMA. (2013). *Guía Metodológica para la Gestión de SPPC*. <https://sqi.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/07/g4-Guia-Metodologica-Evaluacion-y-Gestion-de-Riesgo-SPPC.pdf>
- USEPA. (2002). *Guidance for Comparing Background and Chemical Concentrations in Soil for CERCLA Sites*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/background.pdf>
- USEPA. (2025). *Regional Screening Levels (RSLs) - Generic Tables*. <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>