



THE UNIVERSITY
OF QUEENSLAND
AUSTRALIA

SMIChile
Sustainable Minerals Institute
International Centre



**UN NUEVO
SALVADOR**
futuro con la fuerza de nuestra historia

Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02

INFORME DE GESTIÓN ANUAL **2026**

Preparado para: Codelco Salvador
DSAEST_Anual26_Rev0
Santiago, 18 de junio 2026



Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02

INFORME DE GESTIÓN ANUAL **2026**



SALAR DE PEDERNALES



Control del documento

REV	Fecha	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
A	04-06-2026	Daniela Gamboa	Jacques Wiertz	Jacques Wirtz
B	10-06-2026	Daniela Gamboa	Mauricio Vera	Jacques Wiertz
C	11-06-2026	Daniela Gamboa Jacques Wiertz	Mauricio Vera	Jacques Wiertz
D	15-06-2026	Daniela Gamboa	Mauricio Vera	Mauricio Vera
0	18-06-2026	Daniela Gamboa	Mauricio Vera	Mauricio Vera

Índice de Contenidos

1. Resumen Ejecutivo.....	1
1.1 Contexto.....	1
1.2 Medida EST-01	1
1.3 Medida EST-02	2
1.4 Notas Técnicas	2
1.5 Próximos pasos.....	3
2. Introducción.....	4
3. Objetivos	6
3.1 Medida EST-01	6
3.2 Medida EST-02	6
4. Metodología	7
4.1 Control de gestión	7
4.2 Levantamiento de información	11
4.3 Notas Técnicas	12
5. Resultados	13
5.1 Avance físico general	13
5.2 Hallazgos relevantes por componente.....	15
5.3 Notas Técnicas	22
6. Conclusiones.....	25
7. Listado de profesionales del Proyecto	27
7.1 EST-01.....	27
7.2 EST-02.....	28
8. Referencias	30
9. Apéndices	30
9.1 Apéndice 01: Notas Técnicas 1-4.....	30
9.2 Apéndice 02: Resultados EST-01.....	30
9.3 Apéndice 03: Flora y Vegetación.....	30
9.4 Apéndice 04: Fauna	30
9.5 Apéndice 05: Ecosistemas Acuáticos Continentales	30
9.6 Apéndice 06: Suelos	31
9.7 Apéndice 07: Hidrogeología	31
9.8 Apéndice 08: Análisis de Imágenes Satelitales e Índices NDVI/NDWI.....	31

Índice de Tablas

Tabla 1. Carta Gantt Medida EST-01	8
Tabla 2. Carta Gantt Medida EST-02	9
Tabla 3. Campañas de terreno ejecutadas.....	11
Tabla 4. Avance físico general EST-01	14
Tabla 5. Avance físico general EST-02	15
Tabla 6. Detalle Notas Técnicas	23
Tabla 7. Listado profesionales Medida EST-01	27
Tabla 8. Listado profesionales Medida EST-02.....	28

1. Resumen Ejecutivo

1.1 Contexto

En el marco del Avenimiento suscrito entre Codelco y el Consejo de Defensa del Estado, aprobado por el Primer Tribunal Ambiental de Antofagasta, se implementaron medidas orientadas a la reparación y al monitoreo ambiental del Salar de Pedernales y de quebradas de agua dulce aledañas. Dada la alta sensibilidad ecológica de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT), caracterizados por su biodiversidad, endemismo y relevancia para la provisión de servicios ecosistémicos, su estudio requiere un enfoque multidisciplinario que permita comprender las interacciones entre sus componentes bióticos y abióticos y su respuesta ante cambios ambientales.

Desde octubre de 2025, SMI Chile de la Universidad de Queensland ejecuta las medidas EST-01 y EST-02 del acuerdo, medidas orientadas, para el EST-01, al desarrollo de un modelo ecosistémico conceptual del humedal del Salar de Pedernales y, en el caso de la EST-02, a la implementación de un monitoreo multiescalado de ocho años de duración. El estudio abarca 175,18 ha de SVAHT activos distribuidos entre 13 áreas en los salares de Pedernales, La Laguna y Piedra Parada y en diversas quebradas de agua dulce e incorpora el seguimiento de variables hidrológicas, ecológicas, meteorológicas y de calidad ambiental. Su ejecución se realiza junto a equipos científicos de universidades chilenas con amplia experiencia en ecología, limnología, ecofisiología vegetal y fauna silvestre.

Este informe presenta los avances alcanzados en el periodo entre el 01 de octubre de 2025 y el 30 de abril de 2026, que comprende la ejecución de dos campañas de terreno, Primavera 2025 (PRI25) y Otoño 2026 (OT26) y la entrega de resultados asociados a la primera campaña, correspondiente a PRI25. El progreso del Proyecto se evalúa mediante una metodología basada en la ponderación de horas dedicadas y resultados obtenidos. En las campañas se levantó información de diversos componentes ambientales, además se adquirieron imágenes satelitales de alta resolución para apoyar los análisis. Si bien la instalación de estaciones meteorológicas y punteras se vio retrasada por la obtención de permisos externos al Proyecto, se utilizaron fuentes de información alternativas disponibles. Asimismo, se elaboraron cuatro Notas Técnicas destinadas a resolver discrepancias metodológicas y fortalecer la consistencia del monitoreo multiescalado.

1.2 Medida EST-01

El objetivo principal de la Medida EST-01 es establecer patrones y procesos a nivel de la vegetación y del ecosistema del humedal del Salar de Pedernales (SVAHT y suministro hídrico) para desarrollar el modelo ecosistémico conceptual (MEC), alimentado por los 3 primeros años de monitoreo del EST-02 y monitoreos propios de esta medida. En el periodo reportado, se ejecutaron dos campañas de terreno en el Salar de Pedernales, orientadas al levantamiento de información para robustecer el modelo ecosistémico de ecofisiología vegetal, evapotranspiración y suelos. La campaña PRI25 se desarrolló en tres etapas entre noviembre de 2025 y enero de 2026, mientras que la campaña OT26 se realizó en dos etapas entre marzo y abril de 2026, incorporando además en esta última un levantamiento de topografía de detalle como insumo para la construcción del Modelo Ecosistémico Conceptual (MEC).

Los resultados muestran que la disponibilidad de agua subterránea constituye un factor clave en los flujos de evapotranspiración y el umbral funcional de las plantas del SVAHT. Las especies dominantes del SVAHT de Pedernales presentan diversas estrategias adaptativas frente a condiciones de estrés hídrico y salinidad, que además del carácter alcalino son rasgos indicados por los análisis de suelo, junto con alta concentración de elementos y una baja humedad aprovechable, condiciones que determinan la estructura y distribución de las comunidades vegetales.

1.3 Medida EST-02

La medida EST-02 permitió establecer una línea base de los SVAHT mediante un monitoreo multiescalado de los 13 sitios que conforman el Área de Estudio. El diseño considera distintos niveles espaciales y temporales, en los cuales se determinan las siguientes variables: variables meteorológicas, niveles freáticos y afloramientos hídricos, tamaño de las diferentes áreas, límites y vigor de la vegetación (NDVI), tamaño de los cuerpos de agua (NDWI), atributos de la biota terrestre, área fotosintéticamente activa, condiciones del suelo, composición y cobertura de la vegetación azonal, atributos de la biota acuática, parámetros de la calidad físico-química del agua superficial y sedimentos.

En los resultados de la primera campaña del proyecto, se identificaron comunidades vegetacionales altoandinas sensibles a la disponibilidad hídrica, con 33 especies de flora identificadas y coberturas variables entre sectores. La fauna mostró alta diversidad, con 60 especies de vertebrados y varias de ellas en categoría de conservación Vulnerable. Los ambientes acuáticos mostraron diferencias marcadas en calidad de agua, sedimentos y comunidades biológicas, destacando el sector Salar Pedernales NE por su alta mineralización. Por otro lado, los suelos presentaron condiciones salino-sódicas y se evidencia su rol ecológico clave en la dinámica del ecosistema. Finalmente, el análisis de imágenes satelitales y cálculo de los índices NDVI/NDWI validaron la información de terreno y confirmaron la utilidad del monitoreo remoto para evaluar la dinámica de estos ecosistemas altoandinos en complemento a la información capturada *in situ*. En general, los resultados evidencian una marcada heterogeneidad ambiental entre los 13 sitios evaluados.

Cabe destacar que las 2 campañas realizadas permitieron cubrir el monitoreo de todas las variables, con excepción de las variables meteorológicas y de los niveles freáticos, por no contar aún con la autorización de Bienes Nacionales para la instalación de las 7 estaciones meteorológicas y de las punteras consideradas en el Proyecto. Debido a la falta de esta información, se está trabajando de forma complementaria con la información disponible de las 3 estaciones meteorológicas existentes en la zona y con los datos de las punteras previamente instaladas en 3 de los sectores del Área de Estudio. La primera campaña de monitoreo permitió establecer una línea base integral para los ecosistemas asociados al Área de Estudio de la Medida EST-02, que a su vez se complementan con los resultados del levantamiento realizado por Econativa en el año 2023. En conjunto, ambas fuentes de información proporcionan una caracterización más representativa de las condiciones ambientales del Área de Estudio y un referente técnico para la evaluación de tendencias en el tiempo de implementación de las medidas.

1.4 Notas Técnicas

En paralelo con el trabajo en terreno, se ha buscado resolver algunas discrepancias observadas entre los Términos de Referencia establecidos por Codelco y las condiciones observadas en terreno durante el monitoreo. Los ajustes propuestos en las notas técnicas se sustentan en criterios de

representatividad ecológica, monitoreo adaptativo y robustez metodológica, incorporando mejoras en la delimitación de los SVAHT, la ubicación de estaciones y transectos de muestreo, y la caracterización de sistemas acuáticos y suelos. Estas modificaciones permiten adecuar el monitoreo a la dinámica actual de los humedales, fortalecer la trazabilidad y comparabilidad de los resultados y asegurar que la información generada represente de mejor manera las condiciones ecológicas e hidrológicas del Área de Estudio.

1.5 Próximos pasos

Para el próximo periodo, se analizarán y se abordarán en una nueva nota técnica (NT N°5) los escenarios para el inicio de las actividades relacionadas a la instalación y operación de las estaciones meteorológicas y punteras comprometidas en el Proyecto y las implicancias técnicas y metodológicas de solo contar con información parcial de las estaciones meteorológicas y de las punteras hoy disponibles en el Área de Estudio.

Se proyecta además la entrega de los resultados de la Campaña 2 de Otoño 2026, lo cual permitirá avanzar en la integración de la información y analizar las eventuales variaciones estacionales, contrastando los resultados de las 2 primeras campañas. La ejecución de la Campaña 3 de Primavera 2026 está proyectada de forma tentativa para el mes de noviembre del presente año.

2. Introducción

En el año 2020, Codelco suscribió un Avenimiento con el Consejo de Defensa del Estado de Chile (en adelante CDE), aprobado posteriormente por el Primer Tribunal Ambiental de Antofagasta. El acuerdo contempla 12 medidas orientadas a la reparación y monitoreo ambiental del Salar de Pedernales y de las quebradas de agua dulce aledañas, ubicadas en la comuna de Diego de Almagro, Región de Atacama.

Los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT) son ecosistemas altamente sensibles frente a alteraciones en el régimen hídrico y se caracterizan por poseer una alta complejidad ecológica, asociada a la presencia de especies de flora y fauna con altos niveles de endemismo. Esta gran diversidad única cumple con un conjunto importante de servicios ecosistémicos que sostienen tanto a la biodiversidad como a modos de vida ancestrales. En este contexto, el estudio de estos humedales requiere de enfoques integrados y multidisciplinarios, que permitan comprender las interacciones entre sus distintos componentes y reducir la incertidumbre asociada a los escenarios futuros generados por factores tanto naturales como por los ocasionados por actividad humana.

En 2025, el Sustainable Minerals Institute International Centre de Chile (SMI Chile) de la Universidad de Queensland, Australia, se adjudicó mediante licitación (Ref: DOC1504695002) la ejecución de las medidas EST-01 y EST-02 del Avenimiento (en adelante, el Proyecto), dando inicio al contrato en octubre de 2025. La medida EST-01 corresponde a un estudio de bioecología que buscará establecer patrones y procesos a nivel de la vegetación y del ecosistema del humedal del Salar de Pedernales, mediante el desarrollo de un modelo ecosistémico conceptual (MEC) y de modelos de respuesta vegetal (MRV). Por su parte, la medida EST-02 consiste en un seguimiento multiescalado de ocho años de duración que considera diversos componentes ambientales, con el propósito de detectar eventuales cambios espaciales y temporales en la estructura y funcionamiento de los SVAHT.

El Área de Estudio del seguimiento multiescalado (EST-02) comprende la totalidad de los SVAHT vinculados a las acciones de compensación del Avenimiento, los cuales en total abarcan una superficie de 175,18 ha. Los sectores comprometidos corresponden al SVAHT activo del Salar de Pedernales (37,48 ha) y a los SVAHT ubicados en los Salares La Laguna y Piedra Parada (en total 8,91 ha), las quebradas de agua dulce Ciénaga, Pastos Largos, Río Negro, Tinajas, Tordillos, Vertientes 2, El Colorado y Cabecera Sur Río La Ola (79,77 ha), además de las quebradas Leoncito (46,22 ha) y Asiento (2,8 ha). En el caso de la Medida EST-01, el Área de Estudio se restringe al SVAHT de Pedernales (CEA, 2020). En la Figura 1 se observa la ubicación de cada uno de los sectores comprometidos para ambos estudios.

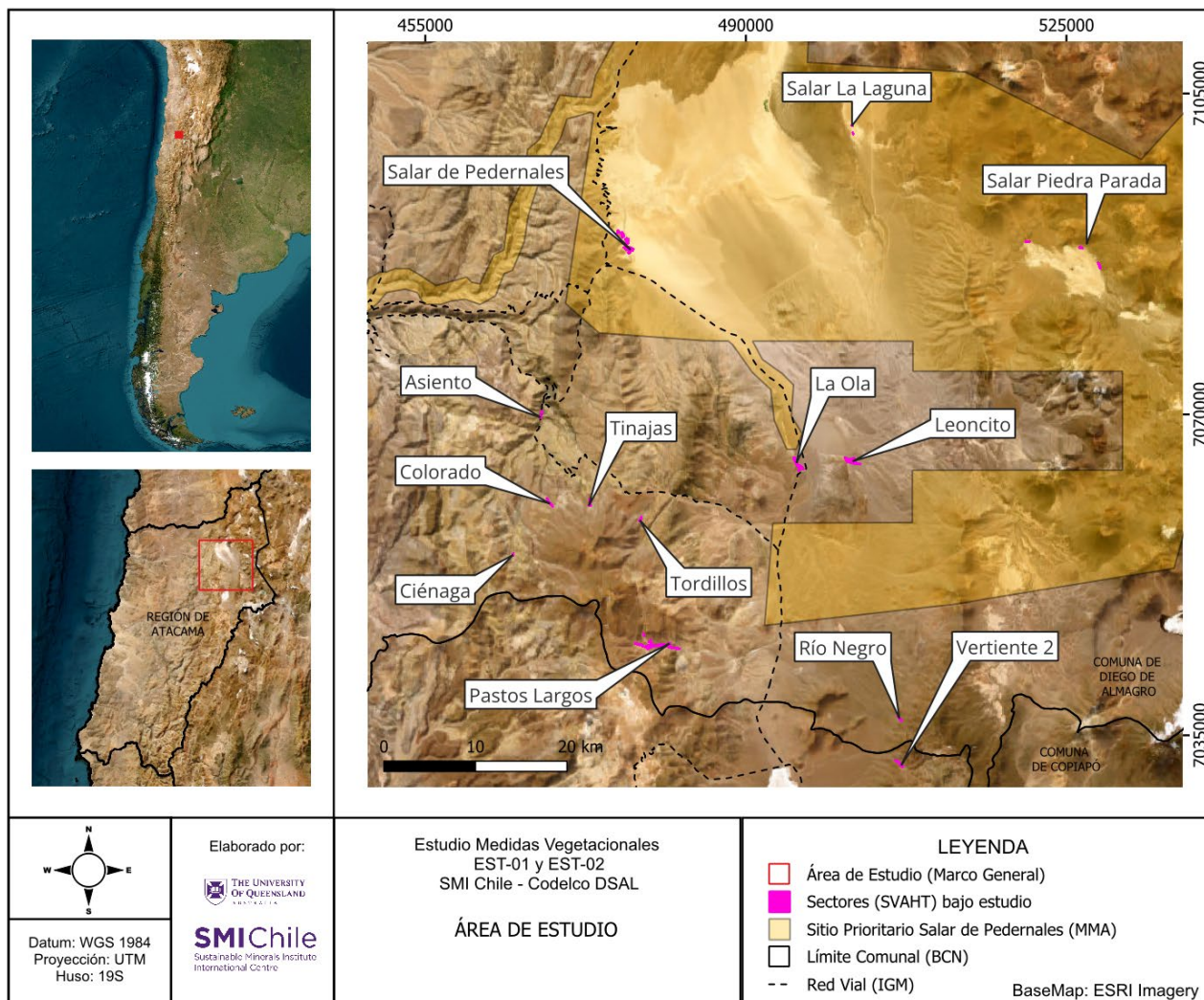


Figura 1. Área de Estudio Medidas EST-01 y EST-02.

Este Proyecto se desarrolla en colaboración con equipos científicos de reconocidas universidades chilenas, contando con destacados investigadores de diversas disciplinas y gran trayectoria en sus especialidades. Junto a investigadores de SMI Chile participan desde la Universidad de Concepción, investigadores del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, quienes abordan los componentes de limnología, caudales y calidad de agua superficial y sedimentos; e investigadores del Grupo de Investigación en Ecología y Biogeografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas (ECOBIOSIS), quienes levantan información de variables de ecofisiología vegetal en el Salar de Pedernales. Asimismo, el monitoreo de fauna silvestre se realiza junto al Laboratorio de Ecología de Vida Silvestre (LEVS) de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile.

Este informe da cuenta de la gestión realizada en el periodo entre el inicio del Proyecto, el 01 de octubre de 2025, y 30 de abril de 2026, incluyendo tanto los avances físicos como el progreso técnico alcanzado en la implementación de ambas medidas.

3. Objetivos

3.1 Medida EST-01

El objetivo principal de la Medida EST-01 es establecer patrones y procesos a nivel de la vegetación y del ecosistema del humedal del Salar de Pedernales (SVAHT y suministro hídrico). Específicamente, se tendrán en consideración las relaciones tróficas entre fauna y vegetación, así como también la relación suelo-agua-planta, a partir de los estudios de campo e imágenes satelitales para así entender las dinámicas del SVAHT. En específico:

- Desarrollar un modelo ecosistémico conceptual (MEC) que permita determinar las interacciones tróficas entre los componentes bióticos y su dependencia con los componentes abióticos, estableciendo patrones de interacciones y procesos a nivel del ecosistema del humedal del Salar de Pedernales.
- Se utilizarán los primeros tres años de seguimiento multiescalado de la Medida EST-02 como insumo para el desarrollo del modelo ecosistémico. Además, se realiza el levantamiento *in situ* de variables complementarias de Ecofisiología vegetal, Evapotranspiración y parámetros físico-químicos y de fertilidad de suelos.
- Desarrollar modelos de respuesta vegetacional (MRV) que permitan determinar la distribución y abundancia potencial de las especies dominantes de la vegetación presente del SVAHT del Salar de Pedernales frente a diversos escenarios.

3.2 Medida EST-02

El objetivo principal de la Medida EST-02 contempla el diseño y ejecución de un monitoreo a múltiples escalas de variables ambientales; con el propósito de detectar tempranamente variaciones significativas en la cobertura vegetal y el funcionamiento de los humedales (SVAHT), en campañas semestrales durante un periodo de 8 años. Los primeros tres años de seguimiento se consideran como un insumo para el desarrollo del modelo ecosistémico de la medida EST-01.

El diseño del monitoreo multiescalado considera distintos niveles espaciales y temporales, en los cuales se determinan las siguientes variables a medir en el Área de Estudio:

- Primer Nivel: corresponde al conjunto de los SVAHT y considera una extensa superficie. Será analizado desde una perspectiva general, según la dinámica ecosistémica de los SVAHT presentes en cada cuenca mencionada.

Las variables que se medirán incluyen información meteorológica (precipitaciones, temperatura, radiación, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) y la determinación de niveles freáticos en quebradas de agua dulce y salares (profundidad máxima de 3 m).

- Segundo Nivel: corresponde a cada una de las cuencas y subcuencas en particular, las que se componen principalmente por los ecosistemas terrestres zonales que rodean los humedales, tanto como los SVAHT. Este nivel, a diferencia del anterior, considera las condiciones singulares de cada cuenca.

Las variables a medir en este nivel son el tamaño del área, límites y vigor de la vegetación (NDVI) y el tamaño de los cuerpos de agua (NDWI).

- Tercer Nivel: corresponde a los flujos de agua, materia y especies existentes entre los ecosistemas acuáticos y terrestres, los que también pueden estar condicionados por condiciones de sitio, tipo de suelo y ciclos biogeoquímicos.

Las variables a medir en este nivel, son la determinación de atributos de la biota terrestre (riqueza y abundancia, endemismos, especies exóticas, y especies amenazadas, formas de vida, etc., para flora y fauna), área fotosintéticamente activa, condiciones del suelo (capacidad de uso, salinidad, materia orgánica y humedad), condiciones del sitio y topografía, niveles freáticos y afloramientos hídricos.

- Cuarto Nivel: corresponde a la estructura y funcionamiento de los ecosistemas terrestres y acuáticos, en donde el límite de este nivel son las interacciones entre los componentes bióticos y abióticos.

Las variables a medir en este nivel son la composición y cobertura de la vegetación azonal (SVAHT activo), atributos de la biota acuática (riqueza, abundancia de fitos y bentos) y diversos parámetros de la calidad físico-química del agua superficial y sedimentos.

4. Metodología

4.1 Control de gestión

La metodología utilizada para calcular los avances proyectados y reales se basa en la ponderación de las actividades según las horas dedicadas a cada tarea y los resultados obtenidos. Este informe anual presenta el estado y el porcentaje de avance general, abarcando el período desde el inicio del Proyecto en octubre de 2025 a abril de 2026. La Carta Gantt original de cada una de las Medidas se pueden observar en detalle en Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1. Carta Gantt Medida EST-01

Actividad	2025				2026				2027				2028											
	Semestre 2		Semestre 1		Semestre 2		Semestre 1		Semestre 2		Semestre 1		Semestre 2											
	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
Firma de Carta de Inicio	X																							
Carpeta de Arranque y Acreditaciones	X	X																						
Ejecución del Estudio EST-01																								
Fase 1 - Revisión Bibliográfica	X	X	X	X	X	X																		
Fase 2 - Elaboración de modelo ecosistémico conceptual y modelo de respuesta de la vegetación							X	X	X	X	X	X												
Fase 3 - Estudios de campo y de imágenes satelitales																								
Toma de datos Metodologías complementarias			X	X		X							X					X						X
Reporte Terreno					X	X			X	X				X	X				X	X			X	X
Fase 4 - Establecimiento de las dinámicas del SVAHT																	X	X	X	X	X	X	X	X
Fase 5 - Informe Final EST01																						X	X	
Reportabilidad																								
Reportes de Gestión Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Reportes de Gestión Anual					X	X	X								X	X	X						X	

Tabla 2. Carta Gantt Medida EST-02

Actividad	2025		2026		2027		2028		2029 a 2032		2033	
	Semestre 2	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 1
	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
Firma de Carta de Inicio	X											
Carpeta de Arranque y Acreditaciones	X	X										
Ejecución del Estudio EST-02: Monitoreo de Componentes												
Instalación de Estaciones Meteorológicas y cerco perimetral	X	X	X	X	X							
Monitoreo Estaciones meteorológicas			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Informe de monitoreo de estaciones meteorológicas		X	X			X	X		X	X		X
Fauna Terrestre												
Campaña de terreno	X				X		X		X		X	
Informe de terreno		X	X	X	X	X	X		X	X		X
Flora y Vegetación												
Campaña de terreno	X			X		X		X		X		X
Informe de terreno		X	X	X	X	X	X		X	X		X
Limnología												
Campaña de terreno	X			X		X		X		X		X
Informe de terreno		X	X	X	X	X	X		X	X		X
Agua superficial y sedimentos												
Campaña de terreno	X			X		X		X		X		X
Informe de terreno		X	X	X	X	X	X		X	X		X
Caudal												
Campaña de terreno	X			X		X		X		X		X
Informe de terreno		X	X	X	X	X	X		X	X		X
Suelos												
Campaña de terreno	X			X		X		X		X		X

Actividad	2025		2026				2027				2028				2029 a 2032				2033			
	Semestre 2		Semestre 1				Semestre 2				Semestre 1				Semestre 2				Semestre 1			
	O		N				D				E				F				M			
	A		M				J				J				A				S			
Informe de terreno			X	X	X	X	X	X			X	X			X	X			X	X		
Análisis de imágenes satelitales para monitoreo de vegetación y tamaño de cuerpos de agua																						
Campaña de terreno corrección de imágenes		X				X				X				X				X				X
Informe terreno			X	X	X		X	X			X	X			X	X			X	X		
Medición de Punteras																						
Instalación de Punteras	X	X																				
Campaña de terreno		X				X				X				X				X			X	
Informe de terreno			X	X			X	X			X	X			X	X			X	X		
Reportabilidad																						
Reportes de Gestión Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Reportes de Gestión Anual - Anexo con informe consolidado parcial			X	X	X					X	X	X			X	X	X			X	X	X
Informe consolidado final EST-02																				X	X	X

4.2 Levantamiento de información

Hasta el cierre del periodo octubre 2025-abril 2026 considerado para este documento, se han realizado dos campañas de levantamiento de información *in situ* en el Área de Estudio de diversos componentes, los cuales se detallan en la Tabla 3. Es importante mencionar que, por razones externas a SMI Chile, por un retraso en la obtención de permisos para la ejecución de obras, no se ha podido iniciar las actividades relacionadas a la instalación de las siete (7) estaciones meteorológicas ni a la instalación de las punteras para la medición de los niveles freáticos en todos los sectores comprometidos. Codelco actualmente lleva la gestión de permisos ante Bienes Nacionales y se proyecta un escenario de inicio de estas actividades para enero de 2027. Se acordó la utilización en el presente periodo de la información meteorológica y mediciones de punteras disponible, tanto de fuentes públicas como de los registros de monitoreo de Codelco División Salvador.

En relación a las campañas realizadas, la primera campaña PRI25 (Tabla 3) incluyó 3 etapas donde se abordan todos los componentes mencionados. La segunda campaña OT26 se ejecutó en dos etapas y se consideró además la ejecución del levantamiento de topografía de detalle en el sector de Pedernales, para la construcción del MEC de la EST-01. En forma paralela a la ejecución de las campañas, se han adquirido imágenes satelitales de alta resolución en concordancia con la fecha de levantamiento de información de flora y vegetación de cada campaña, para mantener coherencia y relación de las imágenes con los resultados del componente.

Tabla 3. Campañas de terreno ejecutadas

N Campaña	Componentes monitoreados	Fecha de ejecución
Campaña 1 Primavera 2025 (PRI25)	EST-01:	
	- Ecofisiología vegetal - Evapotranspiración - Suelos	Etapas 1: del 20/11/25 al 03-12-2025
	EST-02:	
	- Flora y vegetación - Fauna - Limnología - Suelos - Calidad de agua superficial y sedimentos - Obtención y calibración de imágenes satelitales	Etapas 2: del 15/12/25 al 19/12/25 Etapas 3: del 27/01/26 al 31/01/26
Campaña 2 Otoño 2025 (OT26)	EST-01:	
	- Ecofisiología vegetal - Evapotranspiración - Suelos - Topografía de detalle	Etapas 1: del 24/03/26 al 31/03/26
	EST-02:	
	- Flora y vegetación - Fauna - Limnología - Suelos - Calidad de agua superficial y sedimentos	Etapas 2: del 07/04/26 al 19/04/26

N Campaña	Componentes monitoreados	Fecha de ejecución
	Obtención y calibración de imágenes satelitales	

4.3 Notas Técnicas

Para resolver las discrepancias en criterios técnicos que han surgido de la ejecución del monitoreo multiescalado, se ha propuesto una metodología basada en la presentación de Notas Técnicas. En el periodo, se han confeccionado junto a Codelco el total de cuatro (4) Notas, las cuales se listan a continuación y se adjuntan en el Apéndice 01: Notas Técnicas 1-4:

- Nota Técnica N°01 – Criterio técnico metodología Flora y Vegetación Buffer.
- Nota Técnica N°02 – Puntos de muestreo componentes Flora y Vegetación y Fauna.
- Nota Técnica N°03 – Ajuste estaciones de muestreo Limnología, Caudal y Calidad de agua y sedimentos.
- Nota Técnica N°04 – Puntos de muestreo componente Suelo.

5. Resultados

5.1 Avance físico general

A modo de resumen en Tabla 4 y Tabla 5, se consideran los indicadores de cumplimiento del Anexo del Avenimiento “Supuestos y medidas adoptadas por Codelco en el marco del acuerdo de Avenimiento y Transacción con el Consejo de Defensa del Estado”, elaborado por el Primer Tribunal Ambiental (2020), para cada medida.

5.1.1 Avance físico EST-01

Tal como se había mencionado en la sección anterior, se han ejecutado dos (2) campañas de un total de seis (6) campañas de levantamiento de las variables complementarias del MEC, lo que corresponde a un 33% de avance (Tabla 4). Los datos obtenidos en ambas campañas corresponden a evapotranspiración, ecofisiología vegetal y parcelas de monitoreo de suelos para el sector de Pedernales. Solamente en el marco de la Campaña N°2 OT26, se realizó un único levantamiento de topografía de detalle mediante la utilización de un sensor LiDAR. Toda esta información se integrará a la obtenida en el monitoreo multiescalado del EST-02, donde los datos de los 3 primeros años son el insumo principal para la elaboración de los modelos, junto con toda la data generada de forma complementaria.

La entrega de informes de resultados presenta una brecha entre lo real y proyectado (23% y 27% respectivamente), debido a diversos factores, tales como mayor tiempo requerido respecto al tiempo considerado inicialmente para el análisis de resultados y procesamiento de datos, el atraso en el inicio de algunas actividades relacionadas al EST-02 que son insumos para el modelo, como la data de las estaciones meteorológicas y los niveles freáticos de punteras, y por último un retraso en el desarrollo de la sistematización de información bibliográfica.

Para el periodo, se ha logrado un avance físico total de 22% (Tabla 4) en la Medida EST-01, donde se destaca además de la ejecución de las campañas, el desarrollo de una metodología para la medición de la evapotranspiración mediante el método de domos, la cual ha necesitado etapas de diseño, elaboración y ajuste tanto de las cámaras como de los sensores del sistema, en laboratorio y en terreno. Esta metodología se ha implementado con éxito y se ha validado y asegurado su compatibilidad con los requerimientos técnicos del Proyecto. Esta información es un componente del balance hídrico, el cual permitirá establecer un criterio relevante para el MEC y la modelación de la respuesta de la vegetación.

Tabla 4. Avance físico general EST-01

Indicador de Cumplimiento	Actividad	Avance Proyectado al 30-04-2026	Avance Real al 30-04-2026
Ejecución del Estudio de Bioecología	Campañas de terreno	33%	33%*
	Informes de resultados	27%	23%*
Presentación de Informes Anuales al CDE		33%	33%*
Entrega informe final al CDE		0%	0%
Avance físico Medida EST-01		23%	22%

(*) Este valor corresponde al último reportado en los Informes de Gestión Mensual (abril-mayo 2026) y ha sido calculado como un avance de campañas ejecutadas, sin considerar el retraso en el inicio de la instalación de estaciones meteorológicas y punteras.

5.1.2 Avance físico EST-02

El 4,8% de avance general que se observa en la Tabla 5 para la Medida EST-02, considera la ejecución de dos campañas de terreno (Primavera 2025 y Otoño 2026) de las 16 contempladas en total y la entrega del reporte anual consolidado. Esta cifra considera el atraso en la instalación de estaciones meteorológicas y punteras proyectadas originalmente para enero de 2026. Este atraso obedece a factores externos al Proyecto, relacionados con los permisos correspondientes que está gestionando Codelco ante Bienes Nacionales desde el año 2025 para diferentes actividades asociadas a varias medidas del Avenimiento, en los sectores donde la Compañía no posee títulos de propiedad. Se acordó proyectar el inicio de estas actividades postergadas en enero 2027, tanto por factores climáticos y como un plazo razonable para contar con la autorización.

Bajo este contexto, el avance real versus el avance proyectado presenta una diferencia (Tabla 5) que se explica por lo mencionado anteriormente y por un plazo más extenso al originalmente proyectado para el análisis de los resultados de la Campaña 1, debido a que se ha requerido realizar ajustes a la red de monitoreo con un enfoque adaptativo, buscando una óptima representatividad ecológica que permita la obtención robusta y comparable para la evaluación de la dinámica de los ecosistemas presentes en el Área de Estudio. Estos ajustes metodológicos se han respaldado a través de la confección de Notas Técnicas que han abordado las brechas con el diseño original propuesto por la consultora CEA en el año 2020, en los componentes flora y vegetación, fauna, suelos, limnología, caudales y calidad de agua y sedimentos.

Estos ajustes metodológicos están aplicados a los resultados por componente que se presentan en la sección de Apéndices. Por último, es importante mencionar que en el periodo también se realizó un ajuste en las capas de información cartográfica debido a la identificación de desplazamientos en la ubicación de los polígonos por un error en la georreferenciación, con el objetivo de optimizar la delimitación de los SVAHT según los objetivos del Proyecto.

Tabla 5. Avance físico general EST-02

Indicador de Cumplimiento	Actividad	Avance Proyectado al 30-04-2026	Avance Real al 30-04-2026
Ejecución de campañas de terreno y análisis de información	Campañas de terreno	13%	13%*
	Informes de resultados	13%	11%*
Envío de informe de resultados anuales con análisis acumulativo al CDE		13%	13%*
Avance físico Medida EST-02		6,3%	4,8%

(*) Este valor corresponde al último reportado en los Informes de Gestión Mensual (abril-mayo 2026) y ha sido calculado como un avance de campañas ejecutadas, sin considerar el retraso en el inicio de la instalación de estaciones meteorológicas y punteras.

5.2 Hallazgos relevantes por componente

Los resultados que se presentan a continuación corresponden a los de la Campaña N°1 Primavera 2026. Si bien al cierre de este periodo, el 30 de abril de 2026, ya se habían ejecutado dos campañas de terreno, el análisis de los resultados de la Campaña 2 Otoño 2026 serán analizados en el corto plazo y se integrarán en el reporte correspondiente al 2027.

Debido a que no se ha podido iniciar el monitoreo de estaciones meteorológicas y punteras, los resultados que se presentan en la sección de Hidrogeología consideran una recopilación de información existente y el procesamiento de series históricas de data proveniente de estaciones meteorológicas ubicadas en el Área de Estudio.

5.2.1 Variables complementarias EST-01

5.2.1.1 Evapotranspiración

La evapotranspiración (ET) corresponde al flujo efectivo de agua desde el sistema suelo-vegetación-acuífero hacia la atmósfera y constituye la principal salida de agua del sistema hidrogeológico superficial en los humedales altoandinos. Como complemento al estudio EST-01, se realizaron mediciones directas de ET mediante el método del domo o cámara cerrada, que estima el flujo de vapor a partir de cambios en la humedad relativa y temperatura del aire, proporcionando datos con alta resolución espacial y temporal para apoyar el modelo ecosistémico conceptual (MEC) y el balance hídrico local.

Las mediciones se realizaron en seis (6) puntos distribuidos de norte a sur dentro del SVAHT activo del Salar de Pedernales. Los puntos de muestreo fueron seleccionados para abordar distintos tipos y grados de cobertura vegetal presentes en el Área de Estudio. Los domos poseen un volumen interno de 0,082 m³ y una superficie de cobertura de 0,36 m². Cada cámara cuenta con ventiladores y sensores de temperatura y humedad relativa, en donde se registraron datos en intervalo de un (1) segundo.

Las mediciones directas de evapotranspiración en el SVAHT del Salar de Pedernales se encuentran en un rango de 0,020 a 0,043 mm h⁻¹ e indican un patrón diario claro, aumentando la pérdida de agua hacia la atmósfera durante la mañana y alcanzando sus valores más altos cerca del mediodía,

debido a que las condiciones de radiación solar y temperaturas son más favorables. Asimismo, se observó que las diferencias entre distintos sectores del SVAHT activo del Salar de Pedernales son mayores que las variaciones registradas dentro de un mismo sector. Esto sugiere que la cantidad de agua disponible bajo la superficie tiene una influencia más importante sobre la evapotranspiración que la cobertura vegetal por sí sola, evidenciando que las condiciones hídricas locales son un factor clave en el funcionamiento de estos ecosistemas (Apéndice 02: Resultados EST-01).

5.2.1.2 Ecofisiología Vegetal

La evaluación de la fotosíntesis y de otras variables ecofisiológicas, como la conductancia estomática, la transpiración y la eficiencia en el uso de agua son fundamentales para comprender el funcionamiento de los SVAHT. Estas mediciones permiten conocer cómo responden las plantas a condiciones ambientales extremas, especialmente frente a la escasez de agua y la alta salinidad características de estos ecosistemas.

Se establecieron 16 parcelas permanentes de 1m x 1m, seleccionadas para representar las principales formaciones vegetacionales presentes en el Área de Estudio y las distintas condiciones asociadas a la cercanía a cuerpos de agua. En estas parcelas se registraron diferentes proporciones de cobertura de las tres especies dominantes identificadas: *Zameioscirpus atacamensis*, *Puccinellia frigida* y *Triglochin concinna* y se registró la riqueza y la abundancia según la cobertura de especies vasculares presentes. Se utilizaron dos analizadores infrarrojos de gases (IRGA): LI-6400XT integrado con un fluorómetro de cámara foliar 6400-40 y LI-6800 integrado con un fluorómetro de cámara foliar 6800-01^a.

Los resultados evidencian que las especies dominantes del SVAHT del Salar de Pedernales mantienen una actividad funcional durante la primavera, aunque presentan respuestas diferenciadas según las condiciones ambientales locales. Los resultados sugieren que estas especies poseen diversas estrategias para enfrentar las condiciones de estrés hídrico y salino características del sistema, incluyendo mecanismos que favorecen un uso más eficiente del agua. Asimismo, los indicadores asociados al funcionamiento fotosintético muestran que, en general, la vegetación se encontraba en buen estado fisiológico al momento de las mediciones, aunque se identificaron algunos sectores con señales de estrés. En conjunto, estos hallazgos destacan la influencia de factores locales, como la disponibilidad de agua, la salinidad y la composición de la vegetación, sobre el funcionamiento y desempeño de las comunidades vegetales del humedal (Apéndice 02: Resultados EST-01).

5.2.1.3 Suelos

Se busca caracterizar las propiedades físico-químicas de los suelos del SVAHT activo de Pedernales, para así comprender su relación con la dinámica hidrogeológica y vegetal del ecosistema, información estructural del Modelo Conceptual y el de Respuesta Vegetacional. Se evaluaron parámetros asociados a fertilidad, salinidad, sodicidad y composición del suelo, para entender su variabilidad espacial. Los puntos de muestreo se definieron en base a los puntos de Ecofisiología Vegetal, de modo de representar edáficamente los sitios donde se evaluarían las especies vegetales presentes. Se realizaron 16 parcelas de muestreo, que representa un nivel de detalle en la caracterización de los suelos cada 2,3 ha aproximadamente, lo que corresponde a un nivel de detalle alto o intensivo según las guías vigentes en la legislación ambiental chilena.

Los resultados indican que los suelos evaluados presentan características típicas de ambientes áridos y salino-sódicos, con alta alcalinidad, elevada capacidad de intercambio catiónico, altas concentraciones de sales solubles y presencia de otros elementos, potencialmente tóxicos, como boro. Estas características son consecuencia de la escasa lixiviación y de una evapotranspiración (ET) superior al aporte hídrico, lo que favorece la acumulación de sales, comportamiento propio de un salar. Las altas concentraciones de cloruros, sulfatos, macro y micronutrientes, junto a una baja humedad aprovechable, configuran un entorno restrictivo para las especies vegetales no adaptadas a condiciones extremas de salinidad y saturación.

En conclusión, estas propiedades del suelo sustentan a las comunidades vegetales de los humedales altoandinos. La combinación de salinidad, alcalinidad, saturación hídrica y disponibilidad de nutrientes favorece el desarrollo de especies halófitas adaptadas a condiciones ambientales extremas, las cuales cumplen funciones clave en la productividad primaria, el ciclo de nutrientes, la acumulación de materia orgánica y la regulación hídrica. Estos atributos no solo representan factores limitantes, sino también condiciones fundamentales que determinan la estructura, funcionamiento y resiliencia de los SVAHT (Apéndice 02: Resultados EST-01).

5.2.2 Monitoreo multiescalado EST-02

5.2.2.1 Flora y Vegetación

En el Área de Estudio se identificaron diversas comunidades vegetacionales, que se pueden diferenciar en dos grandes grupos: vegas y bofedales salinos asociados a los SVAHT de salar, y bofedales, vegas y pajonales hídricos no salinos, asociados a las quebradas de agua dulce. Estas comunidades están conformadas por especies adaptadas a condiciones extremas características de la región altoandina y muy sensibles a cambios en la disponibilidad de agua y salinidad. Atributos como la distribución de las especies y su abundancia responden estrechamente a estos factores que se expresan de forma local, generando mosaicos de vegetación que sustentan diversos servicios ecosistémicos.

Durante la campaña de primavera 2025, para el componente de flora y vegetación se realizó un esfuerzo de muestreo total de 112 estaciones de muestreo, de los cuales 88 corresponden a transectos Point Quadrat destinados al monitoreo de la vegetación. Los resultados de este método revelaron que el promedio de la cobertura absoluta de la vegetación entre los 13 sectores varió entre 8 % (quebradas El Colorado y Asiento) y 65,3 % (quebrada Leoncito), donde los sectores con mayor cobertura absoluta promedio fueron Leoncito, Tinajas y La Ola, mientras que, los sectores con menor cobertura absoluta corresponden a las quebradas Asiento Ciénaga y El Colorado. Por su parte, la cobertura absoluta por transectos varió entre 0% (TCO_05 y TCO_06 y en quebrada El Colorado) y 96,4% (TPL_06 en quebrada Pastos Largos). Excepcionalmente, en las quebradas Tinajas y Río Negro se presentaron transectos con una cobertura absoluta mayor a un 100% (TQT_04 con 170% y TTO_01 con 117,2%) debido a la presencia de más de una especie por punto de un transecto, para cuyos casos la cobertura relativa permitió identificar las especies con mayor cobertura. Por su parte, las especies que presentaron mayor cobertura absoluta fueron *Deyeuxia velutina*, *Deyeuxia eminens* y *Puccinellia frigida*. La riqueza total fue de 33 especies vegetales vasculares, donde 32 especies son nativas y una especie es endémica (*Nastanthus caespitosus*). Ninguna de las especies se encuentra clasificada según el reglamento de clasificación de especies (RCE) del Ministerio del Medio Ambiente. Se destacan las familias Poacea y Cyperaceae con 6 y 5 especies respectivamente. El hábito de crecimiento dominante fue de hierbas perennes con 24

especies, seguido de 4 subarbustos y 3 hierbas anuales. Asimismo, se presenta una hierba acuática, una hierba anual y un arbusto.

Vale destacar que, en contraste, la línea de base realizada por Econativa durante el año 2023 identificó una riqueza de 42 especies vegetales mediante el método de intercepto de puntos; y los sectores con mayor cobertura absoluta fueron Leoncito, Río Negro y La Ola, mientras que los sectores Salar de Pedernales Norte, Quebrada el Colorado, Piedra Parada y Quebrada Asiento fueron los de menor cobertura absoluta.

Adicionalmente, se levantaron 11 puntos de muestreo para actualizar la Cartografía de Ocupación de Tierras (COT), junto con 13 puntos para levantar la flora de COT según el método de Braun Blanquet. La flora levantada en estos puntos de muestreo permitió aumentar la riqueza en 10 especies adicionales, de las cuales dos especies son endémicas 8 son nativas. Los resultados de este método serán analizados una vez que se levante la cantidad suficiente de puntos de muestreo en las próximas campañas (Apéndice 03: Flora y Vegetación).

5.2.2.2 Fauna

Durante la campaña de terreno realizada en noviembre de 2025 se implementaron 18 estaciones de muestreo distribuidas en los 13 sitios del Área de Estudio, utilizando metodologías específicas para distintos grupos de vertebrados terrestres. Debido a que la fauna utiliza el paisaje de manera dinámica y los SVAHT funcionan como una unidad ecológica conectada, algunas estaciones se ubicaron parcialmente fuera de los límites originalmente definidos en el Avenimiento para ciertos sitios, con el fin de obtener información más representativa y comparable. Además, los ambientes presentes dentro y en las cercanías de los polígonos presentan condiciones ecológicas similares, por lo que pequeñas variaciones en la ubicación de los puntos de muestreo no afectan significativamente la representatividad de los resultados.

A pesar de que dificultades logísticas impidieron completar todos los muestreos en tres de los sitios programados, el esfuerzo realizado permitió obtener una caracterización representativa de la fauna presente en la zona. En total se registraron 60 especies de vertebrados terrestres, destacando las aves como el grupo de mayor riqueza con 45 especies, seguidas por los mamíferos con 12 especies y los reptiles con tres especies. No se registraron anfibios durante esta campaña. Asimismo, se observaron diferencias en la abundancia de especies entre los distintos sitios evaluados, reflejando la heterogeneidad ambiental presente en el Área de Estudio. Se destacan las especies en categoría de conservación Vulnerable: caití (*Recurvirostra andina*), parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*), parina grande (*Phoenicoparrus andinus*), vicuña (*Vicugna vicugna*), y los reptiles lagarto de Patricia Iturra (*Liolaemus patriciaturrae*), lagartija de Eleodoro (*Liolaemus rosenmanni*) y lagartija de Isabel (*Liolaemus isabellae*).

En términos generales, los resultados obtenidos evidencian que se mantiene una diversidad faunística característica de los ecosistemas altoandinos asociados al Salar de Pedernales. La aplicación de metodologías complementarias permitió registrar especies con distintos hábitos y requerimientos ecológicos, proporcionando una visión integral de la fauna terrestre presente en el territorio. Además, la composición de especies observada muestra una alta concordancia con los antecedentes recopilados durante el levantamiento de información realizado por Econativa Consultores (2023), lo que sugiere una relativa estabilidad de las comunidades faunísticas entre ambos periodos de evaluación y aporta confianza respecto de la representatividad de los resultados obtenidos (Apéndice 04: Fauna)

5.2.2.3 Ecosistemas Acuáticos Continentales

Para evaluar la condición de los ambientes acuáticos del Área de Estudio, se monitoreó la calidad del agua superficial y los sedimentos, las comunidades biológicas acuáticas y el caudal de los cursos de agua. Durante la Campaña 1 se establecieron 35 estaciones de muestreo distribuidas en los principales ambientes acuáticos de los distintos sectores, buscando representar la variabilidad espacial de estos sistemas. En estas estaciones se levantó información de calidad de agua y comunidades biológicas acuáticas. Adicionalmente, se realizaron mediciones de caudal en 16 puntos de aforo mediante el método área-velocidad, utilizado para estimar el flujo de agua en corrientes superficiales y canales abiertos.

Los resultados de la Campaña 1 evidenciaron una alta heterogeneidad espacial entre salares, vertientes, cursos de agua y sectores de menor mineralización. La calidad del agua presentó diferencias marcadas entre ambientes, observándose mayores concentraciones de sólidos disueltos, conductividad y fósforo en los sectores más salinos, mientras que en ambientes menos mineralizados se registraron aumentos puntuales de nitrato y algunos metales disueltos. Estos patrones reflejan la diversidad de condiciones ambientales presentes en la cuenca y constituyen una referencia fundamental para evaluar cambios futuros asociados a la variabilidad natural o a tendencias de largo plazo.

Los sedimentos presentaron una composición química variable entre estaciones de muestreo, reflejando diferencias locales en mineralogía, dinámica hidrológica y procesos geoquímicos. El molibdeno mostró concentraciones más elevadas en sectores asociados a salares, mientras que el hierro y manganeso alcanzaron mayores valores en vertientes y cursos de agua específicos. Destacó además un valor elevado de cobre en El Colorado, superior a referencias internacionales para sedimentos de agua dulce, por lo que se recomienda mantener su seguimiento en futuras campañas. En conjunto, los resultados refuerzan la necesidad de evaluar cada sector según sus características particulares, considerando la alta heterogeneidad ambiental que caracteriza al Área de Estudio.

Las comunidades biológicas acuáticas también mostraron una elevada variabilidad entre estaciones de muestreo. El fitoplancton y el fitobentos estuvieron dominados por diatomeas (Bacillariophyceae), aunque con diferencias en abundancia, riqueza y diversidad según las condiciones locales. El zooplancton estuvo compuesto principalmente por microcrustáceos, mientras que el zoobentos presentó organismos adaptados a ambientes someros y mineralizados. En conjunto, los resultados indican que la cuenca debe evaluarse considerando las particularidades de cada hábitat y no bajo una única condición de referencia. Destaca el sector Salar Pedernales N-E por su alta mineralización y diferenciación biológica.

Por último, los caudales presentaron diferencias importantes entre sectores, destacando Quebrada Leoncito con el mayor valor registrado (542,0 L/s), mientras que la mayoría de los puntos mostró caudales inferiores a 1 L/s. Las mejores condiciones de medición se observaron en los puntos C1, C3, C4 y C9, mientras que en otros sectores los bajos caudales y escasa profundidad limitaron la precisión de las estimaciones. Los resultados de las mediciones de caudales sustentan la existencia de una alta heterogeneidad espacial en las características hídricas de los 13 sitios estudiados y la necesidad de evaluar cada sector según sus propias condiciones hidrológicas, sedimentarias e hidroquímicas (Apéndice 05: Ecosistemas Acuáticos Continentales).

5.2.2.4 Suelos

La caracterización del componente se realizó a través de la descripción morfológica de los suelos en 16 calicatas y de la recolección de muestras de los diferentes horizontes identificados para la determinación de las siguientes propiedades físico-químicas: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, relación de adsorción de sodio (RAS), textura y retención de humedad. Además, se realizó una descripción del contexto ambiental en el cual se inserta el suelo, evaluando aspectos tales como pendiente, exposición, clase de drenaje, pedregosidad superficial, cobertura vegetal y presencia de rasgos erosivos. Por último, se considera el monitoreo de las variables de humedad y salinidad a dos profundidades (20 y 40 cm).

La caracterización de los suelos del Área de Estudio muestra que estos corresponden a ambientes altamente especializados, donde las condiciones extremas de salinidad, sodicidad, escasa profundidad y limitaciones hídricas restringen su aptitud para usos agrícolas convencionales. Sin embargo, estas mismas características favorecen el desarrollo de ecosistemas altoandinos singulares, capaces de sustentar comunidades de flora y fauna especialmente adaptadas a dichas condiciones. Los resultados evidencian que los suelos cumplen un rol fundamental en el mantenimiento de procesos ecológicos, la regulación hídrica y el soporte de biodiversidad, constituyendo un componente clave para el funcionamiento de los ecosistemas asociados al Salar de Pedernales. Asimismo, se identificó que los enfoques tradicionales de clasificación de capacidad de uso presentan limitaciones para representar adecuadamente su valor ecológico, por lo que resulta relevante incorporar criterios asociados a biodiversidad, servicios ecosistémicos y resiliencia ambiental, permitiendo una evaluación más integral de la importancia de estos sistemas en el contexto altoandino (Apéndice 06: Suelos).

5.2.2.5 Pluviometría e Hidrogeología

Para establecer la dinámica hidrogeológica de los 13 sectores del Área de Estudio, se realizó una recopilación y análisis de información existente, incluyendo estudios previos, cartografía geológica, antecedentes hidrológicos, registros de precipitación, niveles freáticos y caudales, con el objetivo de definir las unidades hidrogeológicas y comprender el funcionamiento del sistema. Además, se procesaron series históricas de precipitación provenientes de estaciones meteorológicas de la zona y se evaluaron registros de niveles freáticos para identificar tendencias estacionales y variabilidad interanual del acuífero y su red de drenaje, provenientes de fuentes públicas y los informes semestrales de monitoreo de Codelco Salvador.

El Área de Estudio se encuentra en una zona de transición climática influenciada por un fuerte gradiente altitudinal y por el invierno altiplánico, lo que genera una distribución heterogénea de las precipitaciones entre los distintos sectores de la cuenca. Esta variabilidad espacial se combina con una alta variabilidad interanual asociada a fenómenos climáticos como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), que pueden generar eventos extremos capaces de aportar una fracción importante de la precipitación anual. Además, sobre los 3.500 m s.n.m. gran parte de las precipitaciones ocurre en forma de nieve, contribuyendo posteriormente a la recarga de acuíferos y al mantenimiento de los caudales superficiales.

Los registros analizados muestran diferencias significativas entre estaciones meteorológicas. Destaca la estación Centro Salar, que presentó precipitaciones medias anuales muy superiores a las observadas en estaciones cercanas y a los valores reportados en estudios previos para el sector. Al comparar estos antecedentes con datos de la DGA y referencias climáticas regionales, se concluye que los valores registrados en Centro Salar son poco consistentes con el comportamiento

esperado de la zona, por lo que podrían estar asociados a errores en la medición o procesamiento de los datos.

Los registros de niveles freáticos obtenidos entre diciembre de 2020 y diciembre de 2025 constituyen la línea base para el monitoreo de los tres SVAHT evaluados (Salar de Pedernales, Cabecera Sur Río La Ola y Quebrada Leoncito). Los resultados muestran una dinámica particular en cada sitio, con diferencias en las tendencias y magnitudes de variación incluso entre punteras de un mismo sistema, lo que evidencia una alta heterogeneidad espacial. Esta variabilidad destaca la importancia de mantener una red de monitoreo amplia y representativa. Asimismo, situaciones como la condición de pozo seco observada en algunos puntos deberá analizarse considerando el contexto hidrológico y de gestión de cada período (Apéndice 07: Pluviometría e Hidrogeología).

5.2.2.6 Análisis de imágenes satelitales

Previo al análisis de las imágenes satelitales para el monitoreo del tamaño de los parches de la vegetación, sus límites y su vigor, además del tamaño de los cuerpos de agua; se desarrolló e implementó una metodología de calibración y validación especialmente diseñada para el monitoreo de los SVAHT del Área de Estudio. En primera instancia, se adquieren imágenes multiespectrales SPOT 6/7 de alta resolución en concordancia, con un margen de días, con la fecha de ejecución de las campañas de monitoreo en el Área de Estudio. Luego, en una fase de gabinete se realiza su preprocesamiento mediante correcciones atmosféricas, radiométricas y geográficas (ortorectificación) y se aumenta su resolución espacial a través de *pan-sharpening*.

Lo anterior se complementa con la medición de firmas hiperespectrales *in situ* necesaria para los procesos de calibración y validación (cal/val) de las imágenes obtenidas. La toma de datos se realiza mediante el uso de un espectroradiómetro de campo, en cuadrantes de 3 m x 3 m dispuestos en grillas de muestreo georreferenciadas con sistema geodésico. Estas mediciones hiperespectrales se realizan en una ventana horaria (entre las 11 y 15 h) de manera de evitar que las sombras provocadas por el relieve afecten las mediciones espectrales. Con estas mediciones de campo, se realiza finalmente en gabinete el proceso cal/val de las imágenes satelitales, que consiste en la validación de la calidad radiométrica de las reflectancias derivadas de las imágenes a partir de su comparación con las mediciones hiperespectrales obtenidas *in situ*.

Los resultados de este proceso mostraron una alta concordancia (imagen vs medición *in situ*) en sectores homogéneos dominados por vegetación, donde se advierte que las reflectancias satelitales reproducen adecuadamente las condiciones observadas en campo. En sitios con coberturas mixtas (manchones de vegetación, suelo desnudo y presencia de costras salinas) se registró una mayor variabilidad, especialmente en la banda NIR (infrarrojo cercano). De todas formas, el modelo de validación presentó resultados robustos y dentro de los estándares internacionales (CEOS¹ y CHIME²), demostrando que la metodología es confiable para monitorear en forma remota (satelital) ecosistemas altoandinos y que las diferencias observadas responden principalmente a la micro heterogeneidad natural y local característica del terreno estudiado.

Sobre la base de las imágenes satelitales calibradas, se desarrolló un análisis conducente a la delimitación y al monitoreo del vigor de la vegetación de cada SVAHT del Área de Estudio y sus

¹ CEOS: Committee on Earth Observation Satellites <<https://ceos.org/>>

² CHIME: Copernicus Hyperspectral Imaging Mission for the Environment
< <https://www.eoportal.org/satellite-missions/chime-copernicus#references>>

cuerpos de agua asociados. En primer lugar, se elaboraron composiciones de bandas (imágenes falso color convencional) para facilitar la identificación visual (fotointerpretación) de coberturas vegetales y otros elementos relevantes del paisaje. Posteriormente, se calcularon los índices espectrales NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) y NDWI (*Normalized Difference Water Index*), con lo cual se obtuvieron estadísticas descriptivas para la caracterización general de cada SVAHT. A continuación se aplicaron procesos de reclasificación (en función de valores umbrales mínimos) y de vectorización que permitieron estimar la superficie ocupada por la vegetación activa (es decir, sectores con NDVI por sobre los valores de umbrales mínimos) y los cuerpos de agua, generando indicadores cuantitativos para su seguimiento temporal.

El análisis de los índices NDVI y NDWI complementó y validó la información levantada en terreno, identificando mayores valores de vigor vegetacional en los pajonales hídricos (SVAHT de quebradas) con respecto de otras formaciones vegetacionales (SVAHT de Salares), como bofedales y vegas. Los umbrales utilizados para delimitar la vegetación fueron consistentes con estudios previos realizados en salares y ecosistemas altoandinos de Chile, lo cual permite validar y sustentar la metodología utilizada. A modo de discusión, se plantea la necesidad de profundizar en el estudio de la posible influencia del régimen de precipitaciones y disponibilidad hídrica en los SVAHT en los años previos al presente estudio, como una manera de comprender la dinámica, extensión (superficie) y características vegetacionales actuales de los SVAHT. Esto se sustenta en observaciones y conclusiones previas de estudios como el realizado por Econativa (2023), donde se asociaron mayores valores promedio de NDVI a condiciones de mayor precipitación ocurridas en años anteriores. A pesar de ello, se destaca que un aumento del NDVI no necesariamente refleja una mejora ecológica, ya que puede estar asociado por ejemplo a cambios en la composición de las comunidades vegetales (las cuales pueden presentar en su conjunto mayor vigorosidad vegetacional) como producto de procesos de degradación ecosistémica (p.e. colonización de especies vegetales que presentan mayor vigorosidad vegetal en comparación con especies vegetales antes existentes). En este sentido, resulta fundamental en etapas siguientes del estudio, identificar las razones que explican los valores de NDVI, como producto de la correlación entre estos índices y los datos de los diferentes componentes ambientales monitoreados, en particular los datos de flora y vegetación levantados con el muestreo *in situ* (Apéndice 08: Análisis de Imágenes Satelitales e Índices NDVI/NDWI).

5.3 Notas Técnicas

En el periodo se trabajaron documentos técnicos que abordan temas específicos relacionados a discrepancias en la aplicación del diseño muestral, definido previamente en los Términos de Referencia diseñados por la consultora CEA en el año 2020, y ejecutadas por Econativa Consultores en el año 2023. Estas diferencias se originan en el proceso de corrección de imágenes satelitales y el ajuste del error de georreferenciación de los polígonos del Área de Estudio y también por la validación de terreno realizada por SMI en las campañas Primavera 2025 y Otoño 2026, donde se observaron brechas entre las condiciones ecológicas e hidrológicas observadas y los supuestos considerados en el diseño original.

Bajo este contexto, las notas técnicas desarrolladas presentan los fundamentos metodológicos y técnicos que respaldan los ajustes realizados, donde se argumentan con criterios de representatividad ecológica, monitoreo adaptativo y robustez estadística, permitiendo fortalecer la trazabilidad de los resultados y asegurar una caracterización más adecuada de la dinámica de los

SVAHT. En la Tabla 6 se resumen en general los temas que aborda cada nota y lo que se propone para resolver las discrepancias observadas.

Tabla 6. Detalle Notas Técnicas

Nombre	Resumen y Propuesta de Resolución
NT N°1: Criterio técnico metodología Flora y Vegetación Buffer	Se analiza la metodología de caracterización de los SVAHT en los polígonos definidos en el Avenimiento y sus zonas buffer. Se realizaron ajustes en la delimitación actual de los SVAHT, debido a errores de desplazamiento en la georreferenciación. Se definió que el método de intercepto de puntos (Point Quadrat) es adecuado para evaluar la vegetación azonal de los SVAHT y para la vegetación zonal parcelas de muestreo forestal, para lograr una caracterización más representativa de especies leñosas y herbáceas. Se propone robustecer la red de monitoreo mediante el análisis de imágenes satelitales e índices de vegetación para definir puntos de muestreo representativos y optimizar el monitoreo bajo principios de adaptación y las condiciones ecológicas actuales.
NT N°2: Puntos de muestreo componentes Flora y Vegetación y Fauna	En este documento se aborda la discrepancia en la ubicación de los puntos de muestreo definidos originalmente en los términos de referencia (TdR) y el implementado por SMI en las campañas de terreno ejecutadas, para los componentes flora y fauna. En el componente flora y vegetación, la restitución hídrica en ciertos sectores asociada a la Medida RC-01, donde se modificaron las condiciones ecológicas de los SVAHT, y la actualización <i>in situ</i> de las unidades homogéneas de vegetación evidenciaron la necesidad de actualizar el diseño muestral, por lo que algunos transectos previamente definidos en los TdR perdieron representatividad. En relación al componente fauna, se aborda la aplicación de metodologías más específicas a ciertos grupos taxonómicos y se detalla el concepto de estación de muestreo y el esfuerzo equivalente a los TdR establecidos. Se propone un enfoque de monitoreo adaptativo, manteniendo los transectos y estaciones definidos por SMI por su mayor representatividad ecológica y capacidad para detectar cambios asociados a la restauración hídrica. Además, se asegura la comparabilidad entre campañas manteniendo el esfuerzo de muestreo, la cobertura espacial y las unidades de análisis, fortaleciendo la robustez metodológica del monitoreo.
NT N°3: Ajuste estaciones de muestreo Limnología, Caudal y Calidad de agua y sedimentos	Los TdR establecieron 35 estaciones de monitoreo para limnología, calidad de agua y sedimentos, y 14 puntos de aforo para la medición de caudales. Durante las campañas ejecutadas a la fecha, se validó en terreno la ubicación de los puntos definidos en TdR y se realizaron ajustes para mejorar la representatividad de los sistemas acuáticos y asegurar condiciones suficientes para el monitoreo. Al igual que en los otros componentes, se propone un enfoque de monitoreo adaptativo para responder a la dinámica hidrológica de los SVAHT, mejorar la representatividad ecológica y mantener la calidad y comparabilidad de los datos entre campañas.

Nombre	Resumen y Propuesta de Resolución
NT N°4: Puntos de muestreo componente Suelo	Se analizan las discrepancias en el diseño muestral de suelos definido previamente en los TdR y el levantamiento de las campañas realizadas por SMI, en la cual se delimitaron las Unidades Homogéneas de Suelo (UHS) según la condición ecológica actual de los SVAHT. Para ello, se aplicaron los criterios establecidos por las guías y estándares vigentes en Chile además de integrar fotointerpretación en gabinete y su posterior validación en terreno. Se propone una optimización del diseño de muestreo, reduciendo el número de calicatas pero aumentando la profundidad en la toma de muestras, lo que implica también un aumento en los horizontes analizados por UHS. Esta optimización mantiene la representatividad espacial definida en los TdR, robustece la caracterización de los suelos del Área de Estudio y minimiza la intervención de estos ecosistemas altamente sensibles a perturbaciones, sin alterar el número total de análisis comprometidos ni la validez de los resultados.

En el periodo se ha iniciado también la gestión para la Nota Técnica N°5, la que abordará los distintos escenarios para el inicio de las actividades asociadas a la instalación y monitoreo de las estaciones meteorológicas y de las punteras. Estos escenarios dependen de la gestión de los permisos ante Bienes Nacionales, y se analizó la posibilidad de activar los trabajos en los sitios donde no es necesario el permiso del servicio, con un respectivo análisis de factibilidad y costo-oportunidad de los escenarios. Desde un punto de vista técnico, se debe analizar la consecuencia en los resultados de ambos estudios de no contar con la data de los niveles freáticos y las variables climáticas por un periodo prolongado, situación que acorta en forma significativa la información disponible para integrar al modelo ecosistémico de la EST-01 y al análisis de la evolución del SVAHT frente a las medidas de reparación comprometidas en el Avenimiento, objetivo principal del monitoreo multiescalado EST-02. Esta situación se subsana parcialmente por la disponibilidad y procesamiento de algunos datos de estaciones meteorológicas existentes en la zona y de punteras ya instaladas en algunos de los SVAHT (Pedernales, La Ola y Leoncito).

6. Conclusiones

La gestión realizada en el periodo entre octubre 2025 y abril 2026 consideró un avance físico de 22% para la Medida EST-01 y un 4,8% para la Medida EST-02, presentando diferencias con lo proyectado, debido tanto a factores externos como el atraso en el inicio de la instalación de las estaciones meteorológicas y punteras, como también a factores internos como el mayor tiempo estimado para la entrega de los resultados de la Campaña 1 Primavera 2025, debido al levantamiento de ajustes en el diseño muestral para robustecer la representatividad de las estaciones de monitoreo y metodologías asociadas.

En relación a la Medida EST-01, se incorporaron en ambas campañas realizadas a la fecha, estudios específicos de evapotranspiración, ecofisiología vegetal y de caracterización de suelos en el Salar de Pedernales, complementarios a la información que se levanta en el monitoreo de la EST-02. Esta metodología está orientada a profundizar la comprensión de los procesos que regulan el funcionamiento, o variables forzantes, del SVAHT activo. Los resultados muestran que podría considerarse que la disponibilidad de agua subterránea constituye un factor clave en los flujos de evapotranspiración y el umbral funcional de las plantas del SVAHT. También se observó que las especies dominantes del SVAHT de Pedernales presentaron diversas estrategias adaptativas frente a condiciones de estrés hídrico y salinidad. Asimismo, los análisis de suelo indican un ambiente altamente salino, alcalino, saturado en diversos sectores, con alta concentración de elementos y una baja humedad aprovechable, que condicionan la estructura y distribución de las comunidades vegetales.

La primera campaña de monitoreo permitió establecer una línea base integral para los ecosistemas asociados al Área de Estudio de la Medida EST-02, evidenciando una marcada heterogeneidad ambiental entre los 13 sitios evaluados. Los resultados de evapotranspiración y ecofisiología vegetal en Pedernales, y los caudales, calidad de aguas, sedimentos en los 13 sectores, tanto como los niveles freáticos de La Ola, Pedernales y Leoncito (levantados con datos históricos de Codelco e información pública del 2020 al 2025) indican que las condiciones locales de disponibilidad hídrica, salinidad y geomorfología ejercen una fuerte influencia sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. En este contexto, la variabilidad observada entre sectores fue, en general, mayor que la registrada dentro de cada sitio, confirmando que los SVAHT y ambientes asociados deben ser analizados considerando sus condiciones locales y no bajo una única condición de referencia para todo el Área de Estudio.

El monitoreo de los componentes bióticos (flora, fauna, organismos bentónicos, suelos) evidenció que los SVAHT mantienen atributos ecológicos característicos de ambientes altoandinos. Con respecto a los resultados de flora y vegetación se registraron 33 especies vasculares, la mayoría de ellas de origen nativo y adaptadas a gradientes de humedad y salinidad mientras que la fauna presentó una alta diversidad con 60 especies de vertebrados, incluyendo varias especies en categoría de conservación. El análisis de las comunidades acuáticas indicó una marcada heterogeneidad en su hidroquímica y diversidad biológica de los organismos bentónicos entre sectores, con comunidades adaptadas a distintas condiciones de mineralización. Por su parte, los resultados de los suelos evidencian características salino-sódicas y limitaciones hídricas propias de estos ambientes extremos, factor condicionante en la regulación hídrica y el soporte de la biodiversidad en los distintos sectores del Área de Estudio.

Los antecedentes hidrogeológicos e hidrológicos indican que el Área de Estudio está fuertemente condicionada por la variabilidad climática propia del altiplano y por un marcado gradiente espacial en la disponibilidad de agua. Los registros históricos de caudales, niveles freáticos y precipitaciones muestran diferencias significativas entre sectores, reforzando la necesidad de mantener una red de monitoreo robusta y representativa. La información generada durante esta primera campaña constituye una referencia fundamental para evaluar la evolución futura de los ecosistemas y la efectividad de las medidas de gestión implementadas. En particular, permitirá distinguir entre fluctuaciones naturales y cambios persistentes en variables hidrológicas, ecológicas y ambientales, fortaleciendo la capacidad de seguimiento y toma de decisiones durante el programa de monitoreo de largo plazo.

Por otro lado, se ha desarrollado una metodología de calibración y validación para las imágenes satelitales multiespectrales SPOT 6/7 que permite representar adecuadamente las condiciones de los SVAHT del Área de Estudio, incluso en estos ambientes caracterizados por una elevada heterogeneidad espacial y alta reflectancia. La comparación de las imágenes corregidas con mediciones hiperespectrales *in situ* mostró una alta concordancia en sectores homogéneos y un comportamiento consistente en áreas mixtas, donde las diferencias observadas se asociaron principalmente a la variabilidad natural de la cobertura superficial. Con esta base, el análisis de los índices NDVI/NDWI permitió delimitar la distribución espacial de la vegetación y los cuerpos de agua con datos que permiten su comparación a través de los años. Se observaron los mayores valores de vigor vegetal en los pajonales hídricos respecto de otras formaciones. En general, los resultados respaldan la metodología empleada, aunque se sugiere profundizar en el estudio de la influencia de las precipitaciones y la disponibilidad hídrica sobre la dinámica vegetal, como sugieren estudios anteriores. Asimismo, se destaca que aumentos en NDVI no necesariamente reflejan mejoras ecológicas, por lo que resulta fundamental correlacionar estos índices con los datos de flora y vegetación obtenidos en terreno para interpretar adecuadamente los cambios observados.

De forma paralela al levantamiento de información en terreno, se ha trabajado en propuestas de resolución para ciertas discrepancias observadas con los Términos de Referencia establecidos por Codelco y elaborados por la consultora CEA, frente a las condiciones observadas en terreno durante la ejecución del monitoreo, bajo un criterio experto. Los ajustes propuestos en las notas técnicas se sustentan en criterios de representatividad ecológica, monitoreo adaptativo y robustez metodológica, incorporando mejoras en la delimitación de los SVAHT, la ubicación de estaciones y transectos de muestreo, y la caracterización de sistemas acuáticos y suelos. En conjunto, estas modificaciones permiten adecuar el monitoreo a la dinámica actual de los humedales, fortalecer la trazabilidad y comparabilidad de los resultados y asegurar que la información generada represente de mejor manera las condiciones ecológicas e hidrológicas del Área de Estudio.

Por último y proyectando las actividades para el próximo periodo, se desarrollará una nueva nota técnica que aborde los escenarios para el inicio de las actividades relacionadas a la instalación y operación de las estaciones meteorológicas y punteras comprometidas en el Proyecto. Se deberá evaluar las implicancias tanto económicas como técnicas de retrasar la instalación de estaciones meteorológicas y punteras, considerando que la falta en un periodo significativo de tiempo de registros climáticos y niveles freáticos limitaría la información disponible para el Modelo Ecosistémico Conceptual de la EST-01 y para la evaluación de la respuesta de los SVAHT frente a las medidas de reparación monitoreadas en la EST-02. Además, para el periodo segundo semestre 2026, se proyecta la entrega de resultados de la Campaña 2 de Otoño 2026 y la ejecución de la Campaña 3 de Primavera 2026, proyectada de forma tentativa para el mes de noviembre.

7. Listado de profesionales del Proyecto

7.1 EST-01

Tabla 7. Listado profesionales Medida EST-01

Cargo	Profesional	Background	Institución
Asesor Senior Hidrología Administrador de Contrato	Jacques Wiertz	Ing. Civil Geólogo - PhD. Sciences Appliquées, Université de Liège (Bélgica)	SMI Chile
Asesor Senior Suelos	David Rubinos	Doctor en Farmacia/Calidad de Suelos y Aguas, Universidad de Santiago de Compostela (España)	SMI Chile
Asesor Senior Ecosistemas de Aguas Continentales / Asesor Senior Calidad de Agua y Sedimentos	Claudio Valdovinos Zarges	Doctor en Ciencias, mención Zoología	EULA UdeC
Asesor senior Fauna	Cristián Fernando Estades Marfán	Ph. D. en Ecología de la Vida Silvestre	LEVS UChile
Asesor Senior Ecosistemas y Vegetación	Lohengrin Alexis Cavieres González	Doctor en Biología, UCh.	ECOBIOSIS UdeC
Coordinadora General	Daniela Gamboa R.	Licenciada en Cs Forestales	SMI Chile
Jefe terreno / Especialista de terreno Flora y Veg	Daniela Cortés	Ing. Recursos Naturales Renovables – Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza	SMI Chile
Jefe terreno / Especialista de terreno Flora y Veg	Laura Collao	Ing. Forestal – Magíster en Gestión y Administración Ambiental	SMI Chile
Asesor en Prevención de Riesgos	Gonzalo Aspillaga	Ing. Prevención de Riesgos	SMI Chile
Experta/Coordinadora de terreno Ecofisiología	Maritza Mihoc	Doctora Ciencias Biológicas - Botánica	ECOBIOSIS UdeC
Técnico de muestreo Ecofisiología	Benjamín Morong	Biólogo y estudiante de MCs. con mención en Botánica.	ECOBIOSIS UdeC
Técnico de muestreo Ecofisiología	Karina Acuña	Bióloga y MCs con mención en Botánica.	ECOBIOSIS UdeC
Jefa de Terreno Suelos	María Paz Valenzuela	Ingeniera Agrónoma – Magister en Manejo de Suelos y Aguas	SMI Chile
Especialista terreno Suelos	Pablo Bustos	Ingeniero Agrónomo – Magister en Manejo de Suelos y Aguas	SMI Chile
Especialista terreno Suelos	Ariel Mena	Ing. Agrónomo	SMI Chile
Especialista terreno Suelos	Nataly Troncoso	Ing. Agrónoma	SMI Chile

Cargo	Profesional	Background	Institución
Especialista terreno Suelos	Rodrigo Ovalle	Ing. Agrónomo	SMI Chile
Especialista terreno Evapotranspiración	Dilan Campos	Geólogo	SMI Chile
Especialista terreno Evapotranspiración	Nicolás Orellana	Geólogo	SMI Chile
Especialista imágenes satelitales	Felipe Labra	Ing. Recursos Naturales Renovables - Magister en Geografía y Geomática, Dr(c) SMI Chile en Territorio, Espacio y Sociedad	
Operador dron vuelo LiDAR	Eduardo Morales	Ing. Recursos Naturales Renovables y Magister en Gestión Territorial de Recursos Naturales	Carbon Real
Apoyo técnico vuelo LiDAR	Deelan Rus	Ing. Recursos Naturales Renovables y Magister en Gestión Territorial de Recursos Naturales	Carbon Real

7.2 EST-02

Tabla 8. Listado profesionales Medida EST-02

Cargo	Profesional	Background	Institución
Asesor Senior Hidrología Administrador de Contrato	Jacques Wiertz	Ing. Civil Geólogo - PhD. Sciences Appliquées, Université de Liège (Bélgica)	SMI Chile
Asesor Senior Suelos	David Rubinos	Doctor en Farmacia/Calidad de Suelos y Aguas, Universidad de Santiago de Compostela (España)	SMI Chile
Asesor Senior Ecosistemas de Aguas Continentales / Asesor Senior Calidad de Agua y Sedimentos	Claudio Valdovinos Zarges	Doctor en Ciencias, mención Zoología	EULA UdeC
Asesor senior Fauna	Cristián Fernando Estades Marfán	Ph. D. en Ecología de la Vida Silvestre	LEVS UChile
Asesor Senior Ecosistemas y Vegetación	Lohengrin Alexis Cavieres González	Doctor en Biología, UCh.	ECOBIOSIS UdeC
Coordinadora General	Daniela Gamboa R.	Licenciada en Cs Forestales	SMI Chile
Jefe terreno / Especialista de terreno Flora y Veg	Daniela Cortés	Ing. Recursos Naturales Renovables – Magister en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza	SMI Chile
Jefe terreno / Especialista de terreno Flora y Veg	Laura Collao	Ing. Forestal – Magister en Gestión y Administración Ambiental	SMI Chile

Cargo	Profesional	Background	Institución
Especialista imágenes	Felipe Labra	Ing. Recursos Renovables - Magister en Geografía y Geomática, UCh.	SMI Chile
Asesor en Prevención de Riesgos	Gonzalo Aspillaga	Ing. Prevención de Riesgos	SMI Chile
Apoyo técnico Calibración Imágenes	Dilan Campos	Geólogo	SMI Chile
Especialista terreno Calibración Imágenes	Valentina Carrasco	Ingeniero en Recursos Naturales	Agrospace
Jefa de terreno Suelos	María Paz Valenzuela	Ing. Agrónomo - Magister Manejo Suelos y Aguas	SMI Chile
Especialista terreno suelos	Pablo Bustos	Ing. Agrónomo - Magister Manejo Suelos y Aguas	SMI Chile
Especialista terreno suelos	Ariel Mena	Ing. Agrónomo	SMI Chile
Especialista terreno suelos	Nataly Troncoso	Ing. Agrónomo	SMI Chile
Especialista terreno suelos	Rodrigo Ovalle	Ing. Agrónomo	SMI Chile
Especialista de terreno Flora y Vegetación	Álvaro Espinoza	Ing. Agrónomo	SMI Chile
Especialista de terreno Flora y Vegetación	Camila Soto	Ing. Forestal	SMI Chile
Especialista de terreno Flora y Vegetación	Nancy Espinoza	Ing. Forestal	SMI Chile
Especialista de terreno Flora y Vegetación	Romina Novoa	Ing. En Conservación Recursos Renovables	SMI Chile
Especialista de terreno Flora y Vegetación	Santiago Moya	Ing. Forestal	SMI Chile
Especialista de terreno Limnología	Alejandro David Peña Chavez	Técnico de terreno	EULA UdeC
Especialista de terreno Limnología	Edison Alberto Aravena Solar	Técnico Nivel Superior en Medioambiente	EULA UdeC
Especialista de terreno Fauna	María Angélica Vukasovic	Ecólogo Paisajista, Ornitóloga	LEVS UChile
Especialista de terreno Fauna	Antonia Marina Pérez Bielva	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables.	LEVS UChile
Especialista de terreno Fauna	Cristobal Anguita	Biólogo marino. Doctor en Ciencias mención Ecología y biología Evolutiva. Universidad de Chile	LEVS UChile
Especialista de terreno Fauna	Florencia Catalina Hidalgo Cataldo	Médico Veterinaria	LEVS UChile

Cargo	Profesional	Background	Institución
Especialista de terreno Fauna	Isidora Marina Nuñez Santander	Médico veterinaria y magister en áreas silvestres y conservación de la naturaleza. LEVS UChile Universidad de Chile.	
Especialista de terreno Fauna	Roberto Felipe Thomson Saavedra	Ingeniero Forestal. MSC Biología de la Conservación. Doctorado de Filosofía en Zoología. University of Oxford.	LEVS UChile

8. Referencias

Centro de Ecología Aplicada (CEA, 2020). Apéndice 2: Diseño plan de seguimiento multiescalado. Fojas 217. Anexo Supuestos y medidas adoptadas por Codelco en el marco del Acuerdo de Avenimiento y Transacción con el Consejo de Defensa del Estado. Causa Rol D-7-2020. Fojas 176.

Econativa Consultores (2024). Plan de Seguimiento Multiescalado de la dinámica ecosistémica en el Salar de Pedernales y Sistemas Aledaños. Caracterización de Flora y Vegetación. <https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/docs/20240723/20240723135006/flora_y_vegetacion_psme_rev0.pdf>

Primer Tribunal Ambiental (2020). Anexo Supuestos y medidas adoptadas por Codelco en el marco del Acuerdo de Avenimiento y Transacción con el Consejo de Defensa del Estado. Causa Rol D-7-2020. Fojas 176.

9. Apéndices

9.1 Apéndice 01: Notas Técnicas 1-4

El archivo de nombre “DSAEST_Anual26_Apendice01.pdf” se encuentra en formato digital.

9.2 Apéndice 02: Resultados EST-01

El archivo de nombre “DSAEST_Anual26_Apendice02.pdf” se encuentra en formato digital.

9.3 Apéndice 03: Flora y Vegetación

El archivo de nombre “DSAEST_Anual26_Apendice03.pdf” se encuentra en formato digital.

9.4 Apéndice 04: Fauna

El archivo de nombre “DSAEST_Anual26_Apendice04.pdf” se encuentra en formato digital.

9.5 Apéndice 05: Ecosistemas Acuáticos Continentales

El archivo de nombre “DSAEST_Anual26_Apendice05.pdf” se encuentra en formato digital.

9.6 Apéndice 06: Suelos

El archivo de nombre “DSAEST_Anual26_Apendice06.pdf” se encuentra en formato digital.

9.7 Apéndice 07: Pluviometría e Hidrogeología

El archivo de nombre “DSAEST_Anual26_Apendice07.pdf” se encuentra en formato digital.

9.8 Apéndice 08: Análisis de Imágenes Satelitales e Índices NDVI/NDWI

El archivo de nombre “DSAEST_Anual26_Apendice08.pdf” se encuentra en formato digital.

DATOS DE CONTACTO

Dr. Jacques Wiertz

E j.wiertz@smi-chile.com

W www.smi-chile.com

CRICOS code: 00025B TEQSA PRV12080



SMIChile

Sustainable Minerals Institute
International Centre