

ESTUDIO DE ANÁLISIS FORENSE DE LA VEGETACIÓN AZONAL HÍDRICA TERRESTRE CON AFECTACIÓN (SVAHT), SECTOR SALAR DE PEDERNALES

INFORME ANUAL DE GESTIÓN

JUNIO 2024



ESTUDIO DE ANÁLISIS FORENSE DE LA VEGETACIÓN AZONAL HÍDRICA TERRESTRE CON AFECTACIÓN (SVAHT), SECTOR SALAR DE PEDERNALES

INFORME ANUAL DE GESTIÓN

JUNIO 2024

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad de Queensland por su apoyo y confianza otorgada para que el Centro de Excelencia Internacional del Sustainable Minerals Institute sea un éxito en Chile.

Agradecemos a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, ANID por su apoyo a través del Programa de Atracción de Centros de Excelencia Internacional (CEI) de Corfo.

Agradecemos a nuestros socios estratégicos, Codelco División Salvador y Laboratorio de Oceanografía Química, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de Concepción, por su colaboración y apoyo en la ejecución de este proyecto.

Agradecemos a nuestros proveedores de servicios de producción audiovisual, AVIC Producciones, por su dedicación y trabajo.



The Sustainable Minerals Institute, The University of Queensland, Australia

Clasificada como una de las 50 mejores¹, The University of Queensland (UQ) es una de las instituciones australianas líderes en investigación y docencia. UQ se esfuerza por lograr excelencia a través de la creación, conservación, transferencia y aplicación del conocimiento. Por más de un siglo, hemos educado y trabajado con destacadas personas para entregar liderazgo del conocimiento para un mundo mejor.

El Sustainable Minerals Institute (SMI) es un instituto líder mundial en investigación², comprometido al desarrollo de soluciones basadas en el conocimiento de los desafíos globales en materia de sostenibilidad de la industria de recursos, y de capacitar a la próxima generación de líderes de la industria y de comunidades.

El Instituto es transdisciplinario, y nuestro trabajo es independiente, imparcial y riguroso. Nuestra investigación integra la experiencia de especialistas en producción, medio ambiente y ciencias sociales, para entregar desarrollo de recursos responsable. SMI se conforma de seis centros de investigación y un Centro de Excelencia basado en Chile. Tenemos un récord sólido en todas las áreas de la minería – en exploración, minería, procesamiento de minerales, salud y seguridad en el trabajo, rehabilitación de minas, agua y energía, responsabilidad social, y gobernanza de los recursos.

El corazón de nuestro negocio está profundamente enraizado en la industria de minerales y nuestros investigadores tienen experiencia trabajando en el sector, para apoyar a la industria, los gobiernos, las comunidades y la sociedad civil, a través del análisis y liderazgo de pensamiento.

Centro de Excelencia Internacional en Chile, SMI-ICE-Chile

El Centro de Excelencia Internacional en Chile busca mejorar fundamentalmente la gestión productiva y Ambiental de las operaciones mineras chilenas y estar a la vanguardia de la investigación innovadora y transferencia tecnológica.

El Centro tiene el propósito de crear una nueva fuerza de conocimiento minero colaborativo en Chile, que desarrolle capital humano, entregue resultados de investigación innovadores y realice una efectiva transferencia tecnológica a la industria, gobierno y sociedad.

Más información en smi.uq.edu.au y smiicechile.cl/

¹ Ranking mundial de universidades QS y Ranking de desempeño en papers científicos para universidades del mundo (2018)

² The University of Queensland está clasificada como primera en el mundo para ingeniería minera y mineral, 2018 Shanghai Rankings por asignatura.

Tabla de Contenidos

1.	Resumen	1
2.	Introducción	4
3.	Objetivo	4
4.	Material y métodos	5
4.1	Área de Estudio.....	5
4.2	Metodología	7
5.	Resultados y Discusión	8
5.1	Avance físico general	8
5.2	Entregables a la fecha.....	9
5.2.1	Informe final	9
5.2.2	Cápsula informativa.....	10
5.2.3	Folleto informativo.....	11
5.3	Próximas actividades	11
6.	Conclusiones	12
7.	Listado de profesionales del Proyecto	13
8.	Referencias	16
9.	Apéndices	A
	Apéndice 1 – Informe Final	A
	Apéndice 2 – Folleto informativo	B

Tablas

Tabla 1. Avance físico de Análisis Forense del SVAHT.	8
Tabla 3. Documentos entregados a la fecha y por entregar Análisis Forense	9

Figuras

Figura 1. ODS y su relación con el Estudio de Análisis Forense del SVAHT.....	3
Figura 2. Área de Estudio Análisis Forense SVAHT.....	5
Figura 3. Fotografías Salar de Pedernales, Zona Inactiva.....	6
Figura 4. Fotografías Salar de Pedernales, Zona Intermedia.	6
Figura 5. Fotografías Salar de Pedernales, Zona Activa.	7
Figura 6. a) y b) Fotografías de producción audiovisual en la Universidad de Concepción. c) Captura de animación 3D.....	10

Apéndices

Apéndice 1 – Informe Final	A
Apéndice 2 – Folleto informativo	B

1. Resumen

El estudio de análisis forense de la vegetación azonal hídrica terrestre con afectación (SVAHT), en el sector Salar de Pedernales, surge de los acuerdos establecidos en el proceso de conciliación por demanda por daño Ambiental (Causa Rol D-07-2020), caratulada “Consejo de Defensa del Estado con Corporación Nacional del Cobre de Chile”, seguida ante el Primer Tribunal Ambiental. El objetivo de este estudio forense fue determinar la data y dinámica de muerte del SVAHT inactivo observable en el Salar de Pedernales.

Un equipo interdisciplinario de expertos, liderado por investigadores del Centro de Excelencia Internacional de la Universidad de Queensland (SMI-ICE-Chile) y en colaboración con la Universidad de Concepción, llevó a cabo la presente investigación. Para determinar la fecha y la dinámica de muerte del SVAHT inactivo en el Salar de Pedernales, se empleó el radionúclido ^{210}Pb como geocronómetro. El estudio se desarrolló en tres zonas diferenciadas del SVAHT: Zona Activa (vegetación viva), Zona Intermedia (vegetación con disminución de vigor) y Zona Inactiva (vegetación muerta).

Para estimar el tiempo transcurrido desde la muerte de las plantas en las Zonas Inactiva e Intermedia, se comparó la actividad de ^{210}Pb presente en ellas con la de las plantas vivas de la Zona Activa. Se asumió que la actividad de ^{210}Pb en las plantas vivas refleja el contenido actual y reciente de este elemento en el ecosistema. Dos métodos fueron utilizados para calcular la edad de muerte: el método de actividad inicial constante (MCI) y el método de desequilibrio radioactivo (DER).

Los resultados muestran que el tiempo transcurrido desde la muerte de las plantas en la Zona Inactiva varió de 16,6 a 71,5 años según el método DER y de 10,8 a 60,8 años según el método MCI. En la Zona Intermedia, el intervalo de tiempo transcurrido desde la muerte fluctuó entre 16,7 y 62,9 años con el método DER y entre 11,9 y 58,0 años con el método MCI. Finalmente, los resultados entregados por ambos métodos de datación (MCI y DER) muestran que la disminución de la superficie del SVAHT habría sido un proceso gradual, donde la muerte de las plantas habría comenzado aproximadamente en el año 1951 en la Zona Inactiva, y alrededor del año 1959 en la Zona Intermedia. Este proceso habría durado alrededor de 71,5 años en la Zona Inactiva y 62,9 años en la Zona Intermedia, lo cual se habría estabilizado entre los años 2010 y 2011.

El estudio ha generado diversos materiales informativos para comunicar sus hallazgos a distintos públicos:

- Informe final (finalizado): Un documento completo que detalla la metodología, los resultados y las conclusiones del estudio.
- Cápsula informativa (finalizada): Un resumen conciso y accesible de los resultados clave del estudio, dirigido a un público general.
- Folleto de difusión (finalizado): Un material visual y atractivo que presenta los resultados del estudio de manera clara y comprensible para una amplia audiencia.

- Artículo científico (en progreso): Un artículo en preparación para ser publicado en una revista científica especializada, con el fin de compartir los resultados con la comunidad científica internacional.

A la fecha de este informe de avance, el proyecto se encuentra completado en un 97%. En general, para todas las actividades se ha cumplido con el avance proyectado. En específico, 13 de las 15 actividades listadas, presentan un avance del 100% y cumplidas a la fecha. Las actividades relacionadas a la redacción y publicación del artículo científico se encuentran en sus últimas etapas de desarrollo. Los productos finalizados serán publicados en la página web de Codelco y estarán disponibles para su descarga gratuita.

En el Proyecto se encuentran representados algunos de los compromisos globales manifestados por Naciones Unidas en su Agenda 2030, que compromete 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), por lo que también constituyen un marco referencial para esta medida complementaria del Avenimiento y Transacción, por su contribución a las metas especificadas en la Figura 1.

Figura 1. ODS y su relación con el Estudio de Análisis Forense del SVAHT.

ODS	Contribución del Proyecto
 <p>4 EDUCACIÓN DE CALIDAD</p>	<p>A través de la publicación y difusión de la metodología y resultados del estudio científico, se espera promover la educación para el desarrollo sostenible y disminuir la actual brecha de conocimiento de los humedales altoandinos.</p>
 <p>6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO</p>	<p>A través de decisiones basadas en conocimiento científico, se pueden proteger ecosistemas relacionados con el agua, tal como los humedales altoandinos y a su vez, fortalecer la participación de la industria y las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua.</p>
 <p>13 ACCIÓN POR EL CLIMA</p>	<p>El conocimiento científico contribuye directamente a la mejora en la restauración y gestión de los humedales altoandinos, los cuales son considerados uno de los ecosistemas más importantes para hacer frente al cambio climático, debido a su capacidad de secuestro de carbono.</p>
 <p>15 VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES</p>	<p>A través de la investigación científica de la dinámica de muerte de los sistemas vegetacionales, se contribuye a comprender el funcionamiento de los humedales altoandinos y a promover su conservación.</p>
 <p>17 ALIANZAS PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS</p>	<p>Se promueven alianzas estratégicas con instituciones académicas y la industria, buscando promover compromisos para la acción y recuperación de las áreas afectadas.</p>

Fuente: Elaboración propia (2022).

2. Introducción

El Pb radioactivo tiene un total de 49 isótopos, de los cuales, solo 3 son estables (i.e., ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb), siendo el resto radioactivos, con vidas medias de algunos milisegundos (i.e., ^{218}Pb , 45 ms) a años (i.e., ^{210}Pb , 22,3 años). Todos estos isótopos de Pb son continuamente producidos, porque provienen de las series de decaimiento del U y Th, y, por lo tanto, se encuentran presente en el ambiente en forma permanente (Külahcı, 2020). Debido a esto, el ^{210}Pb está presente en el suelo producto del decaimiento de su padre ^{226}Ra (vida media 1600 años), a través de su hija ^{222}Rn (vida media 5 días), que es gaseoso y luego se transforma a ^{210}Pb . Pero también, por este mismo fenómeno, el ^{222}Rn puede emanar desde el suelo y alcanzar la atmósfera decayendo luego a ^{210}Pb , el cual vuelve a la superficie por precipitaciones, por lo que existe un flujo continuo de este radionúclido a la superficie del suelo.

Las plantas en el suelo pueden incorporar este radionúclido de una manera similar como lo hacen con el Pb estable, ya que el Pb radiactivo se comporta químicamente como el Pb no radioactivo, es decir, se puede disolver, adsorber, precipitar, absorber, entre otros, usando para ello los mismos mecanismos fisiológicos que para el Pb no radioactivo. Esto significa que el ^{210}Pb se puede encontrar presente en una gran variedad de plantas y ambientes.

La cuantificación de ^{210}Pb se puede hacer mediante espectroscopia alfa, utilizando la hija ^{210}Po , que tiene una vida media de 138,4 días, lo cual significa que este elemento radioactivo alcanza equilibrio secular a los 1,89 años con su padre ^{210}Pb . Para muestras sólidas, generalmente se utiliza un ataque ácido para disolver el material, y luego, deposición en discos de plata. En el caso de muestras biológicas, como tejidos vegetales, generalmente se realiza un lavado con un sonicador (Ibrahim & Whicker, 1987), secado y una digestión ácida que puede utilizar HCl, HF, HNO_3 y HClO_4 , y también H_2O_2 , para eliminar la materia orgánica (Murray-Matthew *et al.*; 2007; Persson, 2014). Posteriormente, el ^{210}Po es depositado espontáneamente en discos de plata pura, y la actividad presente en la solución ácida se cuantifica en un espectrómetro alfa, ubicando el peak a 5,3 MeV en el espectro de decaimiento alfa (Murray-Matthews *et al.*, 2007).

En el presente informe de gestión anual 2024 (periodo abril de 2023 a abril de 2024) de la medida complementaria “Estudio de análisis forense de la vegetación azonal hídrica terrestre con afectación (SVAHT), sector Salar de Pedernales”, se detalla el progreso y las entregas realizadas a la fecha. La totalidad de los entregables asociados a este periodo se relacionan con el final del proyecto, es decir, consolidan todos los resultados y conclusiones del estudio.

3. Objetivo

El objetivo del Proyecto es ejecutar un estudio científico, que permita determinar la data y dinámica de muerte de los SVAHT inactivos en el Salar de Pedernales, y elaborar material que permita la difusión del conocimiento.

4. Material y métodos

4.1 Área de Estudio

El Área de Estudio corresponde al SVAHT inactivo del Salar de Pedernales, denominado como Zona Inactiva en el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Rajo Inca (RCA 19/2020). Esta área corresponde al polígono definido como Zona Inactiva en la Figura 2, la cual constituye una superficie de aproximadamente 76 ha, donde existió vegetación de tipo azonal activa. La Figura 2 también muestra la ubicación de la denominada Zona Activa, donde en la actualidad se encuentra la vegetación activa remanente del SVAHT, junto con una zona indicada como intermedia, inserta entre las otras dos condiciones.



Figura 2. Área de Estudio Análisis Forense SVAHT.

La Figura 3, Figura 4 y Figura 5, muestran la condición representativa de la vegetación en la Zona Inactiva, Zona Intermedia y Zona Activa, respectivamente.



Figura 3. Fotografías Salar de Pedernales, Zona Inactiva.



Figura 4. Fotografías Salar de Pedernales, Zona Intermedia.



Figura 5. Fotografías Salar de Pedernales, Zona Activa.

4.2 Metodología

Se realizaron dos campañas de muestreo en estaciones contrastantes: otoño y primavera, específicamente durante abril y octubre de 2022. Lo anterior se hizo con el fin de verificar la existencia de variación intra-anual en el contenido de ^{210}Pb en las plantas del SVAHT del Salar de Pedernales. En estas campañas participaron investigadores de SMI-ICE-Chile y de la Universidad de Concepción. Además, durante la segunda campaña, se contó con la participación de integrantes de la comunidad indígena Colla Geoxcultuxial, quienes acompañaron al equipo de terreno en las labores de muestreo y les plantearon preguntas con respecto al estudio, las que fueron abordadas por el equipo científico. Se obtuvieron muestras vegetales vivas de la Zona Activa, plantas vivas y muertas de la Zona Intermedia, y restos de plantas muertas en la Zona Inactiva. Todas las muestras fueron almacenadas en bolsas de polietileno individuales, etiquetadas y enviadas al Laboratorio de Radioquímica Ambiental de la Universidad de Concepción. En el Apéndice 1 se describe en detalle el muestreo, preparación de muestras, análisis de laboratorio, resultados y conclusiones del estudio.

En paralelo a la redacción del informe final, se desarrolló una cápsula informativa y un folleto informativo que resumen los resultados del estudio.

La cápsula informativa fue elaborada en conjunto al equipo audiovisual de AVIC Producciones, donde se utilizaron imágenes y videos tomados en el salar de Pedernales, además de capturas realizadas en la Universidad de Concepción. Por su parte, el folleto informativo se realizó con el equipo de diseñadoras de SMI-ICE-Chile.

5. Resultados y Discusión

5.1 Avance físico general

En la Tabla 1 se pueden observar los avances físicos estimados según las actividades del Proyecto. En general, para todas las actividades se ha cumplido con el avance proyectado. En específico, 13 de las 15 actividades listadas, presentan un avance del 100% y cumplidas a la fecha. Las actividades relacionadas a la redacción y publicación del artículo científico se encuentran en sus últimas etapas de desarrollo.

Tabla 1. Avance físico de Análisis Forense del SVAHT.

Actividad	Avance Proyectado al 30-04-2024	Avance Real al 30-04-2024
Ejecución de estudio	100%	97%
Revisión y análisis de literatura especializada	100%	100%
Visita terreno de reconocimiento	100%	100%
Fase 1: Diseño de muestreo y campaña de terreno	100%	100%
Campaña 1- Otoño	100%	100%
Campaña 2- Primavera	100%	100%
Fase 2: Análisis de laboratorio	100%	100%
Análisis de radionúclidos Campaña 1	100%	100%
Análisis de radionúclidos Campaña 2	100%	100%
Fase 3: Procesamiento de la información (Intervalo Post mortem)	100%	100%
Fase 4: Reporte Anual de actividades con avances correspondientes	100%	100%
Informe final con resultados del Estudio Forense	100%	100%
Preparación de artículo científico	100%	85%
Publicación de principales resultados en revista WOS/Scopus	100%	70%
Elaboración y entrega de información para página web	100%	100%
Informe de Gestión Mensual	100%	100%
Avance físico Análisis Forense	100%	97%

Fuente: Elaboración propia (2024).

5.2 Entregables a la fecha

Basados en la programación, los documentos entregados a la fecha corresponden a los informes de gestión mensual, hasta agosto de 2023, junto con el informe de gestión anual 2023, entregado en abril del año pasado. También se dio cumplimiento con el programa de muestreo, la que consideró las 2 campañas, realizadas en abril de 2022 (otoño) y octubre del mismo año (primavera), actividades que se reportaron en los informes mensuales y en el presente compilado anual. Además, se hizo entrega del video y el folleto informativo que resumen las principales actividades y resultados de este trabajo, y del informe final del proyecto. Como entregable pendiente está el artículo científico de publicación científica. En la Tabla 2 se muestra el detalle de los entregables.

Tabla 2. Documentos entregados a la fecha y por entregar Análisis Forense

Estado	Nombre documento	Detalles
Entregados a la fecha	Informes de Gestión	Informes de gestión mensual: may 23, jun 23, jul 23, ago 23
		Informe de gestión anual 2023, resultados parciales
	Programa de muestreo	Campaña 1 de otoño 2022
		Campaña 2 de primavera 2022
	Video	Cápsula informativa que resume el estudio para página web de Codelco
	Informe Final	Resultados y conclusiones del estudio forense
Folleto informativo	Folleto con el resumen del estudio para página web de Codelco	
En proceso	Manuscrito y publicación	Artículo científico

Fuente: Elaboración propia (2024).

5.2.1 Informe final

En el informe final del estudio, disponible en el Apéndice 1, se explica en detalle la metodología utilizada, y se consolida una profunda revisión bibliográfica, que se orientó principalmente al uso de elementos radioactivos naturales de la serie del ^{238}U como herramienta forense. En este informe también se reportan las conclusiones del estudio, es decir, incluye estimación de la data de muerte de las plantas en las zonas Inactiva e Intermedia, calculada a partir de los niveles de actividad de ^{210}Pb , y también se explica la dinámica de muerte de las plantas.

5.2.2 Cápsula informativa

El video denominado “Cápsula informativa II – Análisis forense de la vegetación” muestra imágenes del salar de Pedernales y también de la Universidad de Concepción, específicamente del laboratorio de Oceanografía Química, lugar donde se llevaron a cabo los análisis de las muestras. También se muestra al Dr. Marco Salamanca (Figura 6a y 6b), Director científico del estudio, explicando de manera general la metodología y principales resultados del trabajo. Además, se realizó una animación en 3D que muestra la forma en que el ^{210}Pb se encuentra en el ambiente y como se incorpora naturalmente a las plantas. La Figura 6c muestra una captura de esta animación.



Figura 6. a) y b) Fotografías de producción audiovisual en la Universidad de Concepción. c) Captura de animación 3D.

5.2.3 Folleto informativo

El equipo de investigadores y de diseñadoras de SMI-ICE-Chile, elaboró un folleto donde se consolidan y resumen los principales resultados del estudio. Este entregable está disponible en el Apéndice 2.

5.3 Próximas actividades

El manuscrito del artículo científico está terminado y actualmente se encuentra en revisiones, previo a su envío a la revista seleccionada. En específico, en el manuscrito se incluye la revisión bibliográfica llevada a cabo durante el Proyecto, principalmente orientado al uso de elementos radioactivos naturales de la serie del ^{238}U como herramienta forense, además de la descripción detallada de la metodología de tratamiento, depositación y lectura de las muestras, desarrollada durante esta investigación, y los resultados y conclusiones.

6. Conclusiones

El proyecto de Análisis Forense SVAHT, permitió el desarrollo de una metodología basada en la actividad de ^{210}Pb , con la cual se determinó la data y dinámica de muerte del SVAHT inactivo en el Salar de Pedernales (detallados en el Apéndice 1). Los resultados indican que la muerte de las plantas habría comenzado alrededor del año 1951 en la Zona Inactiva y en 1959 en la Zona Intermedia, con una duración de unos 71,5 años en la Zona Inactiva y 62,9 años en la Zona Intermedia, estabilizándose entre 2010 y 2011. Las mayores edades de muerte de plantas se determinaron en las plantas del extremo sur de la Zona Inactiva, lo que indica que la disminución de la superficie del SVAHT habría ocurrido inicialmente desde el extremo sur hacia el norte. El desarrollo de este proyecto permitió la elaboración de diversos materiales informativos para comunicar sus hallazgos a distintos públicos: un informe final, una cápsula informativa, un folleto de difusión y un artículo científico. En particular, este último se encuentra en sus últimas etapas de elaboración.

7. Listado de profesionales del Proyecto



Dr. Felipe Saavedra – Líder de Proyecto

Biólogo graduado de la Universidad de Concepción, con una maestría en gestión ambiental y un doctorado en ingeniería ambiental, geología y geoquímica de la Universidad de Queensland, Australia. Lidera el equipo de Rehabilitación Ambiental y Dinámicas Ecosistémicas en SMI-ICE-Chile. Felipe posee más de 10 años de experiencia liderando la ejecución de proyectos de investigación aplicada y consultoría especializada en sostenibilidad minera. Su especialización abarca áreas críticas como la rehabilitación y cierre de minas, conservación de la biodiversidad, gestión de agua y relaves, planificación estratégica para la sostenibilidad, así como la evaluación y remediación de sitios contaminados, entre otros campos.



Daniela Gamboa – Coordinadora de Proyecto

Licenciada en Ciencias Forestales de la Universidad de Chile y diplomada en Gestión Integrada de Humedales y Ordenamiento Territorial de la misma casa de estudios, con más de 12 años de experiencia en gestión de proyectos en temas de medio ambiente y desarrollo sostenible: Su área de especialización abarcan la evaluación de impactos en ecosistemas, la caracterización de componentes bióticos, los sistemas de información geográfica y la evaluación de eventuales efectos relacionados a actividades mineras e industriales sobre los territorios, integrando las dimensiones del desarrollo sostenible: ambiental, social y económico.



Dr. Marco Salamanca – Director Científico

Biólogo Marino de la Universidad de Concepción. MSc. en Ciencias Ambientales Marinas y Dr. en Oceanografía Costera obtenido en el Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad del Estado de Nueva York en Stony Brook, EEUU. Actualmente es Profesor Asociado del Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de Concepción. Tiene más de 42 publicaciones en revistas de la especialidad y es autor y/o coautor de 6 capítulos de libros de Oceanografía y Medio Ambiente. Su quehacer científico ha estado orientado a la oceanografía aplicada, particularmente en temas relacionados con la problemática ambiental marina de la industria forestal, minera, acuícola y de energía.



Marco Hidalgo – Investigador

Biólogo Marino de la Universidad de Concepción e Inspector Ambiental con experiencia en terreno, toma de muestras de la columna de agua, sedimento intermareal y submareal, con una fuerte formación en el área de Gestión del Medioambiente. Actualmente se desempeña como Investigador en el Laboratorio de Oceanografía Química del departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción. Cuenta con una amplia experiencia efectuando toma de muestras en Terreno de matrices como Aguas Crudas, Sedimento y tejido biológico siguiendo los requerimientos normativos vigentes. Además, realiza mediciones de Parámetros In-situ bajo las exigencias de las normas y resoluciones exentas chilenas actuales.



Dr. David Rubinos – Experto en Calidad de Agua y Suelos

Licenciado y Doctor en Farmacia por la Universidad de Compostela (USC), España, y MS en Calidad de suelos y aguas por el Instituto de Investigación y Análisis Alimentarios de la USC. Actualmente es Líder Científico de SMI-ICE-Chile y sus principales líneas de investigación incluyen la caracterización y reutilización de residuos industriales, la (bio)remediación de suelos contaminados con metales, metaloides y plaguicidas, la (bio)geoquímica y ecotoxicología de arsénico en suelos y aguas, y el control de calidad de aguas, entre otros.



MSc. Pablo Bustos – Investigador

Ingeniero Agrónomo y Magister en Manejo de Suelos y Aguas de la Universidad de Chile. Sus principales áreas de expertise son el impacto de las actividades antrópicas en el medio natural, la evaluación de calidad de suelos y cuerpos de agua para diferentes usos, así como la remediación de sitios contaminados. Ha trabajado en estudio para evaluar los impactos ambientales de derrames (e.g., relaves, concentrados y ácidos) sobre ambientes marinos y terrestres. Además, se ha especializado en la evaluación de plantas nativas como prospectos para la estabilización de elementos contaminantes.



MSc. María Paz Valenzuela – Investigadora

Ingeniera Agrónoma, Magister en manejo de Suelos y Aguas de la Universidad de Chile y diplomada en Restauración y Rehabilitación Ambiental Terrestre de la misma casa de estudios. Se ha especializado en monitoreos ambientales y la evaluación de calidad de suelos, aguas, sedimentos y especies vegetales impactadas por la actividad minera. Actualmente, se desempeña en SMI-ICE-Chile como coordinadora de la línea de Rehabilitación Ambiental y Dinámicas Ecosistémicas abordando el desarrollo e implementación de estrategias para la recuperación de sitios contaminados.



Dr. Jacques Wiertz – Experto en Hidrogeología

Ingeniero Civil Geólogo de la Université de Liège, Bélgica, con PhD – Doctorat en Sciences Appliquées de la misma Universidad. Con más de veinticinco años de experiencia en la industria minera como Ingeniero Investigador, académico y consultor, sus principales áreas de especialización son biohidrometalurgia, biolixiviación, estudios de evaluación de impacto ambiental para proyectos mineros, planificación de cierre de minas, gestión de aguas, gestión sostenible de residuos mineros, la economía circular y los indicadores de sostenibilidad de la industria minera.



Dilan Campos – Investigador

Geólogo de la Universidad de Concepción con más de 3 años de experiencia en estudios relacionados a geoquímica ambiental, hidrogeología e hidrogeoquímica. Cuenta con experiencia en el análisis y procesamiento de datos con diferentes softwares estadísticos, y también en el desarrollo de modelos empleando herramientas SIG y softwares de modelamiento. Su experiencia se centra en la evaluación de calidad de suelos y aguas, caracterización hidro(geo)lógica, caracterización de sitios contaminados, y en la búsqueda de alternativas para la prevención de drenaje ácido de roca.



Myrna Cisneros – Diseñadora

Diseñadora Gráfica de la Universidad de Chile. Magíster en Diseño de la Información y Visualización de Datos en la Universitat Pompeu Fabra – Barcelona. Diplomada en Tipografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Ha desarrollado una amplia trayectoria en el ámbito de la comunicación visual, especializada en proyectos editoriales para Prensa, Cultura y Educación. Ha sido directora de Arte de Revista Paula, codirectora del Estudio de Diseño Comunas Unidas y docente Universitaria. Actualmente colabora como diseñadora en SMI-ICE-Chile.



Victoria Martínez – Diseñadora

Diseñadora Gráfica de la Universidad de Chile. Cuenta con más de 20 años de experiencia en el área de las Comunicaciones, Diseño Editorial, Infografías y Diseño Web. Como parte de su formación profesional, trabajó en los medios de prensa nacional La Tercera y Pulso, liderando equipos multidisciplinarios. Ha desarrollado asesorías en comunicación visual, gestionando diversos proyectos para Naciones Unidas, Universidades, Instituciones públicas, organizaciones de la sociedad civil y entidades privadas. Actualmente en SMI-ICE-Chile, está a cargo de la línea gráfica en los materiales y herramientas de difusión para las distintas líneas de investigación del Centro.

8. Referencias

Külahcı, Fatih 2020. Environmental Distribution and Modelling of Radioactive Lead (210): A Monte Carlo Simulation Application (2020) In: Lead in Plants and the Environment (Dharmendra K. Gupta • Soumya Chatterjee Clemens Walther Editors. Radionuclides and Heavy Metals in the Environment Series Editors: (D. K. Gupta, C. Walther). Springer 15-32.

Ibrahim A. & f. W. Whicker. (1987). Plant accumulation and plant/soil concentration ratios of ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po at various sites within a uranium mining and milling operation s. Environmental and Experimental Botany, 27(2),203-213.

Murray -Matthews K., Chang-Kyu Kimb, Paul Martinb. (2007). Determination of ²¹⁰Po in environmental materials: A review of analytical methodology. Applied Radiation and Isotopes, 65: 267–279.

Persson B. (2014). ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb in the Terrestrial Environment. Current Advances in Environmental Science (CAES) CAES Volume 2, Issue 1 Feb. 2014 PP. 22-37 www.caes.org ©C American V-King Scientific Publishing.



9. Apéndices

Apéndice 1 – Informe Final

Archivo “AForense_Informe Final_Rev02.pdf” adjunto a este informe.



Apéndice 2 – Folleto informativo

Archivos “AForense_Folleto informativo_versión digital.pdf” y
“AForense_Folleto informativo_versión para imprimir.pdf” adjuntos a este informe.