

Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02

Informe de Gestión Anual 2026 Apéndice 01 – Notas Técnicas

Preparado para: Codelco Salvador
DSAEST_Anuual26_Apendice01_Rev0
Santiago, 26 de junio 2026



En este apéndice se consolidan las Notas Técnicas 01 a 04, las cuales se listan en detalle:

- 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

Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02

Nota Técnica N°01 – Criterio técnico metodología Flora y Vegetación Buffer

Preparado para: Codelco Salvador

DSAEST_NT01_Rev01

Santiago, 16 de junio 2026



Control del documento

REV	Fecha Aprobación	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
A	Noviembre 2025	Laura Collao	Jacques Wiertz	Jacques Wiertz
B	Noviembre 2025	Laura Collao	Jacques Wiertz	Mauricio Vera
0	Noviembre 2025	Laura Collao	Mauricio Vera	Mauricio Vera
01	Junio 2026	Daniela Cortés	Daniela Gamboa	
02	Junio 2026	Daniela Cortés		

Contenido

1.	Antecedentes.....	1
1.1	TdR Medida EST-02: Estudio de Seguimiento de Dinámicas Ecosistémicas de SVAHT ...	1
1.2	Delimitación de los SVAHT a estudiar	2
2.	Áreas buffer.....	5
3.	Metodologías a aplicar	6
4.	Esfuerzo de muestreo	7
5.	Conclusión	9
6.	Referencias.....	10

Figuras

Figura 1	Esquema ejemplo de una medición realizada mediante el método de intercepto de puntos	1
Figura 2.	Delimitación del Salar de Pedernales.....	3
Figura 3.	Delimitación SVAHT Quebrada Ciénaga.....	4
Figura 4	Sector con vegetación azonal (influencia hídrica - dentro del polígono azul) y vegetación zonal (influencia climática - dentro del polígono amarillo)	5
Figura 5.	Área de estudio y buffer de 100 m sector Quebrada Tordillos.....	8

1. Antecedentes

1.1 TdR Medida EST-02: Estudio de Seguimiento de Dinámicas Ecosistémicas de SVAHT

Según lo establecido en los Términos de Referencia (TdR) de la Medida EST-02 “Estudio de Seguimiento de Dinámicas Ecosistémicas de SVAHT”, para la caracterización de la Flora y Vegetación de los SVAHT, se deberá utilizar el método de intercepto de puntos, también conocido como “Point Quadrat”.

Este consiste en la definición de transectos de longitud mínima de 25 m donde se identifica la flora presente en algunos puntos de la línea del transecto, y se calcula el porcentaje de cobertura vegetal de las especies registradas, así como también la cobertura de otros elementos del entorno (sustrato, mantillo, rastrojo, agua, entre otros).

Para calcular la cobertura se registran los componentes que interceptan la línea de 25 m en puntos ubicados cada 10 cm, proyectando en cada punto una línea perpendicular al transecto y al suelo, tal como se observa en la siguiente figura:

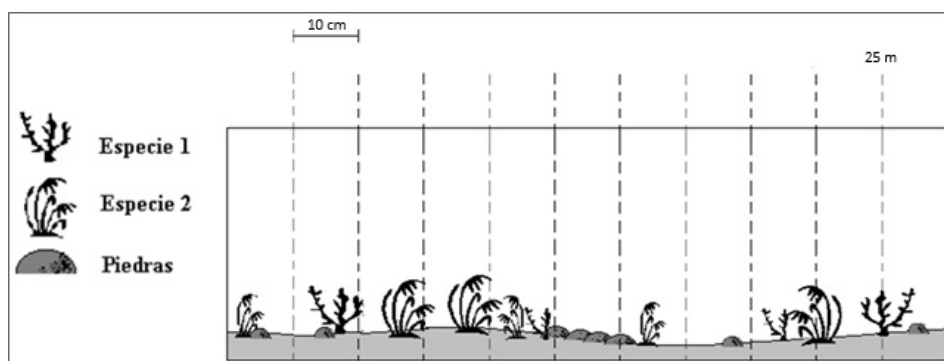


Figura 1 Esquema ejemplo de una medición realizada mediante el método de intercepto de puntos

Fuente: Hernández et al. (2000), modificado.

Por otro lado, en los mismos TdR de la Medida EST-02 “Estudio de Seguimiento de Dinámicas Ecosistémicas de SVAHT”, específicamente en el acápite 4.2, se establece la necesidad de muestrear áreas buffer para cada uno de los sectores del Avenimiento, donde: *“El objetivo principal del buffer ecológico es resguardar las áreas de los factores de estrés como son los factores de calidad de agua, sedimento, fósforo, nitrógeno y con ello también el resguardo de la vida silvestre y especies nativas. Se considerará la implementación de un buffer de 100 m”.*

Así, en los TdR señalados, también se indica que *“Adicionalmente para cada área del seguimiento se deberá considerar el monitoreo de flora y vegetación, y fauna terrestre en el área del buffer ecológico, implementando para cada sitio un esfuerzo de muestreo correspondiente al 20% de los puntos considerados por sitio, el cual dependerá de la cantidad de puntos de muestreo a definir. Sin embargo, se deberá considerar un mínimo de 3 puntos de muestreo por sitio en el área de buffer ecológico.”*

De acuerdo con esto, en estos mismos TdR se señala: “A continuación, se detallan los métodos a desarrollar para cada uno de los componentes, los cuales deberán considerarse para el monitoreo dentro del buffer ecológico en el caso de flora y vegetación y fauna terrestre”. Y luego, el acápite 4.2.4 de Flora y vegetación señala al método de intercepto de puntos. Por lo tanto, se desprende del texto que, tanto para los SVAHT como para su área buffer se define como método de levantamiento de información al método Point Quadrat.

1.2 Delimitación de los SVAHT a estudiar

Es preciso mencionar que, los polígonos de los SVAHT que son estudiados en el contexto de la “Medida EST-02: Estudio de Seguimiento de Dinámicas Ecosistémicas de SVAHT”, no presentan precisión en su delimitación, y no responden a los criterios de delimitación de humedales que presenta la “Guía de Delimitación y Caracterización de Humedales Urbanos de Chile” de MMA-ONU Medio Ambiente (2022). En dicha guía se presentan los criterios para la delimitación en terreno de cualquier humedal, independiente de su tipo, o de participación o no en áreas urbanas. Estos criterios se pueden resumir en: i) hidrología: inundación o saturación de suelos durante al menos 14 días consecutivos en temporada de crecimiento, con una profundidad de saturación no mayor a 30 cm, medidos desde la superficie del suelo; ii) presencia de vegetación hidrófita, siendo esta parte del ecosistema humedal, y; iii) presencia de suelos hídricos, los que se generan mediante reacciones químicas de oxidación-reducción. Para la aplicación en terreno de estos criterios, la guía de delimitación presenta una serie de indicadores que deben ser georreferenciados, para definir la delimitación en función de estos.

Por su parte, los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT) corresponden a los humedales altiplánicos, ubicados en la cordillera de Los Andes de la zona norte y centro del país (Ahumada y Faúndez, 2009). Además, tal como su nombre los define, los SVAHT son sistemas, o más bien ecosistemas, en los cuales existe una interacción entre los distintos componentes bióticos y abióticos, donde es fundamental la relación de dependencia de la vegetación hidrófita con el agua. En efecto, la delimitación de los SVAHT no debería restringirse solo a áreas en la que exista vegetación, pues las áreas de vegetación dependen de los aportes hídricos, es decir, sin los aportes hídricos no se mantienen las áreas de vegetación, porque son componentes de un sistema y no funcionan como componentes independientes. Por lo tanto, forman parte de los SVAHT las áreas con presencia de vegetación hidrófila, los espejos de agua, las áreas con suelos saturados, ya sea actual o reciente, las áreas con evidencia de inundación reciente o con presencia de humedad en el suelo, donde la conectividad biológica y la conectividad hidrológica son clave para su conservación.

De lo anterior se desprende que la delimitación de los SVAHT a estudiar por la Medida EST-02, no incluyó un trabajo de delimitación en terreno, sino que se delimitaron en función de una fotointerpretación de gabinete y según los resultados del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Vale destacar que la delimitación de los humedales en gabinete con uso de imágenes satelitales corresponde a una etapa preliminar de la delimitación y no a una etapa final. En efecto, al observar las imágenes satelitales junto a la delimitación de los SVAHT, se evidencia que en varios casos se excluyeron áreas de espejos de aguas y suelos hídricos. Un ejemplo más claro de esta situación es la delimitación del Salar de Pedernales, el que fue delimitado por el Inventario de humedales del Ministerio del Medio Ambiente (MMA-Edáfica, 2020) mediante el análisis de los índices NDVI y NDWI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) en base a imágenes satelitales con un sensor Sentinel con una resolución espacial de 10 m. Esta delimitación presenta una superficie total del humedal de 32.770,7 ha, donde 32.515 ha corresponden a la

categoría “salar”, 51,1 ha corresponden a “laguna” y 204,6 ha corresponden a “vega”. En contraste, la superficie de vega que se estudia en el contexto de las medidas EST-01 y EST-02 comprende 37,5 ha (Figura 2).

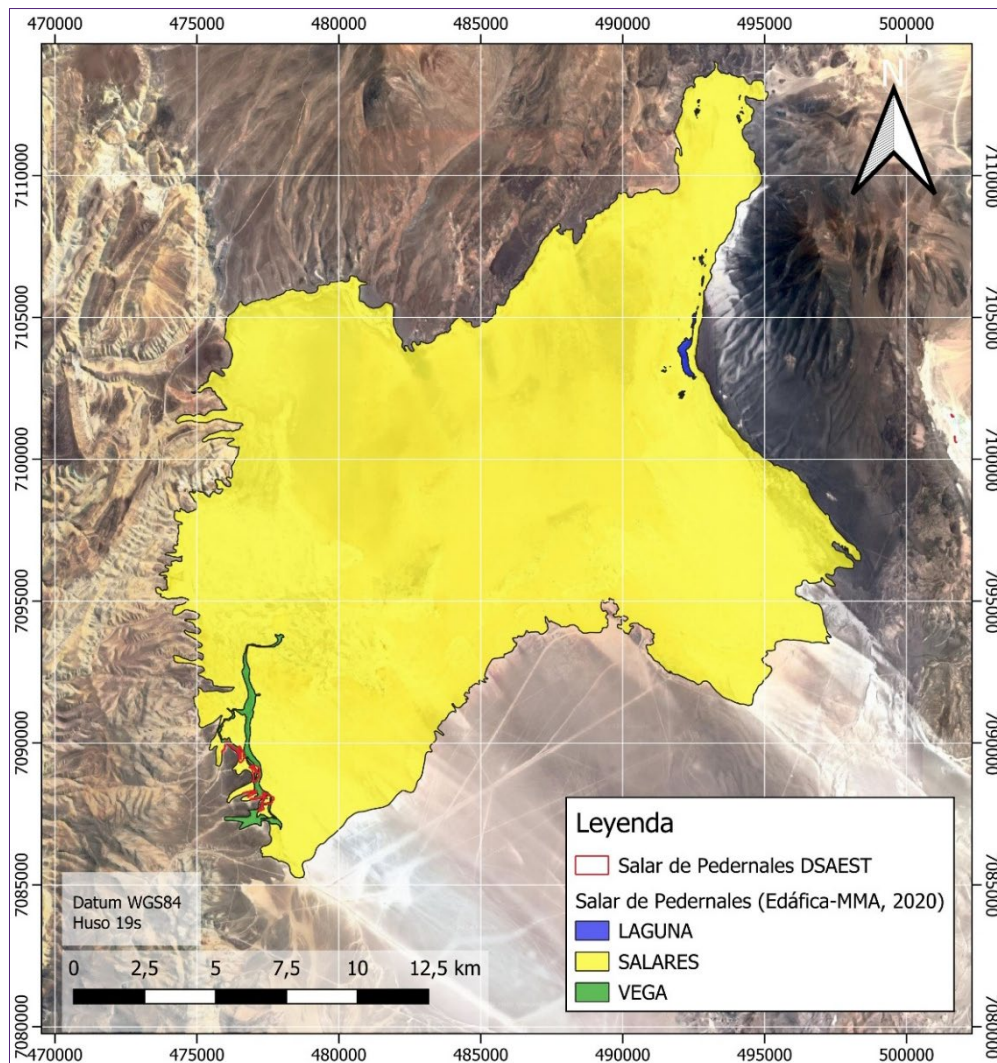


Figura 2. Delimitación del Salar de Pedernales

Fuente: Simbio, 2026.

Por otra parte, si bien la delimitación de algunos SVAHT que forman parte de las Medidas EST-01 y EST-02 no se alejan en cuanto a la cantidad de superficie que realmente debiera ser considerado como humedal, estos presentan una ubicación de los polígonos imprecisa. Específicamente, este error se trata de un desplazamiento del polígono, es decir, aunque el polígono se ajusta a la extensión de lo que se puede observar mediante las imágenes satelitales, los polígonos no se alinean correctamente con su ubicación real en la Tierra, pues el polígono está desfasado en su georreferenciación. Un ejemplo claro de este tipo de imprecisión se presenta en la Quebrada Ciénaga, donde el polígono se encuentra desplazado entre 5 y 20 metros de su ubicación original, lo que se puede observar en la Figura 3, cuyo fondo corresponde a una imagen satelital RGB ortorectificada del sensor SPOT de la campaña de primavera 2025 que fue corregida por Agrospace,

mientras que la línea punteada amarilla presenta una referencia del límite oeste del humedal en función de la fotointerpretación de esta imagen.

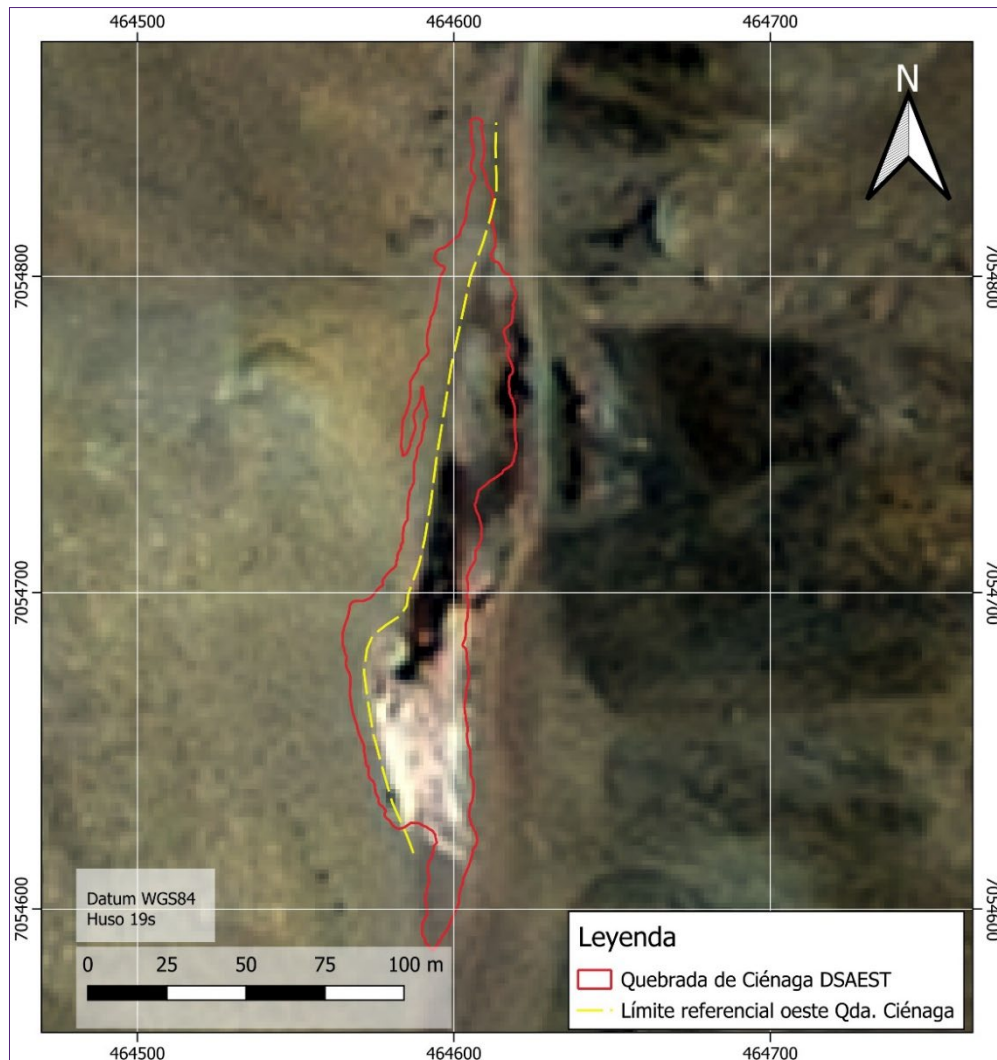


Figura 3. Delimitación SVAHT Quebrada Ciénaga

Finalmente, para la correcta delimitación de los SVAHT se debe tener a la vista la variabilidad temporal de sus límites en función de la variación de los aportes hídricos, como son las precipitaciones, los deshielos y las aguas subterráneas, que alimentan directa o indirectamente a estos humedales. En efecto, la delimitación de los SVAHT en estudio se realizó el año 2020 por el Centro de Ecología Aplicada Consultores Ltda., donde los SVAHT considerados para aplicar acciones de reparación (río La Ola, Ciénaga, Pastos largos, El Colorado, Río Negro, Tinajas, Tordillos y Vertiente 2) fueron delimitados según la fotointerpretación de imágenes levantadas con dron de aproximadamente 3 cm de resolución espacial. Mientras que, aquellos SVAHT para los que planificaron acciones de puesta en valor (salares Pedernales, La Laguna y Piedra Parada y las quebradas Asiento y Leoncito) fueron delimitados de acuerdo con la fotointerpretación de imágenes satelitales del sensor Sentinel con una resolución espacial de 10 m, con fecha de marzo 2020 (CEA, 2020).

2. Áreas buffer

Tal como se indicó previamente, para cada sector del Avenimiento, además de los SVAHT correspondientes, se deberá realizar la caracterización y seguimiento de la flora y vegetación en un área buffer de 100 m de ancho que circunda a cada sector del Avenimiento. En este contexto se presenta vegetación azonal y vegetación zonal.

De acuerdo a la “*Guía de Delimitación y Caracterización de Humedales Urbanos de Chile*” (MMA, 2022) la vegetación azonal, corresponde a la “*vegetación dependiente de las condiciones edáficas locales, como suelos saturados, independiente del clima regional*”, es decir, como aquella vegetación que requiere de manera estricta de condiciones de humedad en el suelo para su crecimiento y supervivencia, independiente del clima regional donde esta crece. En otras palabras, la vegetación azonal que se encuentra en los humedales altoandinos, no existiría si no fuera por la presencia de los cuerpos de agua que las mantienen.

En contraste, la vegetación zonal, corresponde a aquella vegetación que crece definida por las condiciones del clima regional, sin la influencia directa de un cuerpo de agua, y que, por lo tanto, puede crecer fuera de la influencia hídrica que permite la supervivencia de los SVAHT. En efecto, la vegetación zonal altoandina se caracteriza por estar conformada por especies adaptadas a condiciones climáticas extremas propias del lugar donde se localizan, por ejemplo, la escasez hídrica. En el caso de los sectores del Avenimiento, las condiciones climáticas predominantes corresponden a climas áridos desérticos de altura, que presentan formaciones de vegetación zonal predominante de tipo matorral desértico, que suelen presentar baja riqueza y densidad de individuos por unidad de área

A continuación, se presenta una fotografía referencial¹ que grafica como la influencia hídrica determina la presencia de la vegetación azonal y vegetación zonal, fuera de este.

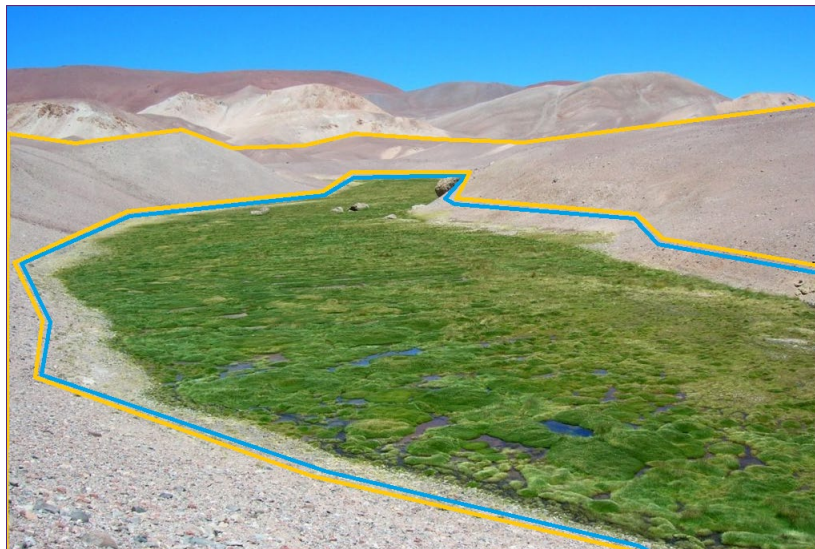


Figura 4 Sector con vegetación azonal (influencia hídrica - dentro del polígono azul) y vegetación zonal (influencia climática - dentro del polígono amarillo)

Fuente: Modificado de página web www.cambioclimaticochile.cl

¹ Fotografía con uso de carácter netamente referencial, obtenida de la página web <https://www.cambioclimaticochile.cl/2016/08/el-estudio-de-los-humedales-para-enfrentar-el-cambio-climatico/>

Por su parte, los polígonos de los sectores del Avenimiento que deben ser caracterizados, presentan vegetación azonal, siendo este tipo de formación, en la mayoría de los casos, la que delimita el polígono a caracterizar. En otras palabras, el seguimiento definido para cada sector se enfoca principalmente en la vegetación del SVAHT mismo. En tanto, en la mayoría de los casos, las áreas buffer que deben ser caracterizadas corresponden a superficies con presencia de vegetación zonal, es decir, vegetación que no es propia de un humedal, tal como matorrales, pajonales o herbazales. No obstante, dado a la falta de precisión en la delimitación de los SVAHT, en las áreas buffer de los polígonos de los SVAHT comprometidos en las Medidas EST-01 y EST-02, también existe presencia de vegetación azonal propia de los humedales, evidenciándose la continuidad de los SVAHT fuera de los polígonos presentados en el contexto del Avenimiento.

3. Metodologías a aplicar

Los Términos de Referencia de la licitación de la Medida EST-02 “Estudio de Seguimiento de Dinámicas Ecosistémicas de SVAHT” (Codelco, 2022) establecen el método de intercepto de puntos, también conocido como “Point Quadrat”, como el principal método de caracterización de la riqueza y cobertura de la Flora y Vegetación de los SVAHT. Al respecto, la “Guía Metodológica para la Descripción de Ecosistemas Terrestres” elaborada por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA, 2025), sostiene que el método de intercepto de puntos o “Point Quadrat” *“es utilizado para evaluar cuantitativamente la composición florística con un alto nivel de precisión”*, ya que fue originalmente diseñado para trabajar con formaciones herbáceas, es decir, de superficies con alta presencia de ejemplares y alta cobertura. A su vez, la “Guía metodológica y protocolos de muestreo de flora y fauna acuática en aguas continentales de Chile” elaborada por el Centro de Ecología Aplicada para el Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura (FIPA) del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (CEA-FIPA, 2018), incluye el método de intercepto de puntos dentro de las metodologías recomendadas para caracterizar macrófitas (plantas acuáticas y semiacuáticas) en distintos tipos de ecosistemas.

De acuerdo con lo anterior, el uso del método de intercepto de puntos o “Point Quadrat” para caracterizar la flora y vegetación dentro del Avenimiento, corresponde a una elección acorde para muestrear los SVAHT de los sectores objeto de la medida EST-02, ya que permite describir de manera cuantitativa y precisa este tipo de **sistemas azonales**. Esto, toda vez que los SVAHT en algunas oportunidades se extienden más allá de los polígonos establecidos en el Avenimiento y continúan en parte en las áreas buffer. Por lo tanto, el método de intercepto de puntos será utilizado en la caracterización de los polígonos de los SVAHT establecidos en el Avenimiento para la medida EST-02, y también para la caracterización de la flora y vegetación de áreas buffer, en el caso de que la vegetación que se presente sea azonal. Por otro lado, en el caso de que la vegetación que se presente en las áreas buffer sea zonal, el método Point Quadrat no resulta idóneo para caracterizar la flora y vegetación.

Con respecto a métodos para caracterizar la flora y cobertura zonal del área buffer, la mencionada guía del SEA (2025), presenta varias alternativas, entre las cuales se encuentra el método de las parcelas de muestreo forestal (o también llamadas parcelas vegetales), el cual se aplica para conocer y describir de manera cuantitativa y cualitativa la condición y parámetros forestales de formaciones arbóreas y arbustivas. El método mide variables como el número de individuos por clase de copa para cada especie y su altura, lo que permite caracterizar de mejor manera la distribución de la vegetación, en este caso arbustiva. Así, el método describe la cobertura, riqueza, abundancia y diversidad de los matorrales. Como resultado del método se obtiene el número de

arbustos por especie por unidad de área (N° de individuos por especie/ha), el número total de arbustos por unidad de área (N° de individuos/ha) y la altura media².

Finalmente, dado a que el método de parcelas de muestreo no caracteriza el estrato herbáceo, se complementará el levantamiento de las parcelas de 500 m² con la caracterización de riqueza y abundancia de herbáceas mediante el método de inventarios fitosociológicos de Braun-Blanquet. Este es un método que permite estimar la composición florística y abundancia de especies de una unidad vegetacional.

4. Esfuerzo de muestreo

La caracterización de la Flora y Vegetación de los SVAHT establecida en los TdR de la Medida EST-02 “Estudio de Seguimiento de Dinámicas Ecosistémicas de SVAHT”, determinó un esfuerzo de muestreo definido por “puntos de muestreo”, según el siguiente detalle: Salar de Pedernales 16 puntos; Salar La Laguna 4 puntos; Salar Piedra Parada y el resto de las 10 quebradas, 6 puntos por sector; n total: 86 puntos.

Por su parte, como se menciona en los antecedentes, el esfuerzo de muestreo definido en el Avenimiento para el componente flora y vegetación para las áreas buffer corresponde al 20% del número de los puntos considerados por sector, con un mínimo de 3 puntos de muestreo en el área buffer de cada sector del Avenimiento. Por lo tanto, existe un total mínimo de 39 puntos de muestreo de flora y vegetación en las áreas buffer.

Cabe señalar que, para la mayoría de los sectores, las áreas buffer dadas por los 100 m de ancho establecidos en los TdR ya señalados, resultan en una superficie adicional de muestreo para cada sector, mucho mayor que la superficie misma de SVAHT. Por ejemplo, en el sector de la Quebrada Tordillos, el área de estudio del SVAHT establecida por el Avenimiento corresponde a una superficie de 0,96 ha, mientras que el área buffer corresponde a 14,29 ha (Figura 5). En consideración a esta diferencia de proporciones en cuanto a la superficies a muestrear entre cada SVAHT y su área buffer, además del número acotado de puntos de muestreo establecido para cada área buffer (3 puntos por sector), y a que a la fecha no se ha realizado ningún tipo de caracterización vegetacional de estas áreas buffer que permita identificar puntos representativos dentro de estas áreas, es necesario realizar un análisis preliminar de estas áreas buffer para definir los puntos de muestreo.

En este sentido, se considera adecuado realizar una revisión de gabinete de las áreas buffer, para definir la ubicación tentativa de los puntos de los puntos de muestreo, mediante la observación y análisis de las imágenes satelitales actuales consideradas en el Estudio EST-02, además del índice NDVI calculado en base a estas imágenes, el que resalta la vigorosidad de la vegetación. Esta definición preliminar deberá posteriormente ser validada en terreno para la selección definitiva de los puntos de muestreo en las áreas buffer, pues los especialistas podrán modificar a su criterio esta ubicación según lo observado *in situ*.

² El método de parcelas vegetales (o forestales) es el único método que permite determinar si las formaciones vegetales presentes se encuentran reguladas por la normativa forestal como la Ley N°20.283/2008 del Ministerio de Agricultura, Ley de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, la que protege entre otras formaciones a las formaciones xerofíticas y en caso de requerirse su corta y/o descepa se debe solicitar un permiso sectorial

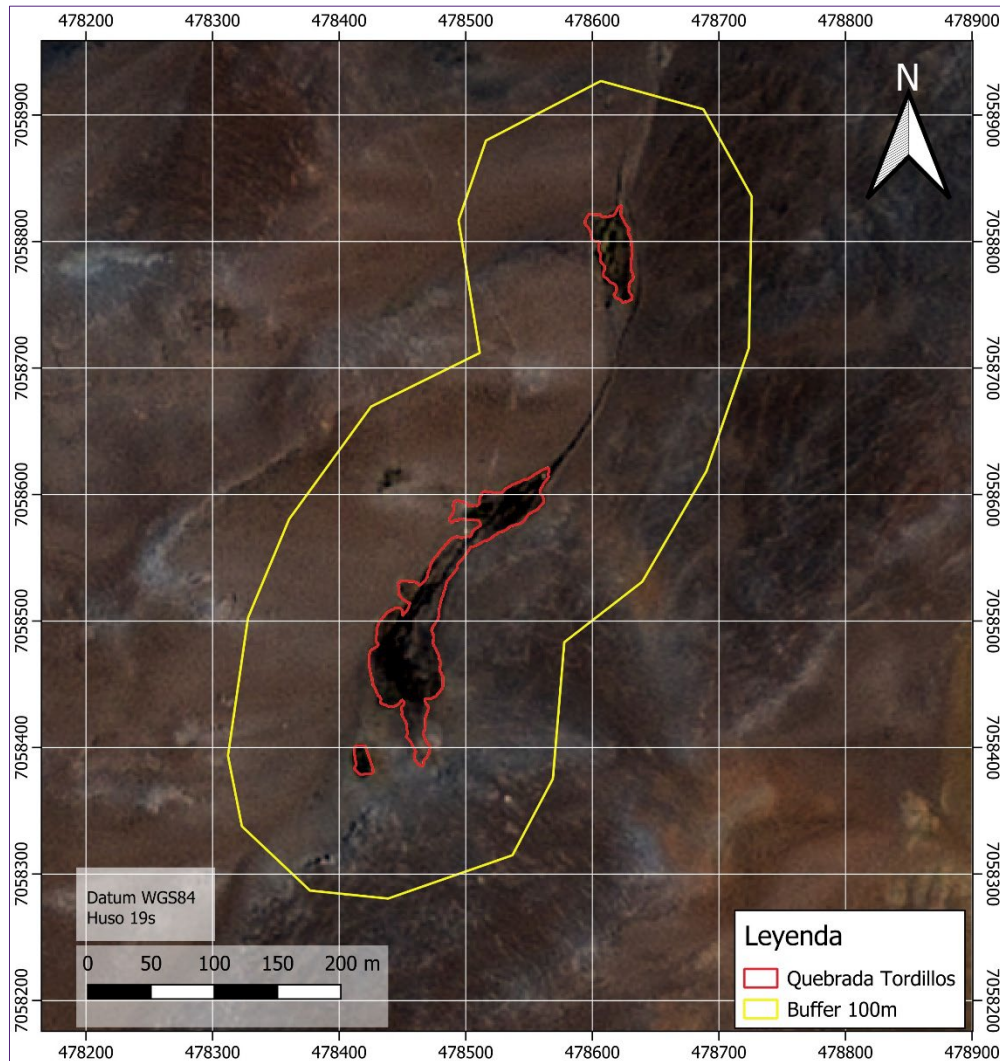


Figura 5. Área de Estudio y buffer de 100 m sector Quebrada Tordillos

5. Conclusión

Los TdR de las medidas EST-01 y EST-02 para el componente flora y vegetación establecen un mínimo de 86 puntos de muestreo dentro de los polígonos definidos para cada SVAHT y un mínimo de 39 puntos de muestreo en las áreas buffer de 100 m a cada polígono. Asimismo, se establece el método de intercepto de puntos para monitorear la vegetación dentro de los polígonos de los SVAHT, pero no se establece un método para monitorear la vegetación de las áreas buffer.

El método del intercepto de puntos o “Point Quadrat” es reconocido por la Autoridad como una metodología apropiada para caracterizar vegetación azonal, como la que se presenta en los SVAHT, y no resulta apropiado para caracterizar la vegetación zonal.

La delimitación de los polígonos de los 13 sectores a estudiar en el marco de las medidas EST-01 y EST-02 no consideró un análisis de terreno en base a los tres criterios de delimitación de humedales que considera la Autoridad: vegetación hidrófila, régimen hidrológico y suelos saturados o con mal drenaje. Además, los polígonos presentan desfases de desplazamiento en cuanto a su georreferenciación. Por lo tanto, las áreas de vegetación hidrófila en los sectores, en ocasiones, se extienden hacia las áreas buffer de cada polígono, y no quedan circunscritos solo a los polígonos definidos para cada SVAHT. De esta forma, en las áreas buffer se presenta vegetación azonal y vegetación zonal.

Se considera necesario modificar el método de muestreo de vegetación en las áreas buffer si la vegetación es de tipo zonal, cambiando la metodología del intercepto de puntos por un método que abarque mayores superficies, o que tengan un mayor alcance que el ya mencionado método del intercepto de puntos, como podría ser el caso del método de parcela de muestreo forestal. Este método permite caracterizar la vegetación zonal y las formaciones xerofíticas que se presenten en las áreas buffer de los 13 sectores del Avenimiento, especialmente las áreas de matorral escaso. A su vez, y en forma complementaria, el método Braun-Blanquet permite caracterizar la flora (riqueza) y abundancia (cobertura) del estrato herbáceo de las áreas buffer.

Considerando la gran extensión de las áreas buffer, y el acotado número de puntos de muestreo definidos para estas áreas (3 puntos por área buffer), se considera necesario realizar un análisis preliminar de gabinete para definir la ubicación tentativa de estos puntos, con el uso de imágenes satelitales e índices respectivos, que permita levantar de manera adecuada información representativa de la vegetación presente en las áreas buffer. Lo anterior, se considera con el objeto de elegir puntos de muestreo representativos de las áreas buffer, así como también, de no correr el riesgo de aplicar un método “no adecuado” para la vegetación zonal presente en las áreas buffer, que pueda dar como resultado caracterizaciones “nulas” o muy poco “representativas” del entorno. La ubicación final de los puntos de muestreo en las áreas buffer será establecida de acuerdo al criterio de experto en consideración a los puntos tentativos, pero principalmente de acuerdo a la observación de la vegetación *in situ*.

6. Referencias

Ahumada, M. y Faúndez, L. (2009). Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT). Ministerio de Agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago. 118 p.

Centro de Ecología Aplicada (CEA)-Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura (FIPA) (2018) Guía metodológica y protocolos de muestreo de flora y fauna acuática en aguas continentales de Chile. 152p.

Centro de Ecología Aplicada (CEA) (2020) Compensación: descripción de ecosistemas presentes, identificación de sitios potenciales y propuesta de plan de manejo preliminar. 61p.

CODELCO Salvador (2022). Términos de Referencia Medida ESt-02: Estudio de Seguimiento de Dinámicas Ecosistémicas de SVAHT. 43p.

Edáfica-MMA (Ministerio del Medio Ambiente) (2020) Inventario De Humedales Urbanos Y Actualización Catastro Nacional De Humedales, Informe etapa III. 207p.

MMA – ONU Medio Ambiente (2022). Guía de Delimitación y Caracterización de Humedales Urbanos de Chile. Elaborada mediante consultoría Proyecto GEF/SEC ID: 9766 “Conservación de humedales costeros de la zona centrosur de Chile” por EDÁFICA Suelos y Medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 200 p.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) (2025). Guía metodológica para la descripción de ecosistemas terrestres. Segunda edición, Santiago, Chile. 220p.

Simbio (2026) Capa Shape Humedal: H-1450: Salar de Pedernales, Inventario Nacional de Humedales. Disponible en: <https://simbio.mma.gob.cl/Humedales/InventarioDetails/1557#limites>

Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02

Nota Técnica N°02 – Puntos de muestreo componentes Flora y Vegetación y Fauna

Preparado para: Codelco Salvador

DSAEST_NT02_Rev0

Santiago, 24 de junio 2026



Control del documento

REV	Fecha Aprobación	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
A	22-03-26	Daniela Gamboa Daniela Cortés	Jacques Wiertz	Jacques Wiertz
B	24-03-26	Daniela Gamboa Daniela Cortés	Mauricio Vera	Jacques Wiertz
C	01-06-26	Daniela Cortés	Daniela Gamboa	Daniela Gamboa
D	05-06-26	Daniela Cortés	Mauricio Vera José Manuel Riveros	Daniela Cortés
E	18-06-26	Daniela Cortés	José Manuel Riveros	José Manuel Riveros
0	24-06-2026	Daniela Gamboa		

Índice de Contenidos

1. Introducción.....	1
2. Objetivos	2
3. Antecedentes	2
3.1 Restitución de caudales	2
3.2 Estaciones de muestreo en Avenimiento.....	4
4. Marco Metodológico	5
4.1 Flora y Vegetación	5
3.3 Fauna terrestre.....	7
5. Análisis de la diferencia.....	9
5.1 Flora y vegetación	9
5.2 Fauna.....	12
6. Conclusiones.....	15
7. Referencias	16

Índice de tablas

Tabla 1. Áreas del Avenimiento y avances en restitución de agua.....	2
Tabla 2. Proyección del número de estaciones por componente para cada área a monitorear en Avenimiento	4
Tabla 3. Metodologías de muestreo de flora y vegetación	6
<i>Tabla 4. Metodologías y número de puntos de muestreo de fauna según grupo taxonómico</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 5. Número de Estaciones de Monitoreo (EM) de vegetación levantados por SMI en la Campaña de Primavera 2025 según sector</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 6. Número de puntos de muestreo de fauna dentro de los SVAHT según sector</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 7. Superficie muestreada para fauna terrestre en la Quebrada Ciénaga</i>	<i>14</i>

Índice de figuras

Figura 1. Esquema explicativo de los puntos de muestreo referenciales empleados por SMI para fauna terrestre	9
Figura 2. Comparativa de la ubicación espacial de transectos de flora en quebrada Ciénaga	10

1. Introducción

A solicitud del Administrador de Contrato del servicio de “Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02” (de ahora en adelante el Proyecto), se preparó la siguiente Nota Técnica para aclarar aspectos técnicos sobre la definición de los puntos de muestreo de los componentes bióticos Flora y Vegetación y Fauna. La elaboración de este documento surge de la necesidad de precisar y consensuar los criterios metodológicos considerados en el diseño muestral, con el fin de asegurar que el esfuerzo de muestreo se encuentre correctamente representado, según criterio experto de profesionales *in situ*, la normativa ambiental vigente y el contexto del Avenimiento en el cual se enmarca el Proyecto.

Cabe señalar que la definición del concepto de “estación de muestreo” como se presenta en los Términos de Referencia utilizados por Codelco Salvador como base técnica para el diseño de la medida (elaborado por la consultora CEA), no se encuentra expresamente definido ni diferenciado entre los diversos componentes que son parte del monitoreo. En consecuencia, es relevante señalar que la proyección espacial de una estación de muestreo no es equivalente entre distintos componentes, dado que responden a criterios metodológicos distintos. La comparación directa de la distribución espacial de estaciones entre Flora y Vegetación y Fauna, puede generar interpretaciones imprecisas si no se consideran las diferencias inherentes a cada enfoque metodológico.

Por otro lado, y respecto a la localización de los puntos de muestreo de Flora y Vegetación, las acciones de restitución hídrica realizadas hasta la fecha en los SVAHT de los sectores asociados a la medida RC-01, pueden alterar de manera significativa la condición inicial de la vegetación en los SVAHT, debido a que el agua es el principal factor que regula su desarrollo, cobertura y composición. En este contexto, los puntos de muestreo de la campaña de monitoreo realizada el año 2023, antes de la intervención en el contexto de la medida RC-01, si bien fueron elaborados con el mismo método que el actual monitoreo, la ubicación específica de estos puntos no favorecen la revelación del estado ecológico actual, ni de los cambios introducidos por la reposición de agua, por lo que, se proponen ajustes a la red de puntos de muestreo de Flora y Vegetación para mejorar su representatividad en cuanto a su estatus de referencia, para objetos de los estudios EST-01 y EST-02. No obstante, al tratarse de puntos de muestreo del mismo método dentro de las mismas unidades vegetales, entre el monitoreo 2023 y el actual monitoreo, es plausible considerar como base el monitoreo del año 2023 para observar los cambios.

Con respecto a los monitoreos de fauna silvestre realizados el año 2023 y los actuales monitoreos del proyecto DSAEST (noviembre 2025 y abril 2026), si bien ambas metodologías empleadas son correctas, existen algunas diferencias metodológicas, donde los actuales monitoreos presentan mayor especificidad y robustez en los métodos empleados, lo que permite mejorar la calidad de información levantada.

En este marco, la presente Nota Técnica tiene por finalidad establecer dichas precisiones metodológicas, aportando los antecedentes necesarios para una interpretación técnica adecuada del diseño muestral adoptado en el Proyecto.

2. Objetivos

El objetivo principal de este documento es exponer los fundamentos técnicos y metodológicos de la selección de los puntos de muestreo de los componentes Flora y Vegetación y Fauna Silvestre realizados por SMI-Chile, para así aclarar las diferencias que surgen con el diseño muestral de los Términos de Referencia elaborados por la consultora CEA y el levantamiento realizado por la consultora Econativa el año 2023, ambos para Codelco Salvador.

3. Antecedentes

3.1 Restitución de caudales

La Medida RC-01: Plan de Reparación Ex-Situ propone el restablecimiento de condiciones forzantes, particularmente la condición hídrica de una superficie total de 60 ha, distribuidas en vegas de quebradas de agua dulce (Tinajas, Tordillos, Ciénaga, Pastos Largos, Vertiente 2, El Colorado y Río Negro). En términos generales, la medida considera la redistribución del flujo superficial y restitución del agua, con el objetivo de favorecer la recuperación funcional de los SVAHT.

A continuación, en la Tabla 1, se muestran las actividades ejecutadas a la fecha en cada uno de los 13 sectores comprometidos en el Avenimiento. Esta información es fundamental para comprender la condición en la que se inicia el Proyecto de cada sector, para tener a la vista los cambios que se presentaron entre el levantamiento de línea de base realizado por Econativa durante el año 2023 y la fecha de inicio del Proyecto, considerando que las acciones de restitución de caudales implementadas pueden generar efectos directos sobre la flora en el futuro.

Tabla 1. Áreas del Avenimiento y avances en restitución de agua

Sitio	Actividad RC-01	Fecha de intervención
Ciénaga	Restitución	may-25 y sep-25
Tordillo	Restitución	jul-25 y ag-25
Río Negro	Restitución	oct-25
Tinajas	Restitución	dic-25
Vertiente 2	Restitución	dic-25
El Colorado	Restitución	feb-26
Pastos Largos	Restitución	Fase 1: abr-26 y may-26 / Fase 2: en proceso
Cabecera sur Río La Ola	No aplica	N/A
Salar Piedra Parada	No aplica	N/A
Salar La Laguna	No aplica	N/A
Quebrada Asiento	No aplica	N/A
Salar de Pedernales	No aplica	N/A
Quebrada Leoncito	No aplica	N/A

N/A= No Aplica

Fuente: Elaboración Propia (2026) con información recopilada con el equipo de Codelco Salvador.

Como se mencionó anteriormente, las actividades de restitución de agua pueden modificar de manera significativa la condición basal de la vegetación en los sectores intervenidos, ya que el agua constituye el principal factor limitante en los sistemas altoandinos. Cuando se restablece el agua, es esperable que cambien la cobertura, la composición y la estructura de la vegetación, lo que implica que el estado actual puede ser diferente del registrado antes de la intervención.

De acuerdo al criterio experto de los especialistas de SMI-Chile, se decidió modificar la ubicación original de los transectos en consideración a tres criterios: i) mejorar la representación de la condición ecológica actual; ii) mejorar la representación de las unidades homogéneas de vegetación presentes en cada área; iii) asegurar la evidencia de respuesta de la vegetación en los siguientes reportes respecto de las acciones de restitución hídrica. Al respecto, la medida de restitución hídrica (RC-01) al momento de reubicación de puntos de muestreo (noviembre 2025) se habrían aplicado en Ciénaga, Tordillo y Río Negro.

Este enfoque permitió que la caracterización del monitoreo de la Campaña Primavera 2025 refleje de manera fiel el estado ecológico actual, además de evaluar y reportar correctamente las trayectorias de cambio asociadas a la medida de reparación. Vale destacar que, este rediseño en el proceso de monitoreo se contempla bajo el concepto de monitoreo adaptativo.

El concepto de monitoreo fue adoptado por tratados y organismos internacionales como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), respectivamente. Desde la perspectiva del CDB (ONU, 1992), el monitoreo se concibe como un proceso sistemático y cíclico de seguimiento de los componentes de la biodiversidad y los procesos que los afectan (Art.7), cuyos resultados se utilizan de manera activa y continua, para evaluar y ajustar las estrategias, planes y medidas de manejo y conservación (Art. 8). En sintonía con este principio, el IPCC lo define como un proceso iterativo y sistemático de seguimiento, tanto de los componentes ambientales, como también, de los efectos del cambio climático sobre ellos, cuyos resultados alimentan un ciclo continuo de investigación, evaluación y aprendizaje (Leiter, 2022).

En tanto, el monitoreo adaptativo propuesto por Lindenmayer y Likens (2009), permite que los programas de monitoreo evolucionen de forma iterativa a medida que surge nueva información, cambian las preguntas de investigación, cambian las situaciones o condiciones, o al desarrollo de nuevos protocolos, pero esto no debe distorsionar ni comprometer la integridad del registro de datos. Vale destacar que este concepto surge en sintonía con el concepto de manejo adaptativo, el que aborda cambios en las medidas de manejo establecidas en función de los resultados de los monitoreos, por lo que, si existen cambios en el manejo, se deben considerar cambios en el monitoreo también. En efecto, el concepto de manejo adaptativo ha sido aplicado en proyectos obteniéndose exitosos resultados (Lindenmayer et al., 2011). En consecuencia, la incorporación de este enfoque en el Proyecto permite una respuesta dinámica y flexible ante la incertidumbre, la evolución de las condiciones climáticas y la efectividad de las medidas implementadas, asegurando que la gestión pueda optimizarse incluso en fases posteriores.

Cabe destacar que el monitoreo de la medida de restitución de caudales será complementado mediante el análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés), el que mide la vigorosidad de la vegetación, es decir, la vegetación activa de los SVAHT, Asimismo, el Índice de Agua de Diferencia Normalizado (NDWI, por sus siglas en inglés) permite identificar masas de agua y áreas saturadas de humedad. Estos índices serán calculados mediante las imágenes espectrales satelitales del sensor SPOT, las que se adquieren por SMI en fechas coordinadas con las campañas. El cálculo de estos índices permitirá definir la superficie del humedal

en cada campaña, cuya iteración revelará los cambios en la extensión del humedal, tanto en términos de cobertura vegetal como del espejo de agua.

3.2 Estaciones de muestreo en Avenimiento

En los Términos de Referencia de Codelco, que están basados en el documento técnico “Diseño plan de seguimiento multiescalado” elaborado por consultora CEA en 2020, se propone una metodología conjunta para establecer la ubicación y definición de puntos de los distintos componentes a monitorear en las zonas activas de los SVAHT. El número de estaciones de muestreo (Tabla 2) se calculó en función de la representatividad espacial de cada sector, siguiendo lo estipulado en las guías respectivas de la normativa ambiental vigente en Chile. Se menciona que este número es referencial, y que, durante la ejecución del proyecto, se deberá establecer la cantidad que sea representativa para cada área a monitorear, mostrando su variabilidad, identificando singularidades y zonas de transición.

Tabla 2. Proyección del número de estaciones por componente para cada área a monitorear en Avenimiento

Sector	N° de Estaciones de Monitoreo Vegetación		N° de Estaciones de Monitoreo Fauna	
	Dentro de los polígonos SVAHT	Dentro de las áreas buffer	Dentro de los polígonos SVAHT	Dentro de las áreas buffer
Salar de Pedernales	16	3	10	3
Salar La Laguna	4	3	3	3
Salar Piedra Parada	6	3	4	3
Ciénaga	6	3	6	3
Pastos Largos	6	3	6	3
Asiento	6	3	4	3
Río Negro	6	3	6	3
Tinajas	6	3	6	3
Tordillo	6	3	5	3
Vertiente 2	6	3	6	3
Cabecera sur Río La Ola	6	3	6	3
Colorado	6	3	6	3
Leoncito	6	3	6	3
Total	86	39	74	39

Fuente: CEA (2020); CODELCO Salvador, 2022.

Si bien, en los TdR antes señalados (CODELCO Salvador, 2022) fue definido un número determinado de estaciones de muestreo, se considera que existe una diferencia conceptual respecto al significado del término “estación de muestreo” entre los componentes de Flora y Vegetación y Fauna Silvestre. Desde este punto de vista, asumir que en todos los casos las estaciones de muestreo de ambos componentes representarían la misma extensión o unidad espacial, puede llevar a errores en su interpretación. Esto, principalmente debido a que responden a fundamentos metodológicos distintos, y, en consecuencia, la comparación directa del número de

estaciones de muestreo entre ambos componentes en términos de proyección espacial podría resultar técnicamente imprecisa.

En el caso de las estaciones de muestreo de fauna, estas corresponden a puntos o unidades de detección asociados a organismos móviles, cuya área efectiva de muestreo es variable, y depende de diversos factores como la detectabilidad, el comportamiento de los diferentes grupos taxonómicos y las características del método empleado (SAG, 2022) (métodos basados en el uso de cámaras trampa, trampas Sherman, transectos y censos, entre otros). En consecuencia, la coordenada registrada representa el sitio de aplicación del método y no necesariamente, el área de uso efectivo de un taxón objetivo. En contraste, las estaciones de monitoreo de flora y vegetación constituyen unidades espaciales físicamente delimitadas (parcelas, cuadrantes o transectos con ancho definido), dentro de los cuales los individuos evaluados se encuentran presentes de forma explícita, permitiendo estimaciones directas de densidad, cobertura y composición (SEA, 2024).

Debido a lo anterior, ambas unidades de muestreo operan bajo escalas ecológicas y espaciales diferentes, razón por la cual el número de estaciones, su superficie o su distribución geográfica, no son métricas directamente equiparables entre los componentes mencionados, debiendo interpretarse conforme a sus respectivos diseños metodológicos. Así, bajo el criterio experto de SMI y LEVS (Laboratorio de Ecología de Vida Silvestre de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile), y para atender el requerimiento del número de estaciones en las bases técnicas del Avenimiento, se ha empleado un concepto de “estación de muestreo” que considera las diferencias metodológicas de cada grupo taxonómico y su esfuerzo de muestreo, reforzando el argumento inicial de la representatividad espacial de cada sector.

De acuerdo con lo anterior, a continuación, se presentan los métodos a aplicar en las campañas de caracterización del Avenimiento según grupos taxonómicos, basados en los TdR y los propuestos por SMI.

4. Marco Metodológico

4.1 Flora y Vegetación

En orden cronológico, el primer levantamiento de terreno que caracterizó la flora y vegetación del área de estudio de los 13 SVAHT situados en la precordillera y cordillera de la región de Atacama, fue en el marco del proyecto “*Medida RC-02 Plan de Puesta en Valor*”, realizado durante el año 2022 por SMI. En este contexto, para caracterizar la vegetación se aplicó la metodología de la Carta de Ocupación de Tierras (COT) de Etienne y Prado (1982), definiéndose así las Unidades Homogéneas de la Vegetación (UHV). Mientras que, para caracterizar la flora del área, se levantaron parcelas florísticas mediante el uso del método de Braun Blanquet. Además, se complementó con el análisis de riqueza, formas de vida, origen y categoría de conservación de las especies.

Luego, durante el año 2023, la consultora Econativa realizó una nueva caracterización de flora y vegetación aplicando el método Point Quadrat en función del proyecto “*Plan de Seguimiento Multiescalado de la dinámica ecosistémica en el Salar de Pedernales y Sistemas Aledaños*”, el que se enfocó exclusivamente en la vegetación azonal. Este método consistió en la evaluación de contactos, espaciados cada 10 cm dentro de un transecto de 25 m de largo, utilizando una varilla fina o alambre, con un total de 84 transectos dispuestos dentro de los 13 SVAHT. En el marco de este método, se obtuvo la riqueza florística, las formas de vida, el origen, la cobertura por especie,

el estado de la vegetación y el estado fenológico de las especies. Junto con esto, se identificaron las especies que presentaban una categoría de conservación. Este levantamiento de información consiste en la principal referencia de un momento anterior al inicio del monitoreo levantado por SMI desde el año 2025, donde la comparación es factible dado a la similitud de los métodos empleados. De esta forma, los levantamientos de flora y vegetación realizados durante los años 2022 y 2023, corresponden a referentes fundamentales para el actual Proyecto. Vale destacar que, el actual proyecto en ejecución por SMI, incluye todos los métodos ya realizados en los proyectos mencionados, donde estos proyectos incluyeron criterios y metodologías validados, y en efecto, establecidas en la Guía Metodológica para la Descripción de Ecosistemas Terrestres SEIA (SEA, 2024). En resumen, las diferentes metodologías empleadas por el actual Proyecto son:

Tabla 3. Metodologías de muestreo de flora y vegetación

Metodología	Objetivo	Descripción
Carta de Ocupación de Tierras (COT)	Permite estimar la proporción de terreno que es ocupada por formaciones vegetacionales definiendo unidades homogéneas de vegetación (UHV).	Se caracterizan visualmente atributos de la vegetación tales como tipos biológicos, cobertura, estratificación, dominancia y artificialización.
Intercepto de puntos (Point Quadrat)	Describir la composición, riqueza, frecuencia y distribución de especies.	Consiste en la evaluación de contactos de flora, espaciados regularmente cada 0,1 m, dentro de un transecto de 25 m de largo. La proporción del largo total del transecto interceptada por una especie da una medida de la cobertura de esa especie, de la misma manera que indica la proporción de suelo desnudo, pedregosidad o de otros elementos superficiales.
Parcelas florísticas (Braun-Blanquet)	Se obtiene información de atributos tales como la composición, riqueza y abundancia, mediante la identificación de especies y la descripción de la cobertura por cada especie.	Considera el levantamiento en terreno de parcelas de muestreo rectangulares de 500 m ² , de 20 m de ancho y 25 de largo. En ellas se registra toda especie vegetal vascular que se encuentre dentro de la parcela, junto con su cobertura estimada.

Fuente: SEA (2024).

Ahora bien, en el marco del manejo y monitoreo adaptativo, durante la Campaña de Primavera 2025 del presente Proyecto, se ejecutaron algunos ajustes respecto de la información levantada con anterioridad en distintos proyectos. Algunos de estos ajustes consisten en:

- Se inició un proceso de actualización del levantamiento base de COT realizado para el proyecto Medida RC-02 Plan de Puesta en Valor, durante el año 2022, donde la redefinición de las UHV implica que el muestreo actual está mejor alineado con la situación ecológica actual de los sitios. Los especialistas buscaron reducir sesgos espaciales del diseño anterior para asegurar la cobertura de todas las UHV actualizadas, por lo que estos ajustes pueden generar mejoras significativas en la calidad del muestreo.
- Se reubicaron los transectos elaborados con la metodología de Point Quadrat en base a los siguientes criterios: i) mejorar la representación de la condición ecológica actual; ii) mejorar la representación de las unidades homogéneas de vegetación presentes en cada área; iii) asegurar la evidencia de respuesta de la vegetación en los siguientes reportes respecto de las acciones de restitución hídrica. Esto, debido a que el proyecto de monitoreo multiescalado de los SVAHT debe responder a un sistema dinámico que se caracteriza por

una alta heterogeneidad espacial y una lenta dinámica ecosistémica, cualquier cambio hidrológico puede ser relevante en estos humedales altoandinos (Squeo, 2006). En consideración a estas particularidades, la nueva propuesta de ubicación de los puntos estaría capturando estas nuevas condiciones, luego del cambio hidrológico que causó la medida de restitución hídrica. Por consiguiente, en este nuevo escenario se levantaron 88 transectos en base al método Point Quadrat, en función del cumplimiento de los términos de referencia.

Cabe señalar que, si bien, los cambios que se pueden presentar en la vegetación son graduales, un diseño de muestreo mejorado aumenta la sensibilidad del monitoreo, reduce el error, y también, fortalece la validez estadística de los resultados. En este contexto, la actualización permite reducir el sesgo de considerar información de base con algún grado de desactualización.

En esta línea, Legendre y Legendre (2012) señalan que la comparabilidad entre campañas no requiere identidad exacta de puntos, sino consistencia en:

- Unidad de análisis (UHV)
- Esfuerzo de muestreo
- Cobertura espacial

Por lo tanto, el rediseño de la red de monitoreo implementado en la Campaña Primavera 2025 constituye una mejora metodológica sustantiva, al basarse en una actualización de las unidades homogéneas de vegetación y en principios de representatividad ecológica, optimización estadística y monitoreo adaptativo. Además, la comparabilidad temporal se mantiene mediante enfoques analíticos robustos basados en atributos cualitativos de unidades ecológicas, asegurando la validez de las inferencias y permitiendo su integración con el modelo ecosistémico y de respuesta de la vegetación a desarrollar en EST-01.

3.3 Fauna terrestre

Tal como ocurre para el componente Flora y Vegetación, para el componente Fauna Terrestre existen dos proyectos que levantaron información con anterioridad al presente Proyecto. Estos proyectos son “Medida RC-02 Plan de Puesta en Valor” ejecutado durante el año 2022 por SMI, y “Plan de Seguimiento Multiescalado de la dinámica ecosistémica en el Salar de Pedernales y Sistemas Aledaños” ejecutado por la consultora Econativa durante el año 2023. Estos antecedentes conforman importantes referentes para el levantamiento de información de fauna terrestre en curso, ya que, si bien estos proyectos presentaron algunas diferencias metodológicas en la caracterización de los grupos taxonómicos objeto de estudio, respecto a las metodologías de muestreo empleadas para el Estudio EST-02, los métodos utilizados por los dos proyectos mencionados han sido validados y recomendados tanto por el Servicio de Evaluación ambiental (2024), como por el Servicio Agrícola Ganadero (2016, 2022).

Por su parte, los puntos de muestreo de fauna terrestre del actual proyecto “Medidas vegetacionales EST-01 y EST-02” se definieron en base a dos criterios: i) La metodología aplicada, y; ii) la ubicación en la que se aplicó el método. En particular, los métodos responden a un grupo taxonómico determinado en consideración a su ámbito de hogar, conducta, nivel de movilidad y especialización de las especies a hábitats particulares. Así, la ubicación atiende a la variabilidad y representatividad de ambientes de fauna, además de la factibilidad de acceso a las ubicaciones. De esta forma, al aplicar estos criterios *in situ* en el área de estudio, se generaron distintas combinatorias que dieron origen a la cantidad de puntos de muestreo que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 4. Metodologías y número de puntos de muestreo de fauna según grupo taxonómico

Grupo taxonómico	Metodología	Esfuerzo de muestreo	Número de puntos de muestreo realizados
Anfibios	Transectos y búsqueda activa	Prospección pedestre en toda la superficie de las áreas húmedas de quebradas y humedales	18 (sin embargo, se realizó una prospección pedestre en todas las áreas que presentan humedad)
Aves	Conteo de aves	4 puntos de conteo por punto de referencia (72 puntos de conteo totales). En cada punto de conteo se cuentan las aves dentro y fuera de un área de radio de 30 m, por 3 veces, 3 minutos continuos. Los cuatro puntos de conteo corresponden a un total de 11.310 m ² por punto de referencia, es decir, una superficie total muestreada de 203.575 m ² en los 18 puntos de muestreo	18
Aves	Censos en espejos de agua (Salar Laguna, Piedra Parada, Pedernales)	Observación de la superficie de los espejos de agua.	3
Macromamíferos	Observaciones directas e indirectas (huellas, heces, revolcaderos) durante la jornada de trabajo	Recorrido pedestre de la jornada laboral (respaldo con tracks)	18 (sin embargo, se extendió a toda el área de estudio en todos los sectores)
Macromamíferos	Cámaras trampa	Campo de visión de la cámara, hasta 30 m aproximadamente	18
Micromamíferos	Bat Detector	Alcance del Bat detector (30 m radio aproximadamente)	18
Micromamíferos	Transectos lineales con Trampas Sherman	20 trampas dispuestas en 2 transectos lineales de 60 m	18
Reptiles	Transectos y búsqueda activa	1.600 m ² (2 x 200 m x 4m)	18
Total Estaciones de Muestreo			129

Así, se consideran distintos puntos de muestreo aun cuando distintas metodologías coincidan en el punto central de la estación de muestreo, ya que las metodologías presentan distintos objetivos, que apuntan a un grupo taxonómico particular. Vale destacar que, el punto central de las estaciones de muestreo corresponde a un punto de referencia, donde cada metodología presenta una superficie muestreada distinta, y que, en varios casos no se ubica sobre el punto central. Por ejemplo, las trampas Sherman utilizadas para capturar roedores inician su transecto luego de los 200 metros desde el punto central. En consecuencia, cada metodología presenta distintos resultados y corresponde que se consideren como puntos de muestreo distintos, aunque se registre el mismo punto de referencia central. La proyección espacial de un punto central o de referencia de las estaciones de muestreo de SMI se presenta en la Figura 1.

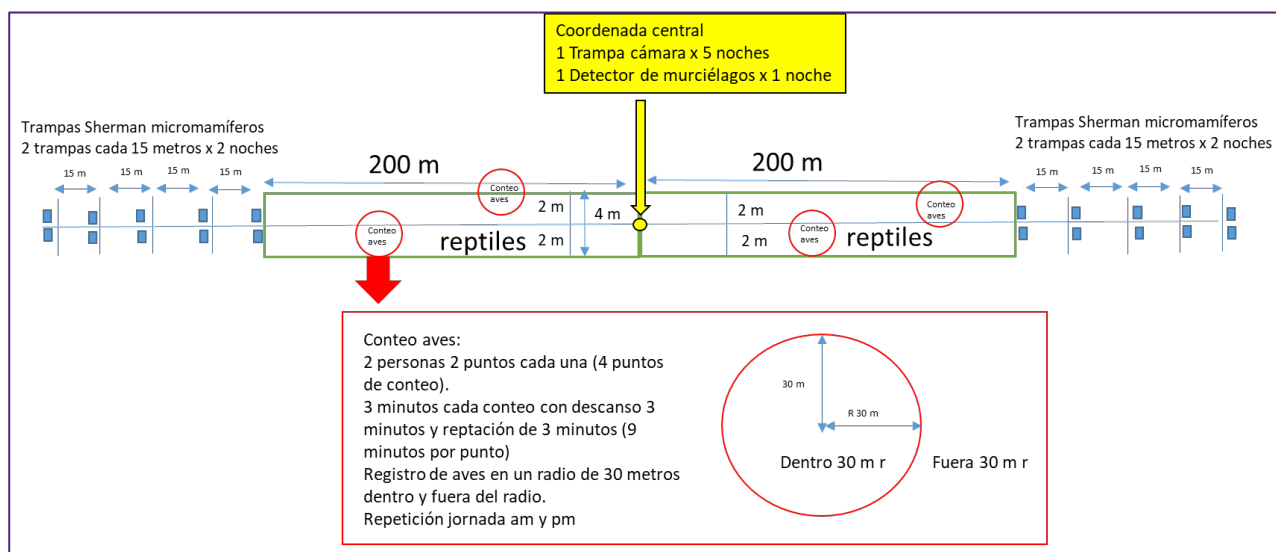


Figura 1. Esquema explicativo de los puntos de muestreo referenciales empleados por SMI para fauna terrestre

5. Análisis de la diferencia

5.1 Flora y vegetación

Teniendo en consideración lo anterior, se mantendrán los transectos levantados por SMI durante la Campaña de Primavera 2025 para el monitoreo en las próximas campañas, estableciéndolos como unidades permanentes. Esto se sustenta en que la definición y ubicación de los transectos fue realizada en terreno bajo el criterio técnico experto del especialista responsable, priorizando la selección de sectores representativos de la condición estructural y florística de cada sistema vegetacional, de acuerdo con la heterogeneidad ambiental observada.

A continuación, en la Figura 2, se realiza una comparativa visual de la proyección espacial de los transectos realizados por Econativa en el 2023 (color negro) y los transectos realizados por SMI el 2025 (color rojo). Este sector corresponde a Quebrada Ciénaga, donde se realizó la restitución de caudal meses antes de la Campaña de Primavera 2025 realizada por SMI.

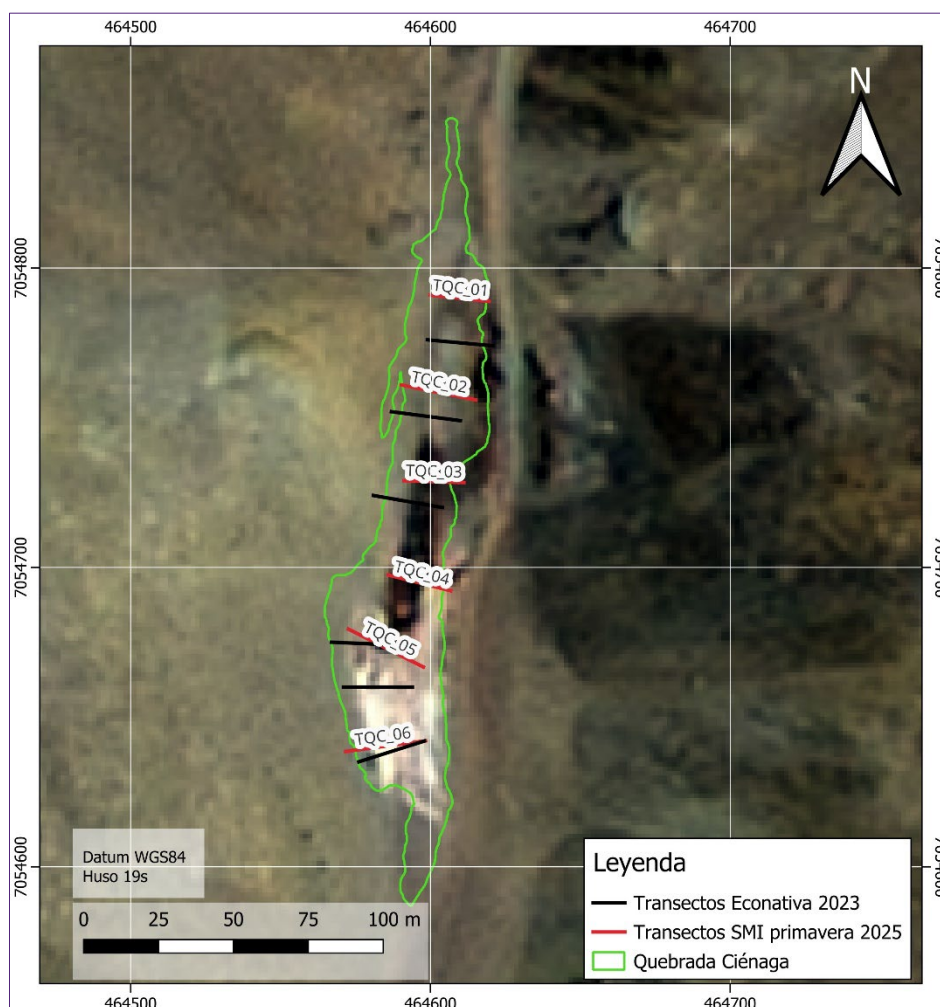


Figura 2. Comparativa de la ubicación espacial de transectos de flora en quebrada Ciénaga

De acuerdo con lo expuesto en la Figura 2, se observa que los transectos del 2023 podrían estar sobrerrepresentando sectores desprovistos de vegetación, en desmedro del parche de vegetación que se ubica al centro del polígono del área a monitorear. El ajuste propuesto por SMI incluye una mejor representación de la UHV presente, al considerar un transecto en la zona de transición del humedal.

Por lo tanto, mantener este diseño de muestreo permite asegurar continuidad espacial y comparabilidad temporal, reduciendo la incertidumbre asociada a cambios en la localización de unidades muestrales, garantizando así que los resultados futuros reflejen efectivamente variaciones ecosistémicas reales, y no diferencias derivadas de modificaciones metodológicas. Asimismo, se resguarda la coherencia del levantamiento con los objetivos de seguimiento comprometidos en el Avenimiento y, en específico, con los objetos de estudio de la Medida EST-01, y con la necesidad de contar con series de monitoreo consistentes a lo largo del tiempo para la Medida EST-02. De todos modos, es relevante mencionar que, los resultados del Proyecto podrán ser comparables con los resultados obtenidos de la línea de base levantada durante el año 2023 por Econativa, debido a que se trata de la misma metodología empleada.

Además, es importante mencionar que el rediseño realizado por SMI se ajusta en coherencia con la normativa ambiental chilena. El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y la fiscalización de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), exige que los monitoreos sean representativos del estado de los componentes ambientales afectados, y consistentes en el tiempo, para asegurar la comparabilidad de los datos. Un diseño de monitoreo no actualizado corre el riesgo de perder representatividad si las condiciones ecológicas o las presiones ambientales evolucionan, generando datos que no reflejan la realidad, ni permiten una evaluación precisa del cumplimiento de la medida. Por el contrario, un diseño más representativo y actualizado, al incorporar nueva información y ajustarse a la dinámica del sistema, garantiza que las variables medidas y los sitios de muestreo sean pertinentes y reflejen fielmente el estado ecológico actual.

Por otra parte, es preciso mencionar que el levantamiento de las estaciones de muestreo de flora y vegetación realizado durante la campaña de primavera 2025 por SMI, se enfocó principalmente al cumplimiento de los transectos con la metodología Point Quadrat ubicados dentro de los polígonos delimitados como SVAHT. Es decir, se proyectó el levantamiento de 86 transectos de flora mediante el método de intercepto de puntos. Esto, en función del tiempo y esfuerzo de muestreo planificado para esta campaña. Sin embargo, además del criterio técnico expuesto, la ubicación final de los transectos levantados durante la campaña de primavera 2025 fue afectada por dos aspectos de georreferenciación. El primer aspecto consiste en la falta de precisión de la delimitación de los polígonos de los SVAHT -expuesto en la Nota Técnica N°1- ya que, los especialistas al identificar el límite del humedal *in situ*, ubicaron los transectos considerando este borde para capturar la gradiente de humedad y vegetación, mientras que, de acuerdo con la delimitación que considera el Avenimiento, esas áreas correspondían a áreas buffer. Esta situación se presentó principalmente en los salares de Pedernales y Piedra Parada. El segundo aspecto corresponde a que la planificación del diseño muestral realizada por SMI consideró una versión distinta y no final de los polígonos de los SVAHT y sus áreas buffer que contempla el Avenimiento, donde esta versión presentaba diferencias considerables con la versión final. Por ejemplo, el polígono del SVAHT ubicado en quebrada Leoncito incluía más de 3,5 km del río Leoncito, y el polígono del SVAHT localizado en quebrada Asiento incluía un polígono central que unía los dos polígonos considerados como SVAHT. En consecuencia, se levantaron 79 transectos dentro de los polígonos delimitados como SVAHT en el contexto del Avenimiento, 5 transectos en áreas buffer y 4 transectos en áreas fuera de los buffers de los SVAHT, cuyo detalle se presenta en la Tabla 5. Debido a que estos resultados no se ajustan totalmente a los números de transectos establecidos por la Autoridad, se proyecta subsanar esta situación en los levantamientos de las próximas campañas, aumentándose el número de transectos ejecutados a por lo menos el mínimo exigido.

Tabla 5. Número de Estaciones de Monitoreo (EM) de vegetación levantados por SMI en la Campaña de Primavera 2025 según sector

Sectores	Dentro de los polígonos SVAHT	Dentro Buffer de 100 m de los SVAHT	Fuera Buffer 100 m	Total esfuerzo de muestreo
Ciénaga	6	0	0	6
Tinajas	6	0	0	6
Tordillo	6	0	0	6
Río Negro	6	0	0	6
Vertiente 2	6	0	0	6
Cabecera sur Río La Ola	6	0	0	6

Sectores	Dentro de los polígonos SVAHT	Dentro Buffer de 100 m de los SVAHT	Fuera Buffer 100 m	Total esfuerzo de muestreo
Pastos Largos	6	0	0	6
Colorado	6	0	0	6
Asiento	4	2	0	6
Leoncito	3	0	4	7
Salar de Pedernales	15	2	0	17
Salar Piedra Parada	5	1	0	6
Salar La Laguna	4	0	0	4
Total	79	5	4	88

En consecuencia, se considera fundamental resguardar el diseño implementado por SMI durante la campaña de primavera 2025, dado que la ubicación de los transectos fue definida en terreno bajo criterio técnico especializado, priorizando unidades muestrales representativas de la condición estructural y florística del sistema, considerando la heterogeneidad ambiental de los salares y las quebradas de agua dulce. Asimismo, el diseño adoptado se encuentra alineado con la planificación de parcelas ecofisiológicas definidas por Ecobiosis (UDEC), que es parte de las variables del modelo de la EST-01, lo que permitirá integrar de manera coherente la información ecofisiológica y florística, fortaleciendo la interpretación funcional del ecosistema y asegurando consistencia metodológica para el desarrollo de los modelos comprometidos en el marco del proyecto. No obstante, en las siguientes campañas se completará la cantidad de puntos comprometidos dentro de los polígonos delimitados como SVAHT en el contexto del Avenimiento, así como los puntos buffer faltantes.

De igual manera, en las siguientes campañas se deberá completar la cantidad de puntos comprometidos para las áreas buffer, para lo que se estima conveniente realizar una planificación preliminar de puntos tentativos de muestreo, mediante la observación y análisis de las imágenes satelitales actuales consideradas en el Estudio EST-02, además del índice NDVI calculado en base a estas imágenes, el que resalta la vigorosidad de la vegetación. Esta definición preliminar deberá posteriormente ser validada o corregida *in situ* por los especialistas.

5.2 Fauna

Con respecto a las diferencias que pudieran existir entre los levantamientos de fauna terrestre del proyecto “*Plan de Seguimiento Multiescalado de la dinámica ecosistémica en el Salar de Pedernales y Sistemas Aledaños*” realizado por Econativa en el año 2023, y la Campaña de Primavera 2025, implementada por SMI, es importante destacar algunas diferencias metodológicas.

En particular, el esfuerzo de muestreo realizado por Econativa implementó transectos mixtos de 25 metros de largo por estación de muestreo, los que variaron el ancho según grupo taxonómico: para reptiles 20 metros de ancho (10 m para cada lado), para aves y macromamíferos 50 m de ancho (25 m a cada lado del transecto). Además, se instalaron cámaras trampa para macromamíferos, entre 20 y 25 trampas Sherman para roedores, y transectos para anfibios sin un ancho declarado.

Por su parte, SMI implementó distintas metodologías, en función de las diferencias entre grupos taxonómicos de fauna. Por ejemplo, para reptiles se realizaron 2 transectos de 200 metros de largo

por 4 m de ancho (2 m para cada lado) en cada estación de muestreo. En el caso de los anfibios se revisó la totalidad de humedales y quebradas que presentaban las condiciones idóneas para su hábitat. Asimismo, para macromamíferos se revisó la totalidad del área de estudios mediante prospección pedestre registrándose los avistamientos directos como también los signos indirectos de presencia, como heces, revolcaderos, defecaderos y restos óseos; además de la instalación de cámaras trampa. En cuanto a los micromamíferos se instalaron 20 trampas Sherman distribuidos en dos transectos por punto de referencia, y se agregó la metodología de Bat Detector, mediante lo cual se registraron las vocalizaciones de micromamíferos voladores. Es decir, se realizaron 3 puntos de muestreo por estación para micromamíferos. Adicionalmente se realizaron 4 puntos de conteo de aves de un radio de 30 m, por punto de referencia, y se realizó un censo de aves en los espejos de agua de los salares Pedernales, La Laguna y Piedra Parada, además del río La Ola.

Por lo tanto, el esfuerzo de muestreo realizado por SMI por estación de muestreo (EM), no es equivalente a solo un punto de Econativa, ya que la metodología empleada por SMI presenta una superficie muestreada mucho mayor a la estudiada por Econativa, lo que se traduce en una mayor robustez en los métodos para caracterizar el Área de Estudio. Además, se destaca que se incorporó el levantamiento de un grupo no considerado por Econativa, el que corresponde a los quirópteros (murciélagos).

Por otra parte, la cantidad de puntos de muestro establecido por sector (dentro del SVAHT) por la Autoridad en el Avenimiento que da origen a las medidas en ejercicio, fue cumplida por SMI en la Campaña de Primavera 2025 en la mayoría de los sectores, ya que se aumentó el número comprometido de puntos de muestreo. Cabe indicar que, en los sectores de Tinajas, Tordillos y Colorado, no fueron levantados todos los puntos planificados debido a un problema mecánico que se presentó con uno de los vehículos, interrumpiéndose con ello el levantamiento de información planificado. Por su parte, en las quebradas Tinajas y Tordillos solo se aplicó la metodología de cámaras trampa para capturar presencia de macromamíferos, mientras que en la quebrada El Colorado se aplicó la metodología de cámaras trampa y los 4 puntos de conteo de aves. Por otro lado, en las quebradas Pastos Largos y Asiento, no se pudo aplicar la metodología para anfibios, por encontrarse estos sitios sin agua al momento de la campaña.

Vale destacar que, la ubicación de algunos puntos de muestreo de fauna levantados durante la Campaña de Primavera 2025, no se ajustó a los polígonos delimitados como SVAHT en el contexto del Avenimiento, pues el método buscó estandarizar la metodología de manera de que fuera replicable en todos los sectores, lo que significó que se mantuvieran las mismas distancias entre puntos de muestreo y medidas de transectos respectivas, ya que de esta forma se vuelve un método sistémico y se pueden comparar los resultados entre sectores con mayor precisión. Además, se debe considerar que la fauna, a diferencia de la vegetación, presenta movimiento constante, por lo que la ubicación de los puntos de muestreo es solo referencial en el área de estudio. Por lo tanto, en estricto rigor, algunos puntos de muestreo de fauna levantados en la campaña de primavera 2025 se ubicaron en áreas buffer e incluso fuera del área buffer. Esta situación se presentó en sectores en los que el largo principal del área fue menor al largo del eje principal de distribución de los puntos de muestreo, el que presentó 520 m, como se presenta en la Figura 1.

En tanto, la planificación para la próxima Campaña de Otoño 2026 considera levantar un total de 197 puntos de muestreo en el contexto de los polígonos establecidos como SVAHT, ante la obligación de 74 puntos de muestreo establecido en el Avenimiento (Tabla 6). Respecto a esto último, si bien, Econativa levantó la misma cantidad de puntos que los que estableció el Avenimiento, la superficie de muestreo fue mucho menor a la muestreada por SMI, lo que, a modo de ejemplo, se expone en detalle en la Tabla 7 para la Quebrada Ciénaga según grupo taxonómico.

Además, la planificación de la próxima campaña incluirá el levantamiento de los puntos buffer, lo que duplicará la cantidad de puntos levantadas con la distribución de métodos ya establecida (Figura 1.), es decir, se agregarán 197 puntos de muestro en las áreas Buffer de los polígonos del SVAHT, ante la obligación del muestreo de 39 puntos de fauna establecida por la Autoridad (Tabla 2).

Tabla 6. Número de puntos de muestreo de fauna dentro de los SVAHT según sector

Sectores	Estaciones comprometidos Avenimiento	Estaciones Econativa 2024	Puntos de Muestreo SMI Primavera 2025	Propuesta Puntos de Muestreo Otoño 2026
Ciénaga	6	6	12	12
Tinajas	6	6	1	12
Tordillo	5	5	1	12
Río Negro	6	6	12	12
Vertiente 2	6	6	12	12
Cabecera sur Río La Ola	6	6	25	25
Pastos Largos	6	6	22	24
Colorado	6	6	5	12
Asiento	4	4	11	12
Leoncito	6	6	24	24
Salar de Pedernales	10	10	38	38
Salar Piedra Parada	4	4	13	13
Salar La Laguna	3	3	13	13
Total	74	74	189	197

Tabla 7. Superficie muestreada para fauna terrestre en la Quebrada Ciénaga

Grupo taxonómico	Superficie muestreada (m ²) por Econativa 2023	Superficie muestreada (m ²) por SMI 2025
Anfibios	3.000	6.047
Aves	3.750	11.310 (se extiende hacia área buffer)
Macromamíferos	3.750	6.047
Micromamíferos	20 a 25 trampas Sherman (no se declara con exactitud)*	20 trampas Sherman*
Micromamíferos voladores	0	2.828
Reptiles	3.000	1.600

*En el caso de la metodología de trampas Sherman dispuestas en transectos lineales para capturar micromamíferos, el esfuerzo de muestreo no se cuantifica según la superficie muestreada, sino que se cuantifica según el número de trampas empleadas.

6. Conclusiones

Flora y Vegetación:

- El rediseño de la red de monitoreo del componente Flora y Vegetación en la Campaña de Primavera 2025 constituye una mejora metodológica sustantiva respecto del levantamiento 2023, al basarse en una actualización de las unidades homogéneas de vegetación (UHV) en relación a su representatividad ecológica actual y considerando un marco de monitoreo adaptativo. Notar que los resultados que se obtendrán serán comparables con la línea base generada por el estudio de Econativa 2023.
- Desde una perspectiva ecológica y estadística, la representatividad de las UHV constituye el elemento central y principal criterio de validez del diseño muestral. Esto es la base de la robustez de los modelos que se aplicarán bajo el marco de la Medida EST-01, en la cual se debe diseñar un modelo conceptual ecosistémico y un modelo de respuesta de la vegetación.
- En ecosistemas altoandinos, caracterizados por alta heterogeneidad espacial y lenta dinámica ecosistémica, la precisión en la distribución de puntos de muestreo resulta crítica para la detección de cambios. En este contexto, la mantención estricta de la ubicación de los transectos diseñados en el año 2020 por el CEA, es potencialmente sesgada bajo un escenario de incertidumbre asociado al cambio climático y otras amenazas.
- El rediseño está en coherencia con la normativa ambiental chilena, donde se exige representatividad y consistencia; un diseño más representativo y actualizado es más consistente con la normativa que uno estático.
- Finalmente, durante la Campaña de primavera 2025 se ejecutaron los 79 puntos de muestreo dentro de los polígonos delimitados como SVAHT en el contexto del Avenimiento, además de 4 puntos de muestreo ubicados en áreas buffer y 5 puntos fuera de las áreas buffer de los polígonos de los SVAHT. En consecuencia, en las siguientes campañas de terreno se deberá completar el número establecido de puntos de muestreo dentro de los polígonos de los SVAHT, así como para las respectivas áreas buffer.

Fauna terrestre:

- Las metodologías implementadas por SMI en la Campaña de Primavera 2025, presentan un enfoque específico para cada grupo taxonómico, el que agrega el grupo de los quirópteros anteriormente no muestreado.
- La superficie muestreada por SMI para fauna terrestre es en la mayoría de los grupos taxonómicos mucho mayor a la superficie levantada por los proyectos precedentes, ya que estos incluyen toda el Área de Estudio para macromamíferos, y la totalidad de humedales para anfibios y aves acuáticas. Esto permite presentar una caracterización mucho más robusta. Además de ser un método sistematizado que permite una comparación entre sectores.
- Si bien la Campaña de Primavera 2025 realizado por SMI para el componente fauna presentó algunos problemas logísticos que influyó en el número de puntos de muestreo levantados, el número total de puntos de muestreo levantados en dicha campaña, es mucho

mayor al mínimo exigido en el contexto del Avenimiento entre Codelco y el Consejo de Defensa del Estado.

7. Referencias

CEA, Centro de Ecología Aplicada (2020). Diseño plan de seguimiento multiescalado. Apéndice de Términos de Referencia Medida EST-02: Estudio de Seguimiento de Dinámicas Ecosistémicas de SVAHT de Codelco Salvador.

CODELCO Salvador (2022). Términos de Referencia Medida EST-02: Estudio de Seguimiento de Dinámicas Ecosistémicas de SVAHT. 43p.

Legendre, P. & Legendre L. (2012). Numerical Ecology. 3ra edición, Volumen 24. <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/417/o/Numerical_Ecology.pdf?1458165083>

Leiter, T. (2022). Adaptation Monitoring, Evaluation, and Learning. Sección 17.5.2 en: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <<https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/publication/adaptation-monitoring-evaluation-and-learning/>>

Lindenmayer, D.B. and Likens, G.E. (2009) Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. Trends Ecol. Evol. 24, 482–486. <<https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.005>>

Lindenmayer, D., Likens, G., Haywood, A., and L. Miezi. (2011). Adaptive monitoring in the real world: proof of concept. <<https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.002>>

ONU, Organización de las Naciones Unidas (1992). Convenio sobre la Diversidad Biológica <<https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>>

SAG, Servicio Agrícola y Ganadero (2016). Guía de evaluación ambiental: Componente fauna silvestre. División de Protección de los Recursos Naturales Renovables. 28 pp. <<https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/39215b55-5745-4794-b92d-b471aaadf863/content>>

SAG, Servicio Agrícola y Ganadero. (2022). Documento General Guía De Fauna. <<https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/D-RNN-EIA-PR-001%20Versi%C3%B3n%2003%20-%20Guía%20evaluaci%C3%B3n%20ambiental%20fauna%20silvestre%20Final%2021-11-2022%20%281%29.pdf>>

SEA, Servicio de Evaluación Ambiental (2024). Guía metodológica para la descripción de ecosistemas terrestres. <https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2024/08/23/G_Met_Descripcion%20ecosistemas%20terrestres_2024.pdf>

SMI Chile (2022). Informe de Gestión Anual Medida RC-02, Capítulo 3 Medio Biótico. <https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/docs/20220714/20220714094034/21_s2_dsaval_informe_capitulo_iii_rev01.pdf>

Squeo, F. *et al.* (2006). Bofedales: turberas de alta montaña de los Andes centrales. Revista Chilena de Historia Natural, Volumen 79, n.2, pp. 245-255. <<https://www.scielo.cl/pdf/rchnat/v79n2/art10.pdf>>

Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02

**Nota Técnica N°03 – Ajuste estaciones de muestreo Limnología, Caudal y
Calidad de agua y sedimentos**

Preparado para: Codelco Salvador

DSAEST_NT03_Rev0

Fecha: 25-06-2026



Control del documento

REV	Fecha Aprobación	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
A	01-06-2026	Daniela Gamboa	Jacques Wiertz	Jacques Wiertz
B	03-06-2026	Daniela Gamboa	Mauricio Vera José Manuel Riveros	Daniela Gamboa
C	24-06-2026	Daniela Gamboa	José Manuel Riveros	José Manuel Riveros
0	25-06-2026	Daniela Gamboa		

Contenido

1.	Antecedentes	1
2.	Puntos de muestreo	1
3.	Referencias	4

1. Antecedentes

Los Términos de Referencia (TdR) de la Medidas EST-01 y EST-02 “Medidas Vegetacionales Pedernales” y en el Apéndice 2 “Diseño plan de seguimiento multiescalado” elaborado por Centro de Ecología Aplicada (CEA, 2020), establecen el número de estaciones por componente para cada área a monitorear, además de las coordenadas con la ubicación espacial estimada de los puntos de muestreo. En el caso de los componentes de Limnología y Calidad de agua, se requerían 35 estaciones; para Caudal se solicitaban 14 estaciones. Cabe destacar que, para estos componentes, no se realiza monitoreo en la Quebrada Asiento, estando definido en los TdR mencionados.

2. Puntos de muestreo

Teniendo esto en consideración el diseño muestral de la Campaña Primavera 2025, realizada entre los días 26 de noviembre y 2 de diciembre de 2025, consideró 35 estaciones limnológicas (donde se tomaron muestras tanto para caracterizar las comunidades biológicas acuática como también para determinar las características físico-químicas del agua superficial y sedimentos) y 16 estaciones para la medición de caudal. Este diseño se replicó de forma íntegra en la Campaña Otoño 2026, realizada entre el 14 y 20 de abril de 2026.

En primera instancia, se validó *in situ* el criterio referido en los Términos de Referencia (TdR) de la ubicación estimada de cada punto de monitoreo, y se encontraron ciertas diferencias que requirieron, según el criterio experto de los profesionales en terreno, ajustes en la ubicación de estaciones, para así representar de forma más adecuada la variabilidad espacial de los sistemas acuáticos. En resumen, los ajustes que se realizaron son los siguientes:

1. Optimización de la ubicación de estaciones de monitoreo en sectores del Área de Estudio de forma de poder contar con una profundidad de agua suficiente para realizar la toma de muestras y mediciones de caudal de forma adecuada.
2. En el Salar de Pedernales se consideraron estaciones en dos sectores principales, correspondientes al sector S-O y al sector N-E del sistema. Además, se incorporaron estaciones adicionales de medición de caudal en sistemas de comparación y referencia, así como en quebradas y cursos de agua dulce localizados al sur y sureste del Salar.

La ubicación de las estaciones de muestreo se detalla en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1. Estaciones de muestreo y puntos de aforo considerados en la Campaña Primavera 2025 (Datum: WGS85 19S).

Monitoreo	Sitio	Sector	Este (m)	Norte (m)
Limnología, agua y sedimentos	L1	Salar Pedernales S-O	476110	7090036
Limnología, agua y sedimentos	L2	Salar Pedernales S-O	477211	7088181
Limnología, agua y sedimentos	L3	Salar Pedernales S-O	477388	7088110
Limnología, agua y sedimentos	L4	Salar Pedernales S-O	477081	7087304
Limnología, agua y sedimentos	L5	Salar Pedernales S-O	477203	7087782
Limnología, agua y sedimentos	L6	Salar Pedernales S-O	476793	7091206

Monitoreo	Sitio	Sector	Este (m)	Norte (m)
Limnología, agua y sedimentos	L7	Salar La Laguna	501482	7101490
Limnología, agua y sedimentos	L8	Salar La Laguna	501808	7100800
Limnología, agua y sedimentos	L9	Cabecera Sur Río La Ola	495296	7065420
Limnología, agua y sedimentos	L10	Cabecera Sur Río La Ola	495661	7064569
Limnología, agua y sedimentos	L11	Cabecera Sur Río La Ola	495314	7065301
Limnología, agua y sedimentos	L12	Salar Piedra Parada	520704	7088800
Limnología, agua y sedimentos	L13	Salar Piedra Parada	526349	7088153
Limnología, agua y sedimentos	L14	Salar Piedra Parada	528589	7086025
Limnología, agua y sedimentos	L15	Quebrada Ciénaga	464575	7054667
Limnología, agua y sedimentos	L16	Pastos Largos	478515	7044925
Limnología, agua y sedimentos	L17	Pastos Largos	480097	7044797
Limnología, agua y sedimentos	L18	Pastos Largos	481665	7044654
Limnología, agua y sedimentos	L19	Río Negro	506641	7037112
Limnología, agua y sedimentos	L20	Río Negro	506718	7036976
Limnología, agua y sedimentos	L21	Quebrada Tinajas	473052	7060377
Limnología, agua y sedimentos	L22	Quebrada Tordillos	478518	7058591
Limnología, agua y sedimentos	L23	Quebrada Tordillos	478614	7058807
Limnología, agua y sedimentos	L24	Vertiente 2	507185	7031621
Limnología, agua y sedimentos	L25	Vertiente 2	506713	7032089
Limnología, agua y sedimentos	L26	Quebrada Leoncito	501685	7065100
Limnología, agua y sedimentos	L27	Quebrada Leoncito	500874	7065288
Limnología, agua y sedimentos	L28	El Colorado	468452	7060531
Limnología, agua y sedimentos	L29	El Colorado	468192	7060957
Limnología, agua y sedimentos	L30	Salar Pedernales N-E	492549	7104959
Limnología, agua y sedimentos	L31	Salar Pedernales N-E	492441	7104650
Limnología, agua y sedimentos	L32	Salar Pedernales N-E	492432	7104183
Limnología, agua y sedimentos	L33	Salar Pedernales N-E	492380	7104025
Limnología, agua y sedimentos	L34	Salar Pedernales N-E	492302	7103454
Limnología, agua y sedimentos	L35	Salar Pedernales N-E	492343	7103188
Caudales	C1	Salar de Pedernales S-O	477375	7088117
Caudales	C2	Salar La Laguna	501441	7101550
Caudales	C3	Cabecera Sur Río La Ola	495312	7065306
Caudales	C4	Quebrada Leoncito	500872	7065288

Monitoreo	Sitio	Sector	Este (m)	Norte (m)
Caudales	C5	Salar Piedra Parada	520604	7088809
Caudales	C6	Salar Piedra Parada	526218	7088102
Caudales	C7	Salar Piedra Parada	528600	7086004
Caudales	C8	Quebrada Ciénaga	464575	7054667
Caudales	C9	Pastos Largos	478029	7045046
Caudales	C10	Río Negro	506645	7037112
Caudales	C11	Quebrada Tinajas	473053	7060378
Caudales	C12	Quebrada Tordillo	478517	7058591
Caudales	C13	Vertiente 2	507185	7031621
Caudales	C14	El Colorado	468467	7060494
Caudales	C15	Salar de Pedernales N-E	492513	7104720
Caudales	C16	Salar de Pedernales N-E	492337	7103254

Esta optimización en el diseño de muestreo obedece a los siguientes criterios:

- El monitoreo multiescalado de los SVAHT debe responder a un sistema dinámico, donde cualquier cambio hidrológico puede ser relevante (Squeo, 2006). Una optimización en el diseño de muestreo aumenta la sensibilidad del monitoreo, reduce el error, y también, fortalece la validez estadística de los resultados. En este contexto, la actualización permite reducir el sesgo de considerar información de base con algún grado de desactualización.
- El rediseño de la red de monitoreo implementado en la Campaña Primavera 2025 constituye una mejora metodológica sustantiva, al basarse en principios de representatividad ecológica, optimización estadística y monitoreo adaptativo.
- La aplicación de este enfoque adaptativo en los componentes de limnología, calidad de agua y caudales, requiere considerar ciertas condiciones particulares del sistema hidrológico, dado que la disponibilidad de agua condiciona la factibilidad y representatividad de los monitoreos. Debido a esta razón, resulta necesario mantener un grado de flexibilidad en la definición de las estaciones de monitoreo, para así tener la posibilidad de adaptarse a variaciones espaciales y temporales de la presencia de agua, asegurando un levantamiento de datos robusto y comparable para establecer la dinámica de los ecosistemas acuáticos.
- En relación a lo expuesto en la Nota Técnica N°1, donde se explica que los polígonos de los SVAHT que son estudiados en el contexto del Proyecto no presentan precisión en su delimitación, y no responden a los criterios de delimitación de humedales que presenta la “Guía de Delimitación y Caracterización de Humedales Urbanos de Chile” de MMA-ONU Medio Ambiente (2022), la delimitación de los SVAHT no debería restringirse solo a áreas en donde exista vegetación, por lo que también forman parte de los SVAHT las áreas con presencia de vegetación hidrófila, los espejos de agua, las áreas con suelos saturados, ya sea actual o reciente, las áreas con evidencia de inundación reciente o con presencia de humedad en el suelo, donde la conectividad biológica y la conectividad hidrológica son clave para su conservación. Además, los polígonos presentan imprecisiones en su localización en cuanto a su georreferenciación, por lo que la representación espacial de las capas de información del Proyecto, han requerido de ajustes en posición que difieren de lo diseñado

con anterioridad en los términos de referencia realizados con la consultora CEA en el año 2020.

En conclusión, la implementación del diseño muestral debe considerar la alta sensibilidad del ecosistema a la disponibilidad efectiva de agua y posibles fluctuaciones en los distintos sectores comprometidos.

Debido a que la presencia, extensión y conectividad de los cuerpos de agua pueden variar entre campañas, resulta necesario adoptar un enfoque adaptativo que permita ajustar la localización de las estaciones de muestreo cuando las condiciones de terreno así lo requieran, resguardando la calidad de la información obtenida y la adecuada caracterización de los procesos ecológicos e hidrológicos del sistema.

Cabe destacar que la información obtenida en las distintas campañas es comparable en términos de la caracterización de la condición ecológica de base de cada sector, establecida en la campaña realizada por Econativa el año 2023, ya que permite describir y evaluar atributos ecológicos e hidrológicos presentes en cada sitio mediante una metodología consistente. En este sentido, los resultados son complementarios y contribuyen a una comprensión integral del estado de cada sector. No obstante, la comparación directa de resultados entre campañas debe realizarse con cautela, debido a que presentan condiciones puntuales registradas en distintos momentos y/o estaciones, lo que hace que las condiciones hidrológicas, climáticas y ecológicas pueden variar entre periodos como consecuencia de la variabilidad natural del sistema. Por lo tanto, las diferencias entre resultados observadas entre campañas, no necesariamente reflejan cambios en la condición ecológica del sector, sino que pueden responder a variaciones temporales propias de la dinámica del ecosistema.

En consecuencia, la comparabilidad de los resultados radica principalmente en establecer y complementar una línea base ecológica para cada sector, más que una comparación estricta de los valores absolutos obtenidos en cada campaña.

3. Referencias

MMA – ONU Medio Ambiente (2022). Guía de Delimitación y Caracterización de Humedales Urbanos de Chile. Elaborada mediante consultoría Proyecto GEF/SEC ID: 9766 “Conservación de humedales costeros de la zona centrosur de Chile” por EDÁFICA Suelos y Medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 200 p.

Squeo, F. *et al.* (2006). Bofedales: turberas de alta montaña de los Andes centrales. Revista Chilena de Historia Natural, Volumen 79, n.2, pp. 245-255.
<<https://www.scielo.cl/pdf/rchnat/v79n2/art10.pdf>>

Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02

Nota Técnica N°04 – Puntos de muestreo componente Suelo

Preparado para: Codelco Salvador

DSAEST_NT04_Rev0

Santiago, 25 de junio 2026



Índice de Contenidos

1. Introducción.....	1
2. Objetivos	1
3. Antecedentes	1
3.1 Definición de Unidades Homogéneas de Suelo	1
3.2 Términos de Referencia (EST-02)	1
3.3 Levantamiento previo de información	2
4. Marco Metodológico	2
5. Análisis de la diferencia.....	5
6. Conclusiones.....	10
7. Referencias	11

Índice de tablas

Tabla 1. Intensidad de muestreo.....	3
Tabla 2. Listado de parámetros de suelos y metodología analítica a utilizar para determinación de la CCUS.....	4
Tabla 3. Listado de parámetros de suelos y metodología analítica a utilizar para determinación de la salinidad y humedad.	4
Tabla 4. Oferta económica original EST-02 por campaña durante 8 años.....	5
Tabla 5. Criterios considerados para la oferta técnica-económica para análisis de CCUS.....	6
Tabla 6. Criterios aplicados mediante validación en campaña de terreno primavera 2025 (PRI25). 7	
Tabla 7. Número de calicatas realizadas e intensidad de muestreo realizada.....	8

1. Introducción

A solicitud del Administrador de Contrato del servicio de “Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02” (de ahora en adelante el Proyecto), se prepara la siguiente Nota Técnica para aclarar aspectos técnicos sobre la definición de los puntos del muestreo del componente Suelos. La elaboración de este documento surge de la necesidad de precisar y consensuar los criterios metodológicos considerados en el diseño muestral, con el fin de asegurar que el esfuerzo de muestreo se encuentre correctamente representado, según criterio experto de profesionales *in situ*, la normativa ambiental vigente y el contexto del Avenimiento en el cual se enmarca el Proyecto.

En este marco, la presente Nota Técnica tiene por finalidad establecer dichas precisiones metodológicas, aportando los antecedentes necesarios para una interpretación técnica adecuada del diseño muestral adoptado en el Proyecto.

2. Objetivos

El objetivo principal de este documento es sustentar técnica y metodológicamente la definición de las Unidades Homogéneas de Suelo (UHS) realizadas por SMI Chile, para así aclarar las diferencias que surgen con respecto al diseño muestral de los Términos de Referencia elaborados por la consultora CEA y el levantamiento realizado por la consultora Econativa el año 2023, ambos para Codelco División Salvador.

3. Antecedentes

3.1 Definición de Unidades Homogéneas de Suelo

Según la “Guía Metodológica para la Descripción de Ecosistemas Terrestres (SEA, 2025)”, la delimitación de Unidades Homogéneas de Suelo (UHS) es la actividad que inicia un estudio de suelos y su propósito es identificar suelos que comparten características similares a raíz de las condiciones formativas de suelo, topografía, hidrografía, cobertura vegetal, y usos.

Esta delimitación se realiza inicialmente con sistemas de información geográfica y fotografías aéreas, generando polígonos representativos de cada unidad. Con ellas se deberán planificar los posteriores estudios de suelos en terreno, diseñando los muestreos de tal manera que todas las unidades queden representadas. Con las observaciones de terreno, las unidades pueden volver a ajustarse, según si se identificaron características distintivas que no pudieron observarse en el trabajo de gabinete.

3.2 Términos de Referencia (EST-02)

En los Términos de Referencia de Codelco de la Medida EST-02: Estudio de Seguimiento de Dinámicas Ecosistémicas de SVAHT se explicita la solicitud de realizar durante la primera campaña de terreno un muestreo de suelos con una cantidad de puntos a definir de al menos 2 por UHS, de manera de poder construir un mapa de suelos en el nivel tres o ecosistema de humedal. Además, se señala que para la descripción y toma de muestras de suelo se realizarán calicatas (1 m x 1 m y profundidad variable) con la finalidad de describir las distintas variables tanto superficiales como

subsuperficiales que pueda presentar el perfil. La descripción de suelos y la toma de muestras debe tener en cuenta lo señalado en la Pauta de Estudio de Suelos (SAG, 2011, rectificación 2016) para luego clasificar los suelos según los siguientes criterios:

- Criterios de aproximación (profundidad, pendiente, pedregosidad superficial y drenaje)
- Criterios de definición (textura, agua aprovechable, pedregosidad subsuperficial, erosión y clima)
- Criterios especiales (salinidad e inundación)

3.3 Levantamiento previo de información

Según el informe Plan de Seguimiento Multiescalado (PSME) Salar de Pedernales y Sistemas Aledaños, Caracterización Edafológica, elaborado por Econativa (Econativa, 2023), la metodología para la caracterización de los suelos reporta la realización de 2 puntos de observación (calicatas) para cada sector (13), alcanzando un total de 26 calicatas, en consistencia a lo solicitado en los Términos de Referencia. Sin embargo, no se detalla en la metodología los criterios aplicados para la determinación preliminar de las UHS, y con ello, la definición de los puntos de observación que se requieren de manera previa a la campaña de terreno, así como tampoco las modificaciones derivadas de la validación de las observaciones realizadas en terreno.

Las UHS que son reportadas corresponden a un análisis de componentes principales (ACP) generando una distribución de 3 grupos de suelos basados en las variables fisicoquímicas, tales como la relación de absorción de sodio (RAS), conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), profundidad, humedad aprovechable y densidad aparente. Al evaluar la asociación entre estas variables, se definieron 3 UHS, una de ellas asociada espacialmente a los salares (UHS 1), mientras que las otras dos a las quebradas (UHS 2 y UHS 3).

4. Marco Metodológico

El levantamiento de este componente tiene por objetivo caracterizar los suelos del área de estudio desde su definición fisicoquímica hasta su participación en el contexto ecosistémico. El primer año, durante la campaña de terreno inicial, se elaborará una caracterización inicial de suelos utilizando como criterio al menos 2 puntos a describir por unidad homogénea de suelo, de manera de poder construir un mapa de suelos. Para ello se realizará la descripción morfológica de los suelos estableciendo calicatas, desde las cuales se extraerán muestras del perfil de suelo con el objetivo de caracterizar sus propiedades fisicoquímicas. Para validar y complementar la información levantada, en caso de ser necesario, se realizarán tomas de muestra con barrenos para análisis adicionales que permitan consolidar la cartografía de los suelos identificados.

Posteriormente, desde la segunda campaña, se realizará un plan de seguimiento de los suelos para los parámetros de salinidad y humedad a dos profundidades (20 y 40 cm), las cuales se desarrollarán a la par con las de caracterización del componente Flora y Vegetación. En el caso de la determinación de la salinidad, esta se realizará por medio de un muestreo compuesto para evitar la alta variabilidad que presentan los sistemas del área de estudio.

La propuesta técnica-económica de SMI Chile contempla la caracterización del componente en base a la “Guía de Evaluación Ambiental de Suelos” (2019) y la “Pauta para Estudio de Suelos” del SAG (2011, rectificada el 2016), utilizada para identificar las Clases de Capacidad de Uso del Suelo (CCUS).

La primera etapa del estudio corresponde a la etapa de identificación de los diferentes tipos de suelos asociados al área de estudio, la cual se realizará mediante la recopilación de antecedentes bibliográficos (geográficos, geomorfológicos y fisicoquímicos) disponibles para la zona, como la información disponible en Suelos de Chile y las zonas edáficas de Chile, entre otras.

Posteriormente, se procede con el análisis cartográfico, con el objetivo de identificar las UHS del área de estudio, las cuales se determinarán mediante fotointerpretación geomorfológica y el análisis de indicadores externos (pendientes, geoformas, hidrografía, exposición, vegetación, usos, entre otros) con ayuda de los recursos otorgados por plataformas SIG, generando un archivo digital con información vectorial, en formato *shape*. A partir de la capa vectorial con las UHS, se define de manera preliminar el número y ubicación de los puntos de observación (calicatas), los cuales se validarán o modificarán en la etapa posterior de terreno.

Para definir el nivel de detalle del estudio, se utilizó lo dispuesto en la “Guía Metodológica para la Descripción de Ecosistemas Terrestres” (SEA, 2025) según lo indica la Tabla 1.

Tabla 1. Intensidad de muestreo.

Nivel de detalle	Objetivo	Número de observaciones	Escala cartográfica
Muy alto (Muy intensivo)	Para levantamiento normal. Descripción de suelo del área de influencia.	4 o más por ha	1:2.500
Alto (intensivo)		1 por cada 0,8 ha a 4 ha	1:10.000
Moderadamente alto (detallado)		1 cada 5 a 25 ha	1:25.000
Moderado (semi-detallado)		1 cada 20 a 100 ha	1:50.000
Moderado (semi-detallado)	Para levantamiento de menor detalle. Descripción a nivel de hábitat y de Ecosistemas	1 cada 20 a 100 ha	1:50.000
Bajo (bajo detalle)		1 cada 100 a 400 ha	1: 100.000
Muy bajo (reconocimiento)		Menos de 1 por cada 400 ha	1: 250.000

Fuente: SEA, 2025.

La caracterización de los suelos, para el primer año se basará en las metodologías de descripción morfológica de los suelos mediante el levantamiento de calicatas y la recolección de muestras por horizontes para la caracterización de sus propiedades fisicoquímicas (Tabla 2).

Tabla 2. Listado de parámetros de suelos y metodología analítica a utilizar para determinación de la CCUS.

Parámetro	Metodología analítica
pH Suspensión Acuosa 1:2,5	3.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile (INIA)
Conductividad Eléctrica (CE) Suspensión Acuosa 1:2,5	3.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile (INIA)
Capacidad de Intercambio Catiónica (CIC)	16.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile (INIA)
% Materia Orgánica	7.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile (INIA)
Relación de Absorción de Na (RAS) Pasta Saturada	10.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile (INIA)
Textura	3.2 Métodos de Análisis Físico de Suelos (SCHCS)
Retención de Humedad (PMP, CC y HA)	7.1 Métodos de Análisis Físico de Suelos (SCHCS)
Densidad Aparente	5.2 Métodos de Análisis Físico de Suelos (SCHCS)

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera se valida y complementa la información previamente definida en la etapa de estudio de información secundaria, y se definen las Clases de Capacidad de Uso de Suelo (CCUS) de acuerdo con las características interpretadas, permitiendo concluir sobre el potencial productivo del suelo o sobre su potencial uso en términos ambientales.

Finalmente, a partir del análisis de clasificación de los suelos, se generará como producto final la cartografía de los suelos del área de estudio.

Por otra parte, cabe destacar que el monitoreo del componente considera el seguimiento por 8 años de las variables de salinidad y humedad a las profundidades de 20 y 40 cm, las cuales se determinarán mediante las variables descritas en la Tabla 3.

Tabla 3. Listado de parámetros de suelos y metodología analítica a utilizar para determinación de la salinidad y humedad.

Parámetro	Metodología analítica
Conductividad Eléctrica (CE) Suspensión Acuosa 1:2,5	3.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile (INIA)
Retención de Humedad (PMP, CC y HA)	7.1 Métodos de Análisis Físico de Suelos (SCHCS)

5. Análisis de la diferencia

En la Tabla 4 se puede apreciar la cantidad de muestras ofertadas por SMI Chile en la propuesta técnica-económica original. Esta considera paquetes de análisis de CCUS, salinidad y de humedad que, proyectados para los 8 años y las 16 campañas, entregan un total de 1.030 muestras.

Tabla 4. Oferta económica original EST-02 durante 8 años.

Estudio	Análisis	Unidad	Cantidad Total
EST-02	Clase de capacidad de uso de los suelos (CCUS)	Unidad	26
	Análisis de Humedad	Unidad	502
	Análisis de Salinidad	Unidad	502
Total			1030

A continuación, en la Tabla 5, se presenta la distribución de las muestras asociadas a la EST-02 por campaña durante los ocho años de monitoreo. En ella se detalla que la CCUS considera 26 paquetes analíticos para la descripción de las calicatas que se ejecutarán durante la primera campaña.

Asimismo, en esta primera campaña se contemplan 14 muestras de los primeros 20 cm de suelo destinadas a la determinación de salinidad y humedad, cuyos resultados se complementan con los análisis efectuados en los horizontes de las calicatas hasta una profundidad de 40 cm. Para las 15 campañas restantes, se consideran 32 muestras por campaña (a 20 y 40 cm de profundidad) para el seguimiento de la salinidad y humedad en todos los sectores de estudio.

La diferencia respecto de la propuesta original corresponde a 16 muestras, equivalente a un 1,4% del total de análisis considerados, margen que proporciona holgura para eventuales ajustes en el muestreo derivados de imprevistos o requerimientos adicionales.

Tabla 5. Distribución de muestras EST-02 por campaña durante 8 años.

Estudio	Análisis	Cantidad muestras/ campaña	Campaña en que se realizará	Cantidad total
EST-02	CCUS	26	1	26
	Salinidad	14	1	14
		32	2-16	480
	Humedad	14	1	14
		32	2-16	480
Total				1.014

En el caso de la determinación de la CCUS, los criterios considerados en la propuesta original se ajustaron a lo solicitado en los TdR, los cuales establecen un mínimo de 2 calicatas por UHS. En este contexto, la Tabla 5 muestra que se estimaron 13 sectores, cada uno asociado a una UHS y, por consiguiente, a 2 calicatas, totalizando 26 calicatas. Para esta propuesta se consideraron 2 horizontes por cada calicata y, dado que cada paquete de CCUS contempla 8 análisis, la propuesta original considera un total de 416 análisis.

Tabla 6. Criterios considerados para la oferta técnica-económica para análisis de CCUS.

Sector	N° UHS	N° calicatas	N° horizontes	N° Análisis CCUS/ horizonte	Total N° análisis
Salar de Pedernales	1	2	4	8	32
Salar La Laguna	1	2	4	8	32
Salar Piedra Parada	1	2	4	8	32
Ciénaga	1	2	4	8	32
Pastos Largos	1	2	4	8	32
Asiento	1	2	4	8	32
Río Negro	1	2	4	8	32
Tinajas	1	2	4	8	32
Tordillo	1	2	4	8	32
Vertientes 2	1	2	4	8	32
Cabecera sur Río La Ola	1	2	4	8	32
Colorado	1	2	4	8	32
Leoncito	1	2	4	8	32
Total	13	26	52	104	416

Una vez validados en terreno, se ajustaron los criterios metodológicos, estableciendo la ejecución de una calicata por cada UHS y aumentando el número de horizontes por calicata para su posterior análisis de laboratorio. Este ajuste responde, por una parte, a la necesidad de fortalecer la caracterización vertical del perfil del suelo, incrementando el nivel de detalle en la diferenciación y la evaluación de sus horizontes, lo que permite obtener una caracterización más robusta de la génesis, variabilidad y propiedades del suelo en cada unidad, redundando en una interpretación más precisa de su funcionamiento. Adicionalmente, desde un punto de vista del criterio técnico, el área de algunos SVAHT y, en consecuencia, de algunas UHS, tienen una superficie muy limitada, por lo que realizar más de una calicata por UHS sería innecesario considerando el nivel de detalle del estudio. Este tema se aborda con mayor profundidad más adelante en esta sección de la nota.

Por otra parte, el ajuste incorpora criterios de resguardo ambiental, considerando que estos ecosistemas presentan alta fragilidad ecológica. La excavación intensiva o innecesaria puede alterar su estructura, afectar la estabilidad de los horizontes orgánicos y modificar procesos clave como la retención hídrica y el almacenamiento de carbono y, por tanto, alterando la hidrología local y afectando la cobertura vegetal. En este contexto, la reducción del número de calicatas, junto con la priorización de un muestreo más profundo y detallado por unidad, permite disminuir la intervención directa sobre el sistema sin comprometer la calidad ni la representatividad de la información levantada.

En términos operativos, estos cambios generan un incremento respecto de la propuesta técnico-económica inicial, reflejando en un aumento de 80 unidades de análisis (Tabla 6). En este contexto, si bien el número total de calicatas se redujo de 26 a 16, esta disminución no afecta la representatividad del estudio, ya que se fundamenta en criterios técnicos y metodológicos validados en terreno y se compensa con un mayor nivel de profundidad analítica por unidad, incorporando además un enfoque explícito de conservación de los humedales.

Tabla 7. Criterios aplicados mediante validación en campaña de terreno primavera 2025 (PRI25).

Sector	N° UHS	N° calicatas	N° horizontes	N° Análisis CCUS	Total N° análisis
Salar de Pedernales	2	2	6	8	48
Salar La Laguna	1	1	4	8	32
Salar Piedra Parada	1	1	3	8	24
Ciénaga	1	1	4	8	32
Pastos Largos	1	2	9	8	72
Asiento	1	1	5	8	40
Río Negro	1	1	1	8	8
Tinajas	1	1	5	8	40
Tordillo	1	1	4	8	32
Vertientes 2	1	1	3	8	24
Cabecera sur Río La Ola	1	1	4	8	32
Colorado	1	1	5	8	40
Leoncito	1	2	9	8	72
Total	14	16	62	104	496

Desde el punto de vista técnico, durante la campaña de terreno se validó la delimitación de las UHS mediante criterio experto, considerando la información levantada para el componente de Flora y Vegetación. Esta validación se sustentó en la consistencia observada entre las formaciones vegetacionales y la pendiente, variables que constituyen dos de los principales criterios utilizados y que permiten respaldar la adecuada representatividad de cada UHS mediante una excavación.

Como se muestra en la Tabla 6, el Salar de Pedernales presenta dos formaciones vegetacionales: Vega salina de *Puccinellia frigida* y Bofedal salino de *Triglochin concinna*, por lo que se determinaron dos UHS en el sector. Esta diferenciación radica en que pueden encontrarse diferentes condiciones edáficas. En contraste, en los demás sectores se identificó una sola formación vegetacional, junto con pequeñas variaciones en la pendiente y en la posición de paisaje, lo que sugiere condiciones de suelos relativamente homogéneas; en consecuencia, se definió una sola UHS por sector.

En el caso de Quebrada Pastos Largos y Quebrada Leoncito, ambos sectores presentan también una única formación vegetacional: Bofedal Pajonal hídrico de *Deyeuxia* sp. y *Oxychloë andina*, y Pajonal hídrico de *Deyeuxia* sp., respectivamente, por lo que se identificó solo una UHS para cada sector. No obstante, dada su amplia superficie (42,1 ha en Pastos Largos, y 46,2 en Leoncito) la ejecución de una sola calicata por unidad habría reducido el nivel de detalle del estudio por debajo del objetivo definido como moderadamente alto o detallado como lo indica la Tabla 1.

Por esta razón, se definió la ejecución de 2 calicatas en cada uno de estos sectores, con el fin de mejorar la representatividad espacial y mantener el nivel de detalle requerido (moderadamente alto). De este modo, en Pastos Largos se realizó una calicata cada 21,1 ha, y para el sector Leoncito se realizó una calicata cada 23,1 ha, tal como se muestra en la Tabla 7.

La Tabla 7 indica la superficie de cada sector y el número de calicatas realizadas en función de las UHS descritas. A partir de esta relación, se estimó la superficie teórica representada por cada calicata, la cual fue contrastada con los criterios de intensidad de muestreo establecidos por SEA (2025) (Tabla 1). Este análisis permite confirmar, desde una perspectiva metodológica, que el nivel de detalle definido en la propuesta corresponde a una intensidad moderadamente alta, equivalente a una escala cartográfica máxima de 1 calicata cada 25 ha.

Tabla 8. Número de calicatas realizadas e intensidad de muestreo realizada.

Sector	Superficie (ha)	Calicatas	Calicatas/ha	N° de observaciones	Nivel de Detalle
Ciénaga	0,60	1	0,6	1 por cada > 0,8 ha	Muy Alto (Muy Intensivo)
El Colorado	3,34	1	3,3	1 por cada 0,8 ha a 4 ha	Alto (Intensivo)
Salar La Laguna	0,49	1	0,5	1 por cada > 0,8 ha	Muy Alto (Muy Intensivo)
Cabecera Sur Río La Ola	25,50	1	25,5	1 cada 5 a 25 ha	Moderadamente alto (Detallado)
Leoncito	46,22	2	23,1	1 cada 5 a 25 ha	Moderadamente alto (Detallado)
Pastos Largos	42,10	2	21,1	1 cada 5 a 25 ha	Moderadamente alto (Detallado)
Salar de Pedernales	37,48	2	18,7	1 cada 5 a 25 ha	Moderadamente alto (Detallado)
Salar Piedra Parada	8,42	1	8,4	1 cada 5 a 25 ha	Moderadamente alto (Detallado)

Quebrada Asiento	2,80	1	2,8	1 por cada 0,8 ha a 4 ha	Alto (Intensivo)
Río Negro	2,97	1	3,0	1 por cada 0,8 ha a 4 ha	Alto (Intensivo)
Tinajas	0,59	1	0,6	1 por cada > 0,8 ha	Muy Alto (Muy Intensivo)
Tordillos	0,96	1	1,0	1 por cada 0,8 ha a 4 ha	Alto (Intensivo)
Vertientes 2	3,71	1	3,7	1 por cada 0,8 ha a 4 ha	Alto (Intensivo)

6. Conclusiones

En base en lo anteriormente expuesto, se puede concluir lo siguiente:

1. El nivel de detalle alcanzado en la campaña de muestreo realizada (de moderadamente alto a muy alto) se mantiene conforme a lo establecido en la Guía Metodológica para la Descripción de Ecosistemas Terrestres del SEA (2025) en estudios de suelos.
2. La reducción en el número de calicatas no generó una disminución en el número total de análisis de laboratorio, manteniéndose un nivel adecuado de información para la evaluación de las Clases de Capacidad de Uso del Suelo (CCUS).
3. La optimización del número de calicatas responde también a un criterio de conservación ambiental, considerando que los humedales altoandinos corresponden a ecosistemas altamente sensibles a perturbaciones producto de excavaciones.
4. Los cambios técnicos efectuados al número de calicatas y muestras son consistentes con la propuesta técnico-económica ofertada, existiendo una diferencia menor en el número de análisis, de solo 16 análisis a lo largo de los 8 años.

En base al análisis metodológico y a la validación en terreno, se concluye que el diseño muestral finalmente implementado es técnicamente consistente y cumple con los objetivos del estudio, no afectando la robustez ni la validez de los resultados obtenidos para la caracterización del componente Suelo en el área de estudio.

7. Referencias

Econativa Consultores Ltda. 2023. Plan de Seguimiento Multiescalado de la dinámica ecosistémica en el Salar de Pedernales y Sistemas Aledaños: Caracterización Edafológica. Documento preparado para Minería y Medio Ambiente Ltda. (MYMA) y Codelco División Salvador.

SAG. Servicio Agrícola y Ganadero. 2011. Pauta para estudio de suelos (Rectificada 2016). Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Disponible en: <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/pauta-para-estudio-de-suelos--mod-2016.pdf>.

SAG. Servicio Agrícola y Ganadero. 2019. Guía de evaluación ambiental: Recurso natural suelo (D-RNN-EIA-PR-005). Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Disponible en: https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/guia_evaluacion_ambiental_recurso_natural_suelo_2019.pdf.

SEA. Servicio de Evaluación Ambiental. 2025. Guía metodológica para la descripción de ecosistemas terrestres (2ª ed.). Servicio de Evaluación Ambiental - Chile. Disponible en: https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2025/03/21/G_Met_Descripcion_ecosistemas_terrestres_2025_Segunda_edicion.pdf

Detalle de contacto

Jacques Wiertz

Sustainable Minerals Institute International Centre (SMI Chile)
The University of Queensland

T +56 2 2307 9710

E j.wiertz@smi-chile.com

W smi-chile.com

CRICOS Provider Number 00025B TEQSA PRV12080