

Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02

Informe de Gestión Anual 2026 Apéndice 02 – Resultados EST-01

Preparado para: Codelco Salvador
DSAEST_Anual26_Apendice02_Rev0
Santiago, 26 de junio 2026



En este apéndice se presentan los resultados del periodo para la Medida EST-01. Como complemento al monitoreo multiescalado de EST-02, se incorporan variables orientadas a fortalecer el Modelo Ecosistémico Conceptual (MEC) mediante información de procesos ecológicos que sustentan el balance hídrico y la respuesta de la vegetación. Para ello, integra mediciones directas de evapotranspiración, evaluaciones ecofisiológicas y caracterización de suelos, con el objetivo de mejorar la representación de las interacciones entre agua, suelo y vegetación.

Las variables complementarias evidencian que la disponibilidad hídrica constituye el principal factor que regula el funcionamiento del sistema del SVAHT del Salar de Pedernales. Las mediciones de evapotranspiración mostraron diferencias asociadas a las condiciones locales de humedad, la ecofisiología reveló estrategias adaptativas de las especies frente al estrés hídrico y salino, mientras que la caracterización de suelos confirmó un ambiente salino-sódico que condiciona la estructura, funcionamiento y resiliencia de las comunidades vegetales del humedal.

En este apéndice se consolidan los informes de resultados de la Campaña 1 Primavera 2025, en detalle:

- Ecofisiología Vegetal
- Evapotranspiración
- Suelos

Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02

Informe de Campaña Primavera 2025 – Variables complementarias EST-01 Componente: Ecofisiología Vegetal

Preparado para: Codelco Salvador
DSAEST_PRI25_Ecofisiología_Rev0
Santiago, 11 de junio 2026



Control del documento

REV	Fecha	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
A	14-05-2026	Maritza Mihoc Lohengrin Cavieres	Daniela Cortés Daniela Gamboa	Daniela Gamboa
B	20-05-2026	Maritza Mihoc Lohengrin Cavieres	Mauricio Vera José Manuel Riveros	Daniela Gamboa
C	10-06-2026	Maritza Mihoc Lohengrin Cavieres	Mauricio Vera	Daniela Gamboa
0	11-06-2026	Daniela Gamboa		

Índice de Contenidos

1. Introducción.....	1
2. Objetivos	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos	2
3. Alcance espacial y temporal	2
3.1 Área de Estudio.....	2
3.2 Diseño de parcelas ecofisiológicas y criterios de selección	3
3.3 Disposición de las parcelas ecofisiológicas	6
4. Metodología aplicada	8
4.1 Obtención de muestras para la evaluación de variables ecofisiológicas.....	8
4.2 Obtención de variables ecofisiológicas.....	8
4.3 Variables fisiológicas complementarias.....	9
4.4 Condiciones ambientales de medición	10
4.5 Equipamiento utilizado y calibración.....	10
4.6 Esfuerzo de muestreo y replicabilidad estacional	11
5. Resultados	12
5.1 Parcelas	12
5.2 Fotosíntesis.....	13
5.3 Patrones espaciales	17
6. Discusión de resultados	20
7. Conclusiones.....	21
8. Listado de profesionales.....	22
9. Referencias	23
10. Anexos	24
10.1 Anexo 01: Registro fotográfico de las parcelas evaluadas en la Campaña Primavera 2025.	24

Índice de Tablas

Tabla 1. Ubicación geográfica de las parcelas de muestreo de variables ecofisiológicas (Datum WGS84 19S).....	6
Tabla 2. Valores de parámetros fotosintéticos obtenidos de la especie con mayor cobertura en cada una de las 16 parcelas ecofisiológicas en el Sistema Vegetacional Azonal Hídrico (SVAHT) activo del Salar de Pedernales.....	14
Tabla 3. Valores de parámetros fotosintéticos obtenidos de la segunda especie con mayor cobertura en las parcelas ecofisiológicas en el Sistema Vegetacional Azonal Hídrico (SVAHT) activo del Salar de Pedernales.....	16

Tabla 4. Listado de profesionales de componente Caudal y sedimentos.	22
---	----

Índice de Figuras

Figura 1. Área de estudio en Salar de Pedernales.	3
Figura 2. Ubicación geográfica de las parcelas de muestreo de variables ecofisiológicas.	5
Figura 3. Ejemplo de la parcela de muestreo de variables ecofisiológicas. (A) Las banderillas en rosado marcan los vértices de la parcela; (B) Cuadrante para el monitoreo de la cobertura de la parcela.	7
Figura 4. Extracción y reposición de un individuo de <i>Zameioscirpus</i> medido. (A) sitio de extracción; (B) individuo después de su reposición.	8
Figura 5. Individuo de <i>Zameioscirpus</i> dispuesto para la medición.	9
Figura 6. Analizadores infrarrojos de gases (IRGA) utilizados en terreno.	10
Figura 7. Diferentes condiciones evaluadas en la campaña de primavera. Diferente estado de desarrollo y cobertura de la vegetación en: (a, c) Bofedal/vega salina de <i>Zameioscirpus atacamensis</i> y <i>Puccinellia frigida</i> . (b, d, e) Vega salina de <i>Puccinellia frigida</i> . (f, g, h) Vega salina de <i>Triglochin concinna</i> . (i) Vega salina de <i>Triglochin concinna</i> y <i>Puccinellia frigida</i>	12
Figura 8. Variables ecofisiológicas: especies dominantes, fotosíntesis máxima, conductancia estomática y transpiración.	18
Figura 9. Variables ecofisiológicas: WUE, ETR, FSII y ETR/A_{max}	19

1. Introducción

Los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT) de alta montaña constituyen ecosistemas de enorme relevancia ecológica debido a su rol en la regulación hidrológica, conservación de biodiversidad y, particularmente, en la captura y almacenamiento de carbono (Squeo, 2006; Ginocchio et al., 2008). A pesar de desarrollarse en ambientes extremadamente áridos, estos sistemas mantienen una productividad biológica significativa gracias a la presencia permanente o semipermanente de agua superficial y subterránea (Squeo, 2006). Esta condición permite el establecimiento de comunidades vegetales altamente especializadas capaces de fijar carbono atmosférico bajo condiciones ambientales extremas, contribuyendo de manera importante al funcionamiento biogeoquímico de los ecosistemas altoandinos (García-Lino et al., 2024).

Los humedales altoandinos han sido reconocidos como ecosistemas estratégicos para el secuestro de carbono debido a su capacidad de acumular materia orgánica tanto en biomasa vegetal como en el sustrato saturado de agua (García Lino et al., 2024). En estos ambientes, la baja temperatura, la limitada descomposición de materia orgánica y las condiciones hidromórficas, favorecen el almacenamiento prolongado de carbono, transformando a los SVAHT en reservorios relevantes dentro del ciclo global del carbono. Sin embargo, la capacidad de estos sistemas para actuar como sumideros depende directamente del balance entre productividad primaria, respiración y disponibilidad hídrica (García Lino et al., 2024).

En este contexto, la evaluación de la fotosíntesis y de otras variables ecofisiológicas asociadas al intercambio gaseoso constituye una herramienta fundamental para comprender el funcionamiento de estos ecosistemas y su capacidad de captura de carbono. La tasa fotosintética refleja directamente la capacidad de las especies vegetales para incorporar CO₂ atmosférico y transformarlo en biomasa, mientras que variables como la conductancia estomática, la transpiración, y la eficiencia en el uso del agua, permiten interpretar las restricciones fisiológicas que enfrentan las plantas bajo condiciones de estrés hídrico y salino (Lamber & Oliveira, 2029).

Diversos estudios han demostrado que las especies dominantes de humedales altoandinos presentan importantes ajustes funcionales asociados a la conservación de agua y al mantenimiento de la actividad fotosintética en ambientes salinos y con alta radiación solar (García-Lino et al., 2024). López et al. (2025) reportaron que especies presentes en ambientes más salinos del Salar de Pedernales exhiben mayores niveles de eficiencia en el uso del agua y patrones fisiológicos consistentes con estrategias conservativas de carbono. Asimismo, estos autores demostraron que muchas especies poseen una limitada tolerancia a la deshidratación, evidenciando una fuerte dependencia de la disponibilidad hídrica para mantener su funcionamiento fisiológico y, por ende, su capacidad de fijación de carbono.

La relevancia de comprender estos procesos se ha incrementado debido a los efectos del cambio climático y de las modificaciones hidrológicas que actualmente afectan a los ecosistemas altoandinos. La disminución de precipitaciones, las alteraciones en los aportes de agua superficial y subterránea y el aumento de la evaporación pueden modificar significativamente la productividad primaria de los SVAHT, reduciendo potencialmente su capacidad de actuar como sumideros de carbono.

En este escenario, el presente estudio ecofisiológico tiene como propósito evaluar el desempeño fotosintético y el estado funcional de las especies dominantes presentes en el SVAHT activo del

Salar de Pedernales, mediante mediciones de intercambio gaseoso y fluorescencia de la clorofila a. La información generada permitirá establecer una línea base ecofisiológica orientada a comprender la dinámica de captura de carbono del sistema y evaluar potenciales cambios futuros asociados a variaciones ambientales e hidrológicas.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

El objetivo general del presente componente es evaluar el desempeño fotosintético de las especies vegetales dominantes presentes en el Sistema Vegetacional Azonal Hídrico Terrestre (SVAHT) activo del Salar de Pedernales, mediante mediciones de intercambio gaseoso y fluorescencia de la clorofila a, con el fin de caracterizar su funcionamiento y su capacidad potencial de captura de carbono bajo las condiciones ambientales presentes en el sistema.

2.2 Objetivos específicos

- Cuantificar la capacidad fotosintética de las especies vegetales dominantes presentes en el SVAHT activo del Salar de Pedernales mediante mediciones de intercambio gaseoso foliar.
- Evaluar la variación espacial de la fotosíntesis y de variables fisiológicas asociadas, tales como conductancia estomática, transpiración y fluorescencia de la clorofila a, en las distintas formaciones vegetacionales del Área de Estudio.

3. Alcance espacial y temporal

3.1 Área de Estudio

El Área de Estudio (AE) de la Medida EST-01 corresponde a todos aquellos SVAHT ubicados en las inmediaciones del Salar de Pedernales que se encuentran relacionados con las acciones de compensación del Avenimiento y Transacción entre Codelco y el Consejo de Defensa del Estado. Los SVAHT a monitorear comprenden en total una superficie de 37,48 ha, las cuales se distribuyen dentro de Salar de Pedernales (Figura 1), el cual fue declarado sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad, lo que refuerza la relevancia de su conservación debido a su alto valor para la protección de la biodiversidad.

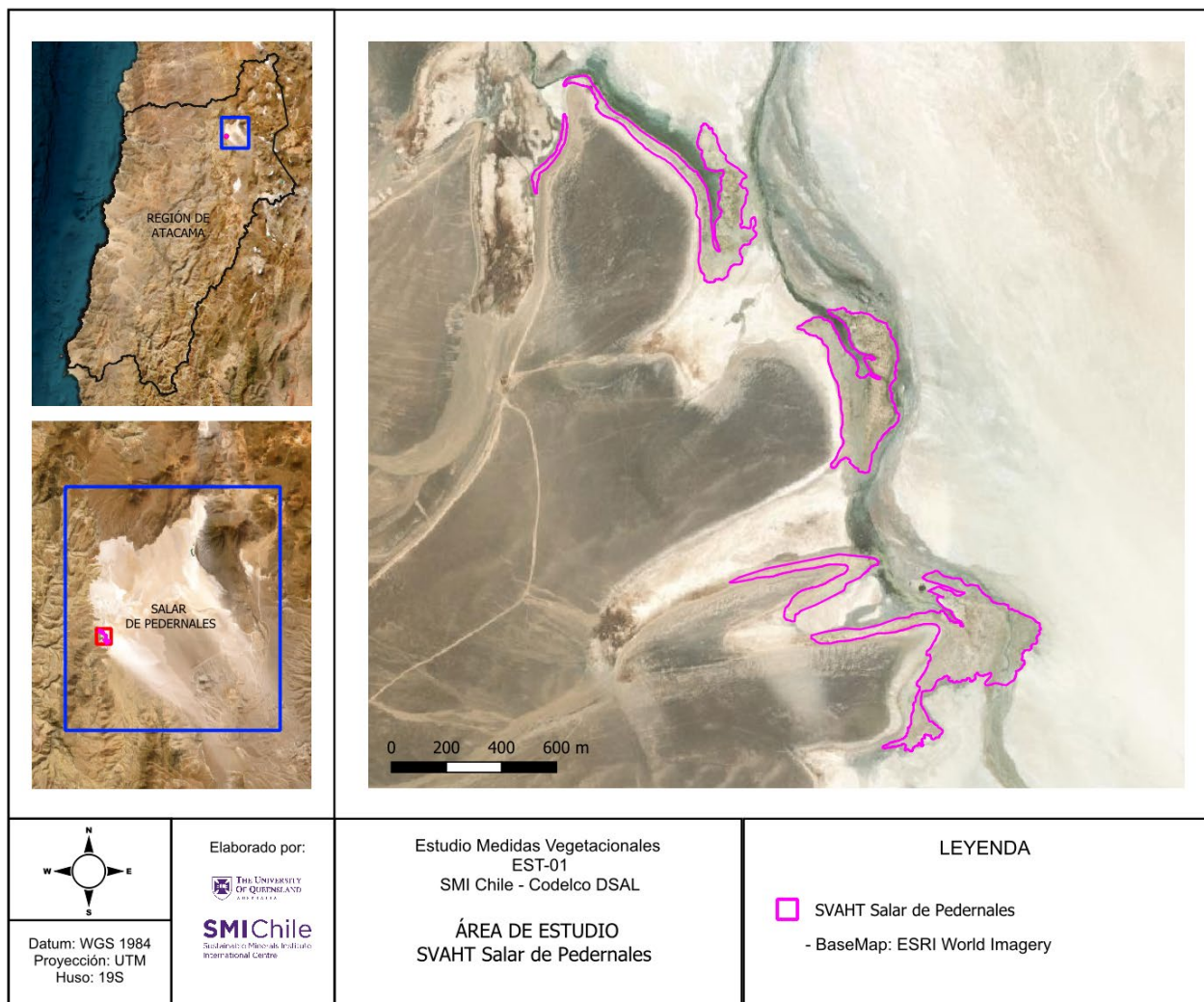


Figura 1. Área de estudio en Salar de Pedernales.

3.2 Diseño de parcelas ecofisiológicas y criterios de selección

Los criterios de selección para la ubicación de las parcelas para la evaluación de las variables ecofisiológicas fueron la representatividad de las formaciones vegetales presentes en el área de estudio y la representación de las diferentes condiciones en relación con los cuerpos de agua.

De acuerdo con lo anterior, las parcelas se distribuyeron en las principales formaciones azonales presentes en el área de estudio quedando representadas las formaciones de: Bofedal / vega salina de *Zameioscirpus atacamensis*, *Puccinellia frigida*, Vega salina de *Puccinellia frigida*, Vega salina de *Triglochin concinna* y Vega salina de *Triglochin concinna* y *Puccinellia frigida*. La distribución de las parcelas al interior de las formaciones se estableció considerando distintas distancias de los cuerpos de agua, quedando representados bordes de laguna, centro del parche de vegetación y borde externo del parche de vegetación. Esta ubicación además concuerda con la ubicación de los transectos de vegetación realizados por SMIChile EST-02, cubriendo toda el Área de Estudio (Figura 2). No se establecieron parcelas en ambientes con la presencia de especies vasculares

acuáticas y/o con dominancia de agua en superficie por las limitaciones de los instrumentos de medición para evaluar en estas condiciones.

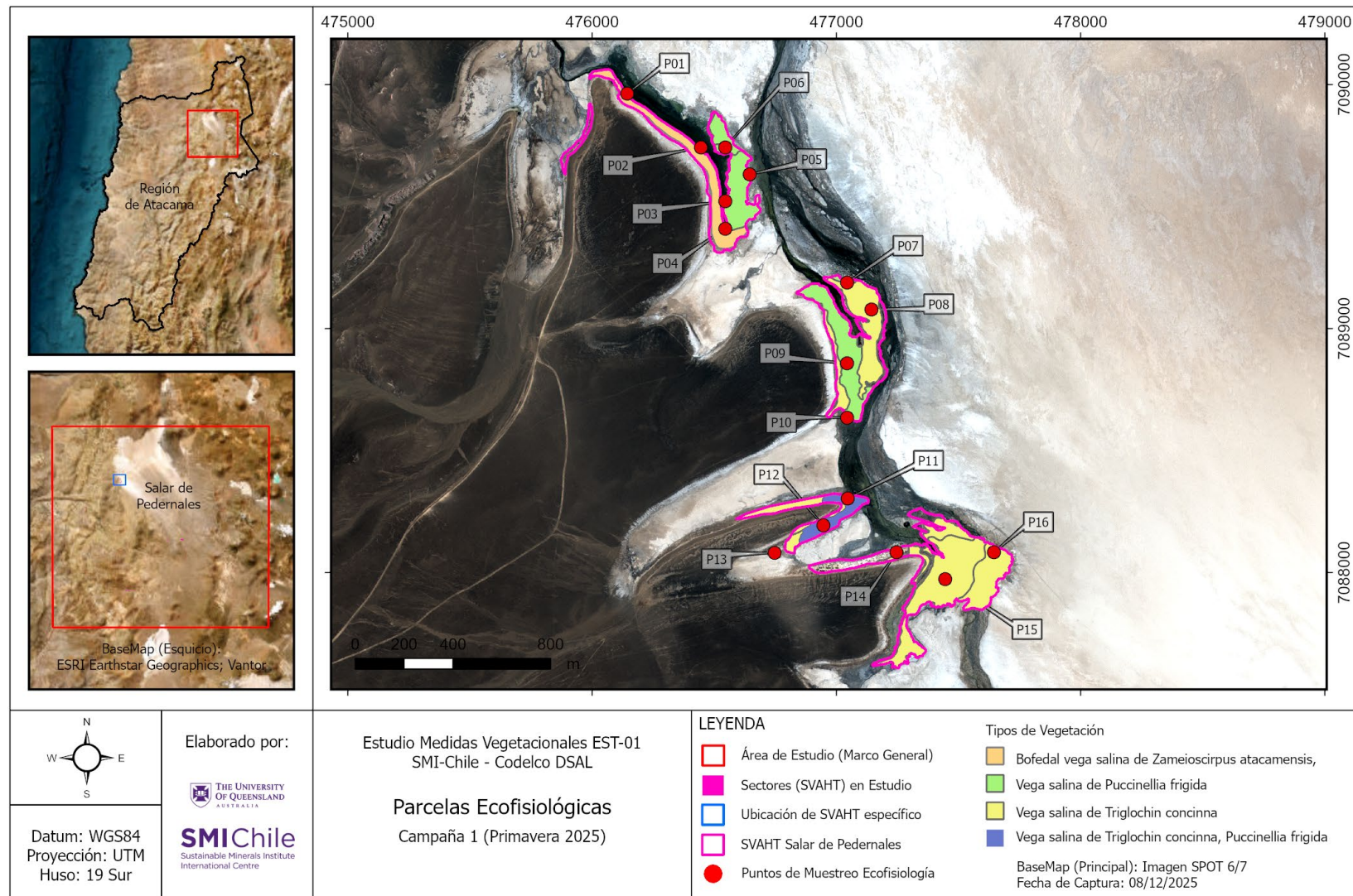


Figura 2. Ubicación geográfica de las parcelas de muestreo de variables ecofisiológicas.

Medidas Vegetacionales EST-01 y EST-02

Informe de Campaña PRI25: Ecofisiología Vegetal EST-01

3.3 Disposición de las parcelas ecofisiológicas

Se evaluaron un total de 16 parcelas (Tabla 1) de 1m x 1m, en las cuales se presentó distintas proporciones de cobertura de las tres especies principales identificadas en el Área de Estudio. La georreferenciación de las parcelas se realizó con un GPS Garmin GPSMAP64s.

Tabla 1. Ubicación geográfica de las parcelas de muestreo de variables ecofisiológicas (Datum WGS84 19S).

Parcela	X	Y
P01	476145	7089963
P02	476444	7089742
P03	476545	7089521
P04	476545	7089410
P05	476644	7089631
P06	476544	7089742
P07	477044	7089189
P08	477144	7089079
P09	477045	7088857
P10	477045	7088635
P11	477046	7088303
P12	476946	7088192
P13	476747	7088081
P14	477246	7088082
P15	477446	7087972
P16	477645	7088083

Cada parcela fue marcada en sus vértices de forma permanente con la finalidad de realizar las mediciones siempre en el mismo sitio en los próximos monitoreos (Figura 3A). La cobertura de las especies fue evaluada mediante la disposición de un cuadrante con guías para facilitar la evaluación de coberturas (Figura 3B). La cobertura de las especies fue estimada como el área que ocupa la proyección de las partes aéreas de las especies sobre la superficie.

En cada parcela se registró la riqueza y la abundancia según la cobertura de especies vasculares presentes. De forma complementaria se registró la presencia de musgo, mantillo, suelo desnudo / sal, piedras y agua con el fin de monitorear el desarrollo de la vegetación en el sitio seleccionado.

La campaña de primavera se realizó entre el 25 y el 30 de noviembre de 2025.

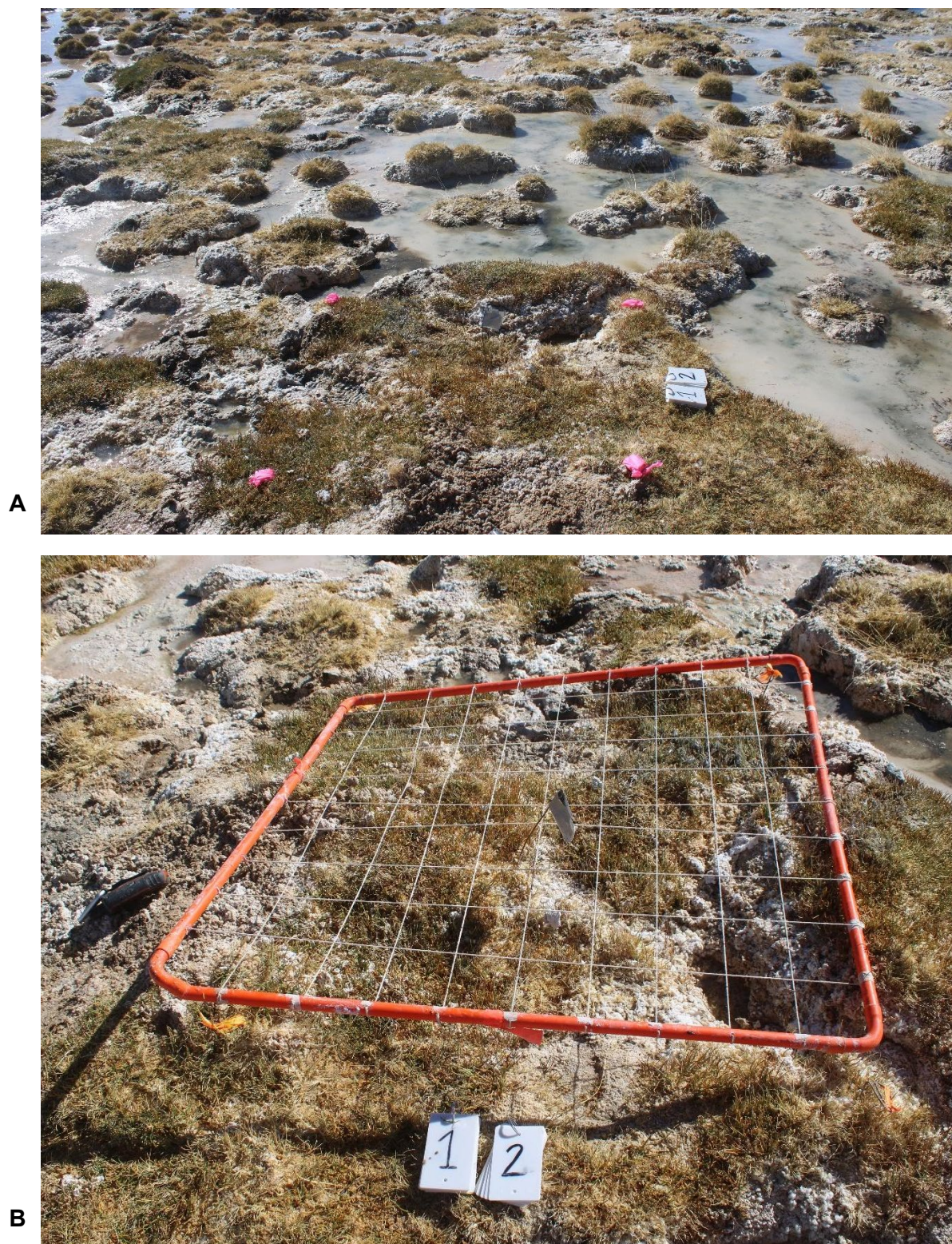


Figura 3. Ejemplo de la parcela de muestreo de variables ecofisiológicas. (A) Las banderillas en rosado marcan los vértices de la parcela; (B) Cuadrante para el monitoreo de la cobertura de la parcela

4. Metodología aplicada

4.1 Obtención de muestras para la evaluación de variables ecofisiológicas

Para cada parcela, se seleccionó aleatoriamente un individuo de las especies dominantes, las cuales concentraron la mayor cobertura relativa en el área de estudio. Este criterio de selección se fundamentó en la estructura de la comunidad vegetal del sitio, donde la dominancia se encontró altamente concentrada en un número reducido de especies (en la mayor parte de las parcelas solo se registró 1 o 2 especies dominantes que concentraban sobre el 70% de cobertura relativa). En la práctica esto implicó la evaluación de las especies representativas del grueso de la biomasa y de las respuestas ecofisiológicas del ecosistema.

Inicialmente se intentaron medir las especies *in situ*, sin embargo, la morfología de las especies no permitió su evaluación, por lo tanto, para cada especie seleccionada se extrajo cuidadosamente un individuo y trasladado a un costado del salar para realizar las mediciones ecofisiológicas (Figura 4A). En todo momento el individuo extraído fue mantenido con sustrato y en condiciones de hidratación.

Con este procedimiento se aseguró que todas las mediciones fueran realizadas bajo las mismas condiciones permitiendo que los datos sean comparables. Además, esto permitió el uso seguro del equipamiento en las parcelas de muestreo considerando las limitaciones operativas y de seguridad para el equipo asociadas al terreno salino, inestable y con presencia de agua, las cuales dificultaban la instalación.

Una vez realizadas las mediciones ecofisiológicas los individuos extraídos fueron devueltos a su ubicación original, cuidando mantener la integridad del material. El procedimiento adoptado asegura una medición fiable y un nulo impacto sobre la vegetación (Figura 4B).

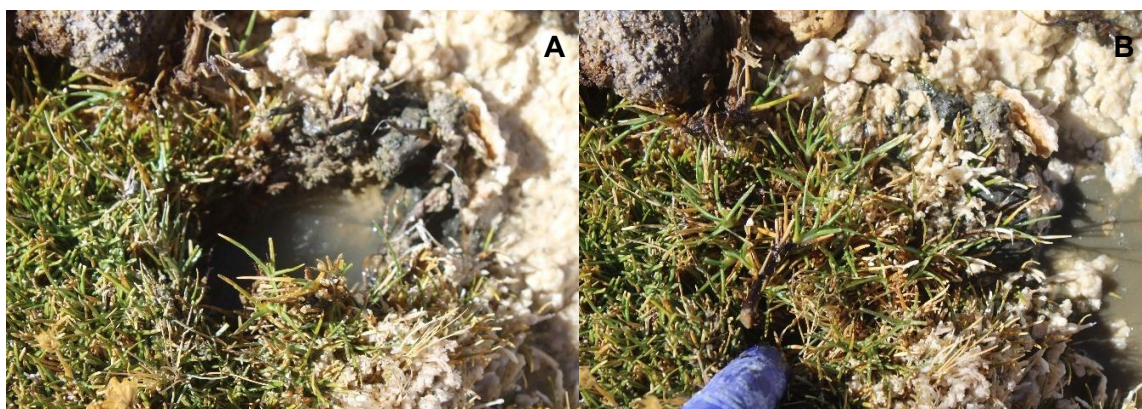


Figura 4. Extracción y reposición de un individuo de *Zameioscirpus* medido. (A) sitio de extracción; (B) individuo después de su reposición.

4.2 Obtención de variables ecofisiológicas

En las 16 parcelas ecofisiológicas bajo estudio se realizaron determinaciones simultáneas de intercambio gaseoso y de fluorescencia de la clorofila *a*.

En hojas adultas y visualmente sanas (Figura 5) se determinó la tasa fotosintética máxima ($A_{\max}$), la conductancia estomática (g_s) y la tasa de transpiración (E), así como la eficiencia cuántica efectiva del fotosistema II (Φ_{PSII}) y la tasa de transporte electrónico (ETR) a través del PSII.



Figura 5. Individuo de *Zamioscirus* dispuesto para la medición.

Para cada determinación de los parámetros ecofisiológicos en cuestión se consideraron como límites para su registro:

- Horarios de medición entre las 09:00 h - 15:00 h (a fin de asegurar tasas fotosintéticas adecuadas).
- Valores de $A_{\max} \geq 1,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (a fin de asegurar valores fuera del rango de error del instrumento).
- Valores de g_s idealmente superiores $0.05 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (a fin de asegurar un adecuado suministro de CO_2 intercelular).
- Valores de concentración intercelular de CO_2 (C_i) $\geq 70 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol air}^{-1}$ (a fin de asegurar que la medida de fotosíntesis refleja la capacidad bioquímica real de la planta).

4.3 Variables fisiológicas complementarias

A partir de los valores de $A_{\max}$ y E , se estimó la eficiencia instantánea en el uso del agua (WUE) como la razón entre ambas variables ($\text{WUE} = A/E$), donde A corresponde a la tasa de asimilación neta de CO_2 y E a la tasa de transpiración.

Asimismo, a partir de los valores de $A_{\max}$ y ETR, se calculó el cociente $A_{\max}/ETR$ como un indicador del desajuste entre el transporte electrónico y la fijación de carbono bajo condiciones de estrés.

4.4 Condiciones ambientales de medición

Las condiciones ambientales programadas en las cámaras de medición del LI-6400XT y LI-6800 fueron:

- Radiación fotosintéticamente activa saturante: $1500 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$.
- Temperatura ambiente: 15°C^1 .
- Humedad relativa: 40-60%.
- Concentración ambiente de CO_2 : 420 ppm.

4.5 Equipamiento utilizado y calibración

Se utilizaron dos analizadores infrarrojos de gases (IRGA), ambos de marca LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA. **Sistema N°1:** LI-6400XT integrado con un fluorómetro de cámara foliar 6400-40 (Figura 6A). **Sistema N°2:** LI-6800 integrado con un fluorómetro de cámara foliar 6800-01^a (Figura 6B).

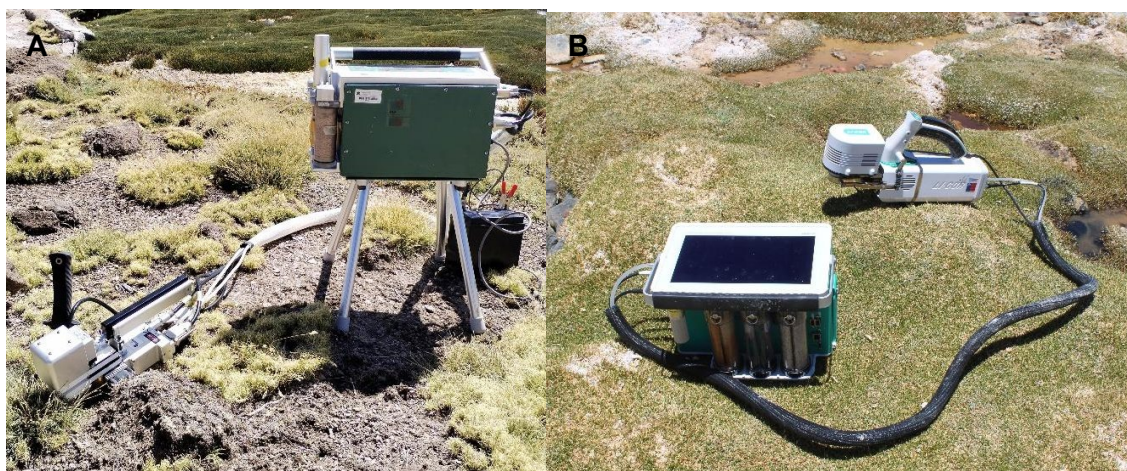


Figura 6. Analizadores infrarrojos de gases (IRGA) utilizados en terreno.

Ambos sistemas registran los mismos parámetros de intercambio de gases y fluorescencia de la clorofila *a*, diferenciándose sólo en que el LI-6800 es la versión más nueva del LI-6400XT.

Respecto a la calibración de ambos sistemas, estas fueron realizadas por la empresa LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA, al momento del envío de los instrumentos a fábrica para mantención el 23 de octubre de 2024, realizada cada dos años según recomendación del fabricante. No obstante, antes de cada día de medición se realiza una rutina de verificación y corrección de:

- Valores “cero” del medidor de flujo.

¹ Se realizaron mediciones de la temperatura foliar en terreno para determinar el rango de temperaturas que experimentan las hojas para realizar las mediciones de las variables ecofisiológicas.

- Valores “cero” del analizador infrarrojo de gases de referencia y de la muestra para el CO₂ y para el H₂O.
- Valores “cero” del termopar de temperatura foliar.

4.6 Esfuerzo de muestreo y replicabilidad estacional

El diseño de muestreo se realizó con el objetivo de capturar la variabilidad ecofisiológica representativa de las formaciones vegetales azonales del área de estudio, asegurando la robustez estadística y la comparabilidad de los datos en el tiempo.

Se estableció un total de 16 parcelas permanentes, georreferenciadas y demarcadas físicamente para garantizar la replicabilidad espacial y temporal en ciclos de monitoreo posteriores. El diseño experimental integró una estratificación basada en la representatividad de las asociaciones fitosociológicas dominantes (comunidades de *Zameioscirpus atacamensis*, *Puccinellia frigida* y *Triglochin concinna*) y su gradiente de proximidad a cuerpos de agua, cubriendo de manera efectiva la heterogeneidad del paisaje mediante la alineación con los transectos de vegetación y muestreo desarrollados por los otros componentes.

Para asegurar la replicabilidad estacional, las campañas han sido programadas considerando la fenología de las especies y el régimen hídrico del sistema; en este contexto, la campaña de primavera se ejecutó comenzando el periodo de crecimiento, saliendo del periodo seco y frío del sistema. El siguiente periodo de evaluación contempla la realización de la evaluación una vez terminado el periodo lluvioso y con temperaturas óptimas para el crecimiento de estas comunidades.

La representatividad del esfuerzo se fortaleció mediante el muestreo aleatorio de individuos de las especies dominantes en cada unidad de muestreo, estandarizando las condiciones de medición mediante parámetros ambientales controlados en la cámara de medición de los IRGAS. Este diseño permite que los datos de intercambio gaseoso y fluorescencia de la clorofila obtenidos sean comparables con futuras mediciones, minimizando el error experimental y aislando la respuesta fisiológica de las variaciones interanuales o estacionales.

5. Resultados

5.1 Parcelas

La disposición de las parcelas permitió evaluar diferentes condiciones al interior del sitio de estudio (Figura 7). En general la vegetación mostró signos de daño, evidenciándose alto porcentaje de biomasa seca en el estrato herbáceo, presentando una coloración parda-café característica del daño por estrés térmico y/o deshidratación (Figura 7). Además, se constató acumulación de sales en superficie. Independiente de la ubicación de las parcelas, las especies dominantes en los diferentes puntos de muestreo correspondieron a *Zameioscirpus atacamensis* (Phil.) Dhooge & Goetgh., *Puccinellia frigida* (Phil.) I.M. Johnst. y *Triglochin concinna* Burt Davy.

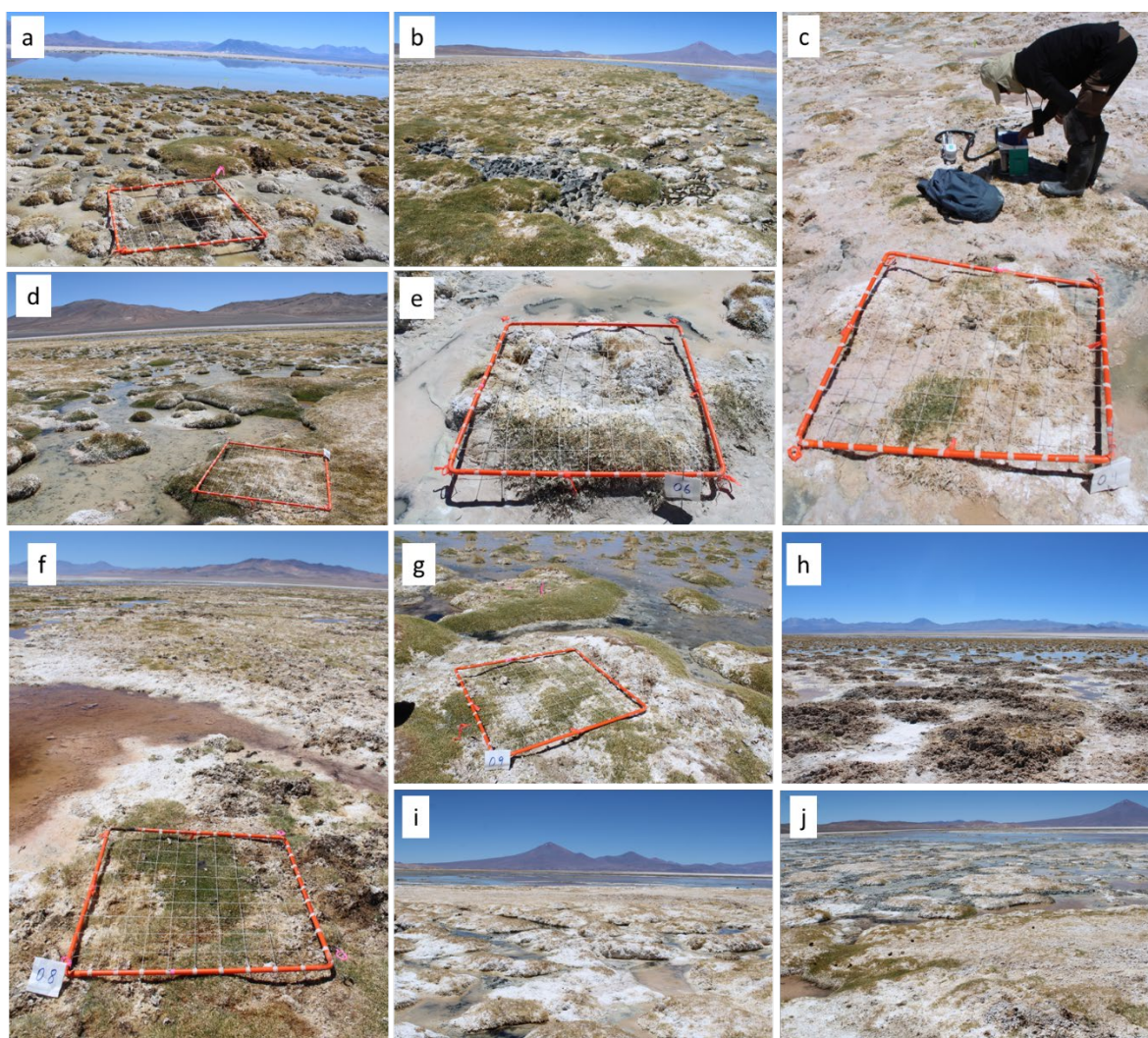


Figura 7. Diferentes condiciones evaluadas en la campaña de primavera. Diferente estado de desarrollo y cobertura de la vegetación en: (a, c) Bofedal/vega salina de *Zameioscirpus atacamensis* y *Puccinellia frigida*. (b, d, e) Vega salina de *Puccinellia frigida*. (f, g, h) Vega salina de *Triglochin concinna*. (i) Vega salina de *Triglochin concinna* y *Puccinellia frigida*.

5.2 Fotosíntesis

Los parámetros de intercambio de gases y de fluorescencia de la clorofila *a* obtenidos para las 16 parcelas ecofisiológicas bajo estudio mostraron una alta variabilidad entre especies y parcelas (Tabla 2). En cuanto a los primeros, la tasa de asimilación de CO₂ ($A_{\max}$) varió entre 3,48 y 24,70 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, registrándose los valores más altos en *Zameioscirpus atacamensis*, en tanto que la conductancia estomática (g_s) presentó valores entre 0,05 y 0,73 $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A su vez, la tasa transpiración (E) varió entre 0,73 y 6,57 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mientras que la eficiencia instantánea en el uso del agua (WUE) presentó valores entre 0,91 y 13,66 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$. Respecto a los parámetros de fluorescencia, el rendimiento cuántico efectivo del fotosistema II (Φ_{PSII}) osciló entre 0,13 y 0,31, mientras que la tasa de transporte electrónico a través del fotosistema II (ETR) fluctuó entre 80,95 y 204,33 $\mu\text{mol electrones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Finalmente, la relación ETR/An mostró valores entre 3,95 y 23,26, evidenciando también variabilidad en la relación entre el transporte electrónico y la fijación de carbono.

Hay que destacar que, luego de múltiples intentos, la especie a medir en la parcela 5 presentaba valores que estaban fuera del rango establecido de medición, por lo que no fue considerada en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de parámetros fotosintéticos obtenidos de la especie con mayor cobertura en cada una de las 16 parcelas ecofisiológicas en el Sistema Vegetacional Azonal Hídrico (SVAHT) activo del Salar de Pedernales.

Parcela	Especie	A _{max} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	g _s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	WUE ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$)	Φ_{PSII}	ETR ($\mu\text{mol e}^{-} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	ETR/A _{max}
P01	<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	24,46	0,47	2,38	10,30	0,31	204,33	8,35
P02	<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	24,70	0,20	2,64	9,34	0,24	160,02	6,48
P03	<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	14,49	0,73	1,06	13,66	0,18	118,87	8,20
P04	<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	5,99	0,71	6,57	0,91	0,13	87,47	14,60
P05	<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P06	<i>Triglochin concinna</i>	3,48	0,05	0,73	4,79	0,23	153,95	23,26
P07	<i>Triglochin concinna</i>	8,92	0,07	1,21	7,38	0,18	119,42	13,39
P08	<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	16,16	0,09	1,55	10,40	0,18	121,43	7,52
P09	<i>Triglochin concinna</i>	22,52	0,16	2,63	8,56	0,14	89,04	3,95
P10	<i>Triglochin concinna</i>	10,40	0,24	3,21	3,24	0,17	114,76	11,04
P11	<i>Puccinellia frigida</i>	9,27	0,05	1,07	8,67	0,19	121,81	13,15
P12	<i>Triglochin concinna</i>	12,08	0,07	1,03	11,78	0,20	125,61	10,40
P13	<i>Triglochin concinna</i>	11,69	0,09	1,22	9,56	0,17	108,63	9,30
P14	<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	10,16	0,21	3,64	2,79	0,21	138,01	13,59
P15	<i>Puccinellia frigida</i>	21,89	0,13	1,93	11,32	0,28	178,02	8,13
P16	<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	9,16	0,21	2,80	3,27	0,29	193,51	21,12

A_{max} = fotosíntesis máxima; g_s = conductancia estomática; E = transpiración, WUE = eficiencia instantánea en el uso del agua; ETR = tasa de transporte de electrones a través del FSII; Φ_{PSII} = eficiencia cuántica efectiva del FSII; ETR/An = indicador del desajuste entre el transporte electrónico y la fijación de carbono bajo condiciones de estrés; NA= No aplica; valor medido fuera de rango.

La tasa máxima de asimilación de CO_2 (A_{max}) varió entre 5,29 y 16,85 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mientras que la conductancia estomática (g_s) presentó valores entre 0,05 y 0,47 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La tasa de transpiración (E) osciló entre 0,77 y 6,24 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, en tanto que la eficiencia en el uso del agua (WUE) varió entre 2,58 y 12,52 $\mu\text{mol CO}_2 \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$. El rendimiento cuántico del fotosistema II (Φ_{PSII}) presentó valores entre 0,12 y 0,23, mientras que la tasa de transporte electrónico a través del fotosistema II (ETR) fluctuó entre 74,75 y 146,26 $\mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La relación ETR/A_{max} mostró valores entre 5,89 y 14,14.

Para la segunda especie dominante, no se registraron datos en todas las parcelas (a diferencia de lo detallado en la Tabla 2). Esto se debió a que no se detectó una segunda especie disponible para medición (parcela 7), o a que esta presentó valores fuera del rango de medición establecido. Las mediciones fuera de rango pueden atribuirse, en gran parte de los casos, al estado fitosanitario en el que se encontraban los individuos (anexo1), donde muchos individuos aun no presentaban brotes nuevos para la estación de crecimiento.

Tabla 3. Valores de parámetros fotosintéticos obtenidos de la segunda especie con mayor cobertura en las parcelas ecofisiológicas en el Sistema Vegetacional Azonal Hídrico (SVAHT) activo del Salar de Pedernales.

Parcela	Especie	A_{max} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	WUE ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$)	Φ_{PSII}	ETR ($\mu\text{mol e}^{-} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	ETR/ A_{max}
P01	<i>Triglochin concinna</i>	5,29	0,05	0,77	6,85	0,12	74,75	14,14
P02	<i>Triglochin concinna</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P03	<i>Triglochin concinna</i>	13,06	0,14	2,12	6,15	0,18	114,28	8,75
P04	<i>Puccinellia frigida</i>	11,91	0,07	1,13	10,52	0,18	111,80	9,39
P05	<i>Puccinellia frigida</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P06	<i>Puccinellia frigida</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P07	Sin especie codominante							
P08	<i>Puccinellia frigida</i>	9,80	0,06	0,88	11,08	0,16	103,55	10,56
P09	<i>Puccinellia frigida</i>	10,73	0,05	0,86	12,52	0,13	84,90	7,91
P10	<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	16,09	0,47	6,24	2,58	0,14	94,68	5,89
P011	<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P012	<i>Puccinellia frigida</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P13	<i>Puccinellia frigida</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P14	<i>Puccinellia frigida</i>	16,85	0,22	3,11	5,42	0,23	146,26	8,68
P15	<i>Triglochin concinna</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P16	<i>Puccinellia frigida</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

A_{max} = fotosíntesis máxima; g_s = conductancia estomática; E = transpiración, WUE = eficiencia instantánea en el uso del agua; ETR = tasa de transporte de electrones a través del FSII; Φ_{PSII} = eficiencia cuántica efectiva del FSII; ETR/ A_n = indicador del desajuste entre el transporte electrónico y la fijación de carbono bajo condiciones de estrés, NA= No aplica; valor medido fuera de rango..

5.3 Patrones espaciales

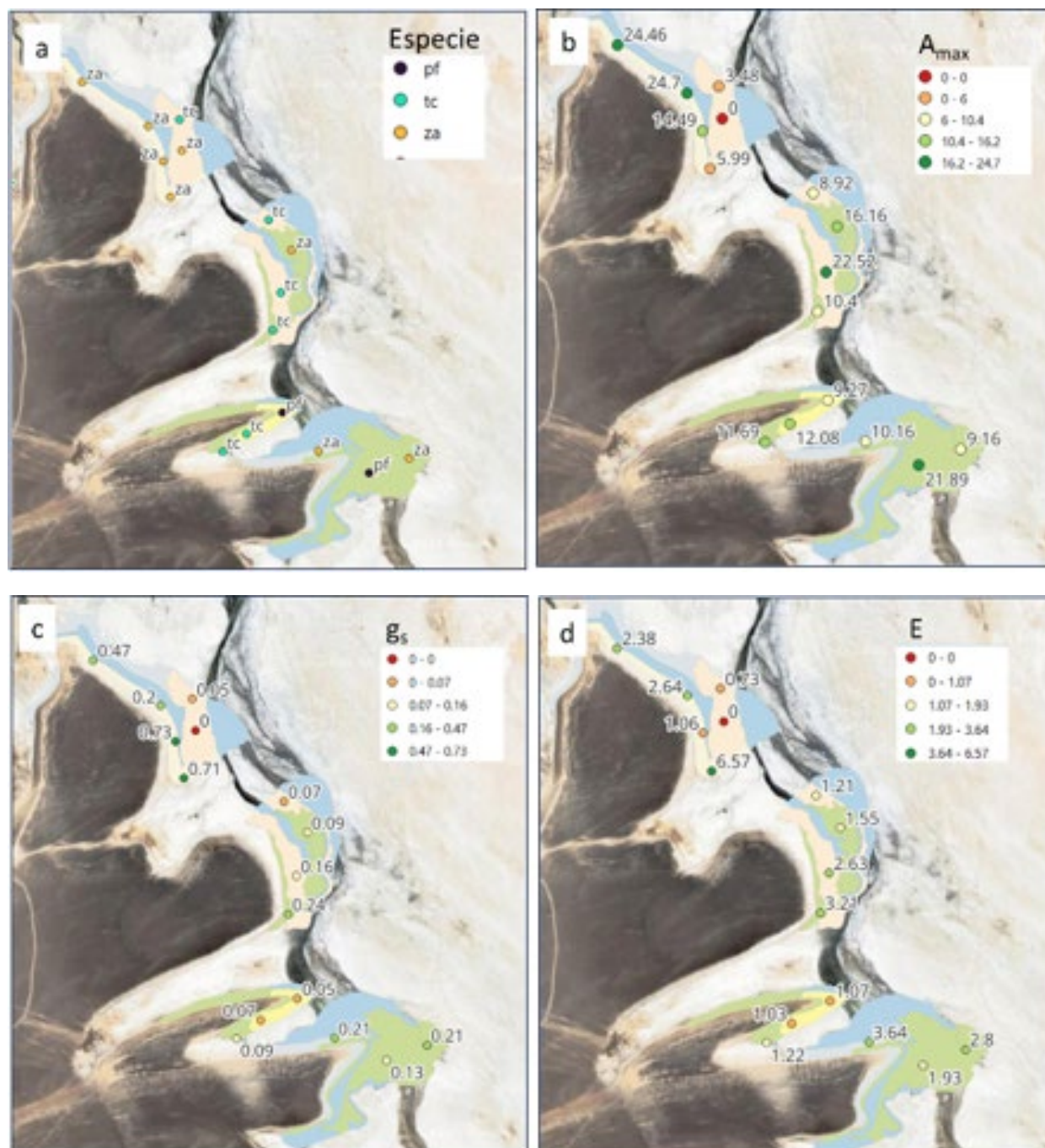
Para la especie *Zameioscirpus atacamensis* se observó, en comparación con el resto de las especies, altos valores de $A_{\max}$, ETR y Φ_{PSII} en las parcelas donde es dominante (como P01, P02, P08). Esta especie aprovecha al máximo la radiación solar para fijar carbono ($A_{\max} \geq 16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), lo cual es sustentado por un alto ETR ($\geq 160 \mu\text{mol e}^{-} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y la mantención de su Φ_{PSII} ($\geq 0,180$). En el caso de *Triglochin concinna*, su estrategia fue más conservadora, ya que, en las parcelas donde fue dominante (P07, P09, P10, P12, P13), los valores de g_s tienden a ser más bajos, pero constantes. Esto se traduce en una WUE generalmente más alta y/o estable, priorizando la conservación hídrica por sobre la actividad fotosintética. No obstante, cabe destacar que esta especie, a pesar de este compromiso funcional, parece lidiar eficientemente con las condiciones altamente estresantes del ambiente. Finalmente, *Puccinellia frigida*, la cual es dominante en puntos específicos (P11, P15), se destacó por mantener altos Φ_{PSII} y $A_{\max}$, lo que sugiere que es una especie oportunista capaz de proliferar eficientemente en sitios donde las otras especies no prosperan.

De acuerdo con las Figura 8 y , se observa una tendencia de zonificación en el Salar de Pedernales, evidenciándose un gradiente norte-sur en la productividad vegetal. El Sector Norte (P01–P03), dominado por *Z. atacamensis*, correspondió a la zona con mayor actividad fotosintética, lo que se sustentó en un acoplamiento más eficiente entre el transporte de electrones y la fijación de carbono mediante fotosíntesis.

Posteriormente, se identificó una Zona Central de Disrupción (P04–P06), donde, a pesar de que *Z. atacamensis* continuó siendo la especie dominante (P04), la fotosíntesis disminuyó drásticamente ($A_{\max} = 5,99 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), mientras que el índice de estrés ($\text{ETR}/A_{\max}$) aumentó hasta 14,60. Esto sugiere que, independientemente de la especie presente, podría existir un factor ambiental limitante en esta franja, posiblemente asociado a una mayor salinidad o a una menor disponibilidad hídrica en el ambiente.

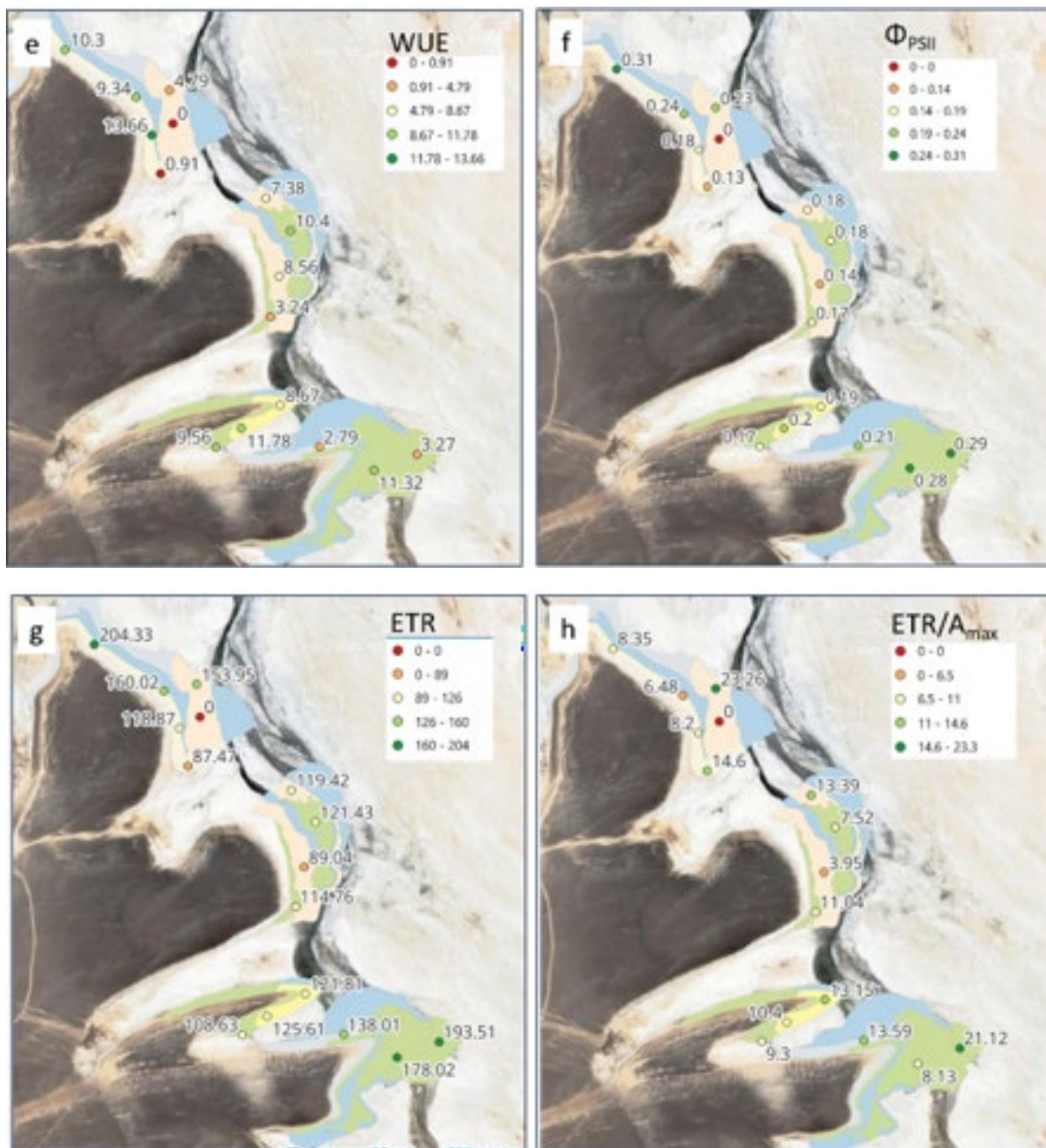
Finalmente, hacia el Sector Sur (P14–P16), se registraron valores muy altos de ETR (por ejemplo, P16 con $193,51 \mu\text{mol e}^{-} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), acompañados del valor más elevado de $\text{ETR}/A_{\max}$ observado en el estudio (21,12). Este patrón podría indicar una condición de estrés nuevamente mediado por restricciones hídricas en las comunidades dominadas por *Z. atacamensis* y *P. frigida*, lo cual se traduce en la necesidad de activar mecanismos alternativos de disipación de energía a fin de evitar el daño fotooxidativo.

En relación con las Formaciones Vegetales, las zonas de Bofedal asociado a la dominancia de *Z. atacamensis* y *P. frigida* son las formaciones con mayor actividad fotoquímica. Por su parte, la Vega Salina asociada a la dominancia de *T. concinna* es una formación con un metabolismo más pausado, presentando menores tasas de transpiración y un control estomático más riguroso.



a: Especie dominante en la parcela (pf) *P. frigida* (tc) *T. concinna* (za) *Z. atacamensis*. b: A_{max} = fotosíntesis máxima. c: g_s = conductancia estomática. d: E = transpiración

Figura 8. Variables ecofisiológicas: especies dominantes, fotosíntesis máxima, conductancia estomática y transpiración.



e: WUE = eficiencia instantánea en el uso del agua. f: ETR = tasa de transporte de electrones a través del FSII. g: Φ_{PSII} = eficiencia cuántica efectiva del FSII. h: ETR/A_{max} = indicador del desajuste entre el transporte electrónico y la fijación de carbono bajo condiciones de estrés.

Figura 9. Variables ecofisiológicas: WUE, ETR, FSII y ETR/A_{max}

6. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos evidencian una alta variabilidad en la fotosíntesis y otros parámetros fisiológicos medidos en las distintas parcelas y especies evaluadas en el SVAHT activo del Salar de Pedernales. Esta variabilidad refleja tanto la heterogeneidad ambiental característica de los humedales altoandinos como las diferencias en las estrategias funcionales desarrolladas por las especies dominantes frente a condiciones de estrés hídrico y salino.

Las tasas fotosintéticas registradas durante la campaña de primavera indican que las especies dominantes mantienen niveles relativamente altos de actividad fisiológica, particularmente *Zameioscirpus atacamensis* y algunas poblaciones de *Puccinellia frigida*. Los valores de Amax registrados se encuentran dentro de los rangos descritos previamente para especies de humedales altoandinos de la región de Atacama, lo que sugiere que durante el periodo de evaluación las condiciones ambientales permitieron un funcionamiento fotosintético activo (e.g. López et al., 2025). La existencia de valores elevados de conductancia estomática en varias parcelas sugiere además una adecuada disponibilidad hídrica en el momento de las mediciones, permitiendo mantener un flujo importante de CO₂ hacia el mesófilo foliar (Lambers & Oliveira, 2019).

Sin embargo, la importante variación observada en la eficiencia en el uso del agua (WUE) y en la relación ETR/Amax evidencia diferencias en la manera en que las especies regulan el balance entre asimilación de carbono y pérdida de agua. En ambientes altamente salinos, una mayor eficiencia en el uso del agua suele asociarse con mecanismos de control estomático más conservativos y con una reducción de la discriminación isotópica de carbono (López et al., 2025). En este estudio, varias de las parcelas dominadas por especies típicas de vegas salinas mostraron valores relativamente altos de WUE, lo que podría indicar respuestas fisiológicas orientadas a maximizar la conservación hídrica bajo condiciones de elevada evaporación y salinidad superficial (Lambers & Oliveira, 2019).

Los valores de fluorescencia de la clorofila y de transporte electrónico obtenidos indican que, en términos generales, el aparato fotosintético se mantuvo funcional durante las mediciones. No obstante, en algunas parcelas se observaron relaciones ETR/Amax elevadas, lo que puede interpretarse como un desacople parcial entre el transporte electrónico y la fijación de carbono. Este patrón suele asociarse a condiciones de estrés fisiológico, donde parte de la energía absorbida por el sistema fotosintético es desviada hacia mecanismos de disipación energética y fotoprotección (Perea-Castro & Flexas, 2023).

La presencia generalizada de acumulación de sales superficiales y signos de deterioro parcial de la vegetación observados en terreno refuerzan la idea de que estas comunidades se desarrollan cerca de sus límites fisiológicos. Estudios previos han señalado que muchas especies dominantes de humedales altoandinos poseen limitada tolerancia a la deshidratación y dependen fuertemente de una disponibilidad hídrica relativamente constante para mantener su funcionamiento fisiológico (López et al., 2025). Por ello, variaciones futuras en la disponibilidad de agua podrían generar respuestas rápidas en términos de reducción fotosintética, cierre estomático y pérdida de funcionalidad fisiológica.

La alta heterogeneidad observada entre parcelas también resalta la importancia de considerar la variabilidad espacial del sistema en los programas de monitoreo. Diferencias locales en profundidad de napa, acumulación salina, cercanía a cuerpos de agua y composición florística probablemente explican una parte importante de la variabilidad ecofisiológica registrada. En este sentido, el establecimiento de parcelas permanentes constituye una fortaleza metodológica relevante, ya que

permitirá evaluar tendencias temporales y distinguir cambios asociados a variabilidad ambiental natural de potenciales alteraciones de origen antrópico.

Finalmente, los resultados obtenidos confirman la utilidad de las mediciones de intercambio gaseoso y fluorescencia de la clorofila como herramientas sensibles para evaluar el estado funcional de los SVAHT. La generación de una línea base ecofisiológica resulta fundamental para futuras evaluaciones de impacto y para comprender la capacidad de resiliencia de estas comunidades vegetales frente a escenarios de cambio ambiental.

7. Conclusiones

Las especies dominantes del SVAHT activo del Salar de Pedernales presentan una elevada variabilidad fotosintética asociada a diferencias ambientales locales y a distintas estrategias funcionales frente al estrés hídrico y salino.

- Las tasas fotosintéticas y los valores de conductancia estomática registrados durante la campaña de primavera indican que, en general, las especies evaluadas mantuvieron actividad fisiológica activa durante el periodo de medición.
- Los valores de eficiencia en el uso del agua sugieren la existencia de mecanismos fisiológicos orientados a maximizar la conservación hídrica, particularmente en especies asociadas a ambientes con mayor acumulación salina.
- Los parámetros de fluorescencia de la clorofila y transporte electrónico indican que el aparato fotosintético se mantuvo funcional en la mayoría de las parcelas, aunque algunas relaciones elevadas ETR/Amax sugieren la presencia de condiciones de estrés fisiológico en ciertos sectores.
- La heterogeneidad espacial observada entre parcelas evidencia la importancia de considerar gradientes locales de salinidad, disponibilidad hídrica y composición florística en la interpretación de las respuestas fisiológicas del sistema.

8. Listado de profesionales

Tabla 4. Listado de profesionales de componente Caudal y sedimentos.

N	Nombre	Rol en el Proyecto	Institución
1	Lohengrin Cavieres	Asesor Senior Ecosistemas y Vegetación	Ecobiosis – Universidad de Concepción
2	Maritza Mihoc	Experta de Terreno Ecofisiología	Ecobiosis – Universidad de Concepción
3	Karina Acuña	Especialista de Terreno Ecofisiología	Ecobiosis – Universidad de Concepción
4	Benjamín Morong	Especialista de Terreno Ecofisiología	Ecobiosis – Universidad de Concepción
5	Jacques Wiertz	Asesor Senior Hidro(geo)logía y Administrador de Contrato	SMI Chile
6	Daniela Gamboa	Coordinadora de Proyecto	SMI Chile
7	Laura Collao	Jefa de Terreno	SMI Chile
8	Felipe Labra	Especialista Imágenes Satelitales	SMI Chile

9. Referencias

- García Lino, M. C., Pfanfelt, S., Domic, A. I., Hensen, I., Schitteck, K., Meneses, R. I., & Bader, M. Y. (2024). Carbon dynamics in high-Andean tropical cushion peatlands: A review of geographic patterns and potential drivers. *Ecological Monographs*, 94(3), e1614.
- Ginocchio, R., Chong, G., Villa-Martínez, R., et al. 2008. Micro-spatial variation of soil nutrients and vegetation in high Andean wetlands of northern Chile.
- Lambers, H., & Oliveira, R. S. (2019). Plant water relations. In *Plant Physiological Ecology* (pp. 187-263). Cham: Springer International Publishing.
- López, D., Sáez, P. L., Cavieres, L. A., Beveridge, F. C., Saavedra-Mella, F., & Bravo, L. A. (2025). Morpho-Physiological Traits and Dehydration Tolerance of High-Altitude Andean Wetland Vegetation in the Chilean Atacama Region. *Plant-Environment Interactions*, 6(2), e70038.
- Perera-Castro, A. V., & Flexas, J. (2023). The ratio of electron transport to assimilation (ETR/AN): underutilized but essential for assessing both equipment's proper performance and plant status. *Planta*, 257(2), 29.
- Squeo, F. A., Warner, B. G., Aravena, R., & Espinoza, D. 2006. Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes.

10. Anexos

10.1 Anexo 01: Registro fotográfico de las parcelas evaluadas en la Campaña Primavera 2025.

P1



P2



P3



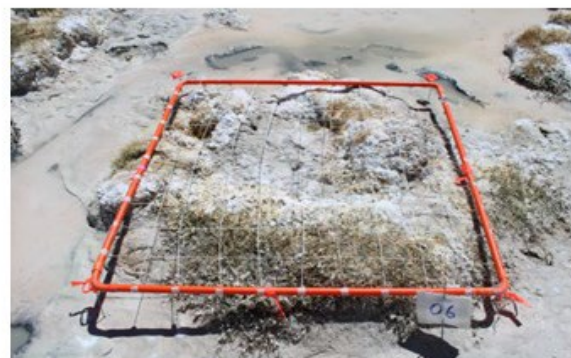
P4



P5



P6



P7



P8



P9



P10



P11



P12





P13



P14



P15



P16



Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02

Informe de Campaña Primavera 2025 – Variables complementarias EST-01 Componente: Evapotranspiración

Preparado para: Codelco Salvador
DSAEST_PRI25_Evapotranspiración_Rev0
Santiago, 25 de junio 2026



Control del documento

REV	Fecha	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
A	14-05-2026	Dilan Campos Nicolás Orellana	Jacques Wiertz	Jacques Wiertz
B	18-06-2026	Dilan Campos Daniela Gamboa	Mauricio Vera	Jacques Wiertz
C	24-06-2026	Dilan Campos	Mauricio Vera	Jacques Wiertz
D	24-06-2026	Dilan Campos	Mauricio Vera	Dilan Campos
E	25-26-2026	Dilan Campos	Mauricio Vera	Mauricio Vera
0	25-06-2026	Daniela Gamboa		

Índice de Contenidos

1. Introducción.....	2
2. Objetivos	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos	3
3. Alcance espacial y temporal	3
3.1 Área de Estudio.....	3
3.2 Diseño muestral y Estaciones de monitoreo.....	4
4. Metodología aplicada	5
4.1 Levantamiento de información en terreno	5
4.2 Análisis de datos	6
5. Resultados	8
5.1 Evaporación potencial	8
5.2 Evapotranspiración en sector Salar de Pedernales	9
6. Discusión de resultados	13
7. Conclusiones.....	14
8. Listado de profesionales.....	15
9. Referencias	15
10. Anexos	16
10.1 Anexo 01: Registro fotográfico de las parcelas evaluadas en la Campaña Primavera 2025.	16

Índice de Tablas

Tabla 1. Puntos de medición de ET en el SVAHT del Salar de Pedernales.	4
Tabla 2. Puntos donde se midió la ET.....	9
Tabla 3. Resultados de ET para cada punto por zona.	10
Tabla 4. Listado de profesionales de componente Caudal y sedimentos.	15

Índice de Figuras

Figura 1. Área de estudio en Salar de Pedernales.	3
Figura 2. Ubicación geográfica de las parcelas de muestreo de ET.....	5
Figura 3. Doms desplegados en puntos de muestreo SE02 y SE01 (de fondo).	6
Figura 4. Variabilidad de la ET por sitio (a) y por punto (b).	11
Figura 5. Evolución de la ET por punto según la hora de medición.	12

1. Introducción

A fines del año 2020, el Consejo del Estado de Defensa del Estado de Chile (en adelante CDE) y Codelco suscribieron un Avenimiento y Transacción aprobado por el Primer Tribunal Ambiental, que incluye 2 medidas de estudios sobre los SVAHT (Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres) del Salar de Pedernales, Salar La Laguna, Salar Piedra Parada y quebradas de agua dulce aledañas, donde se enmarcan las “Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02”.

Bajo este contexto, el Sustainable Minerals Institute International Centre de Chile (SMI Chile) de la Universidad de Queensland se adjudicó el año 2025 ambas medidas (en adelante, el Proyecto) vía licitación (Ref: DOC1504695002). La medida EST-01 buscará establecer patrones y procesos a nivel de la vegetación y del ecosistema del humedal del Salar de Pedernales, a través de un modelo ecosistémico conceptual (MEC) y modelos de respuesta vegetacional (MRV). La medida EST-02 consiste en un seguimiento multiescalado de 8 años que permitirá evaluar los SVAHT y permitirá detectar eventuales cambios, tanto a lo largo del tiempo como en el espacio, en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas.

El desarrollo de los modelos conceptual y numérico asociados a la EST-01 implica la identificación de patrones y procesos tanto a nivel de la vegetación como del ecosistema del humedal del Salar de Pedernales. Los tres primeros años del monitoreo multiescalado de EST-02 serán insumos para los modelos de EST-01, y se propuso adicionalmente el levantamiento de variables complementarias para robustecer la caracterización ecosistémica del Salar del Pedernales.

El presente informe detalla los resultados y procedimientos técnicos de la Campaña de Terreno N°1 (PRI25) del Proyecto, enfocados en estas variables complementarias y en específico, en la medición de la evapotranspiración (ET). Durante esta primera campaña, el monitoreo *in situ* se concentró en tres sectores estratégicos del Salar de Pedernales, seleccionados por presentar diferente vigor vegetacional, con el fin de estudiar una eventual relación entre la ET y el vigor de la vegetación y/o su actividad. Para asegurar una caracterización ecosistémica robusta y representativa, se implementó un diseño experimental de mediciones pareadas y simultáneas. Esta estrategia metodológica permitió evaluar y comparar directamente puntos con condiciones microlocales distintas dentro de un mismo sitio, capturando la variabilidad espacial en las tasas de transferencia de agua hacia la atmósfera. Estos datos empíricos constituyen una base fundamental para el desarrollo del modelo ecosistémico y los modelos de respuesta vegetacional requeridos.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Cuantificación de la evapotranspiración (ET) *in situ* en el humedal del Salar de Pedernales mediante la técnica de domos portátiles y así estimar su variabilidad espacial al evaluar tres sitios con distintos grados de degradación ecosistémica, en el marco del desarrollo del modelo ecosistémico conceptual de la Medida EST-01.

2.2 Objetivos específicos

- Configuración y puesta en marcha de la utilización de cámaras portátiles transparentes (domos) para registro de la dinámica de gases en el Área de Estudio.
- Medición *in situ* de la evolución de la humedad relativa y temperatura del aire en el interior de las cámaras portátiles
- Determinación de la magnitud del flujo de vapor de agua hacia la atmósfera en el Área de Estudio.

3. Alcance espacial y temporal

3.1 Área de Estudio

El Área de Estudio (AE) de la Medida EST-01 corresponde a los SVAHT ubicados en las inmediaciones del Salar de Pedernales que se encuentran relacionados con las acciones de compensación del Avenimiento y Transacción entre Codelco y el Consejo de Defensa del Estado. Los SVAHT a monitorear comprenden en total una superficie de 37,48 ha, distribuidas dentro de Salar de Pedernales (Figura 1), el cual fue declarado sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad, lo que refuerza la relevancia de su conservación debido a su alto valor para la protección de la biodiversidad.

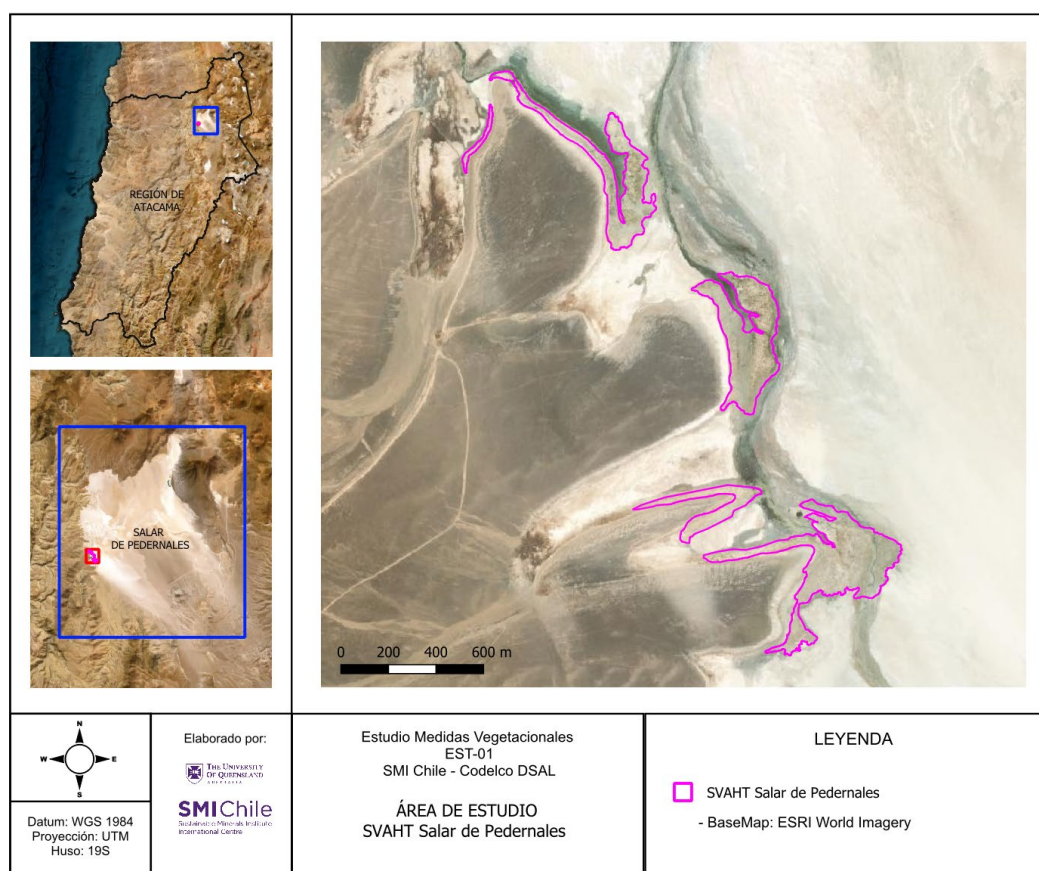


Figura 1. Área de estudio en Salar de Pedernales.

3.2 Diseño muestral y Estaciones de monitoreo

El levantamiento de datos de evapotranspiración (ET) se realizó entre el 28 y 30 de enero de 2026. El objetivo principal fue la obtención de datos de flujo vertical para alimentar y calibrar el Modelo Ecosistémico Conceptual EST-01. Se llevó a cabo un total de 108 mediciones en 6 puntos a lo largo del SVAHT del Salar de Pedernales. En cada punto, se aplicaron 6 ciclos, compuestos cada uno por 3 mediciones.

La campaña adoptó un diseño de medición secuencial e iterativo. En cada punto evaluado, un "ciclo" consistió en la ejecución de tres mediciones individuales consecutivas. Bajo este esquema, se ejecutaron 3 ciclos diarios por cada punto, totalizando 6 ciclos de monitoreo por punto al finalizar la campaña. En la Tabla 1 se detallan los puntos en los cuales se midió la ET y en la Figura 2 se observa la disposición de las parcelas en el Área de Estudio.

Tabla 1. Puntos de medición de ET en el SVAHT del Salar de Pedernales.

Punto	Descripción	Coordenadas UTM 19S	
		Este	Norte
SE01	Norte 01	476.135	7.089.941
SE02	Norte 02	476.130	7.089.924
SE03	Centro 01	477.008	7.088.896
SE04	Centro 02	476.981	7.088.890
SE05	Sur 01	477.324	7.087.973
SE06	Sur 02	477.329	7.087.981

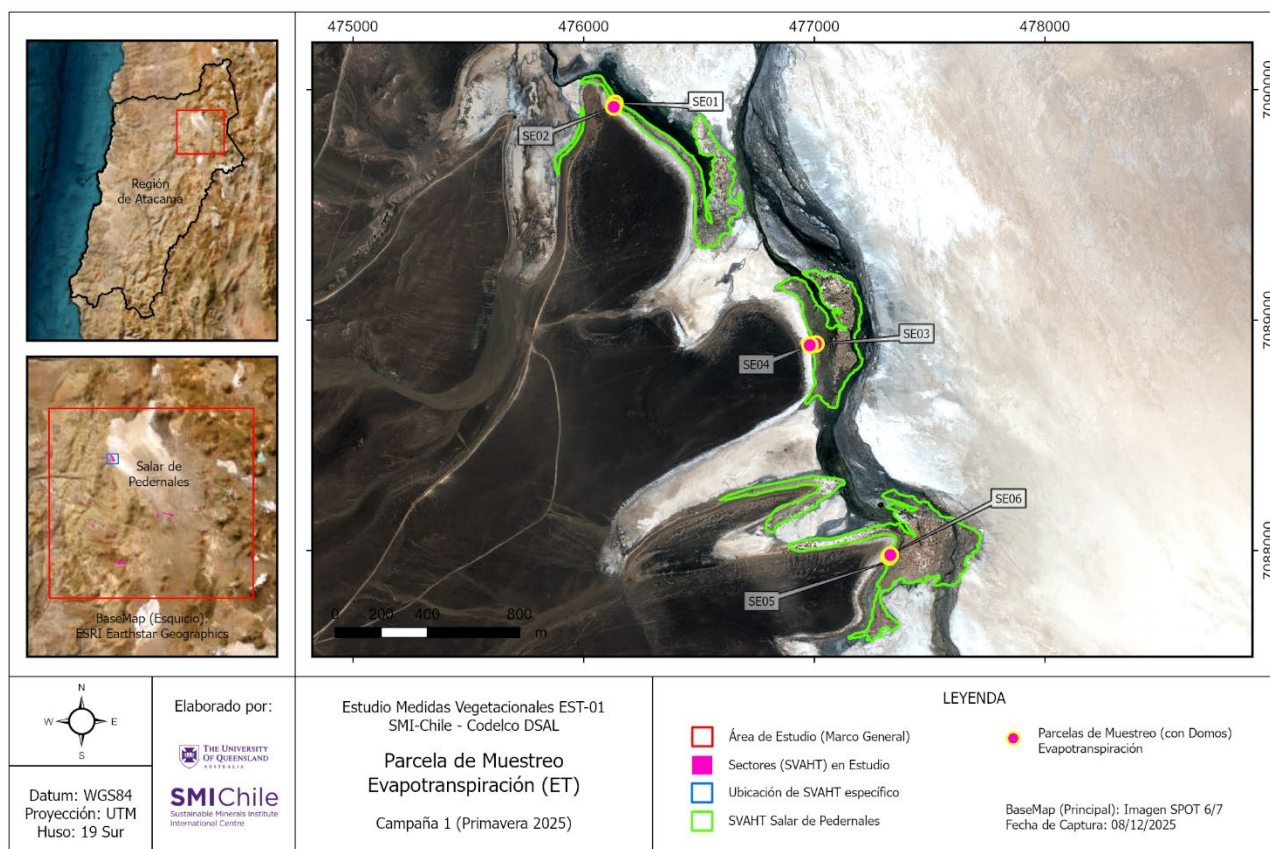


Figura 2. Ubicación geográfica de las parcelas de muestreo de ET.

4. Metodología aplicada

4.1 Levantamiento de información en terreno

El levantamiento de los datos se ejecutó empleando cámaras portátiles transparentes (domos) con un volumen interno de $0,082 \text{ m}^3$ y un área de cobertura basal de $0,36 \text{ m}^2$ (Figura 3). La estructura incorporó ventiladores internos y sensores de temperatura y humedad relativa, configurados para registrar la dinámica de los gases en alta frecuencia, con intervalos de 1 segundo.



Figura 3. Domos desplegados en puntos de muestreo SE02 y SE01 (de fondo).

El protocolo en cada punto consistió en una secuencia estandarizada para garantizar la representatividad de los registros. Cada medición individual se estructuró en las siguientes cuatro fases:

- Instalación y sellado (30 s): posicionamiento del domo sobre la superficie y encendido de los ventiladores. Para aislar la cámara de las condiciones atmosféricas externas, se emplearon faldones alrededor del domo, los cuales se sellaron utilizando mangas de arena.
- Equilibrio (30 s): periodo de estabilización para permitir la homogeneización del aire interno, minimizando el impacto del acoplamiento inicial.
- Medición activa (90 s): etapa de encierro efectivo donde el sistema registró la acumulación de vapor generada por la evapotranspiración local.
- Ventilación (120 s): levantamiento total del domo para purgar la cámara y restaurar las condiciones microclimáticas de la superficie antes de iniciar una nueva iteración.

4.2 Análisis de datos

Se consolidó una base de datos con todos los registros levantados en terreno, para los 6 puntos seleccionados. Para el cálculo de la ET se filtraron exclusivamente los registros pertenecientes a la fase "Medición activa" descrita anteriormente. Se obtuvo un total de 108 ventanas válidas de medición. La duración efectiva de cada ventana se computó como la diferencia temporal entre el primer y el último registro disponible, valor cercano (pero no igual) al nominal de 90 s en función de la dispersión instrumental del muestreo.

Para cada registro instantáneo se calculó la densidad de vapor de agua ρ_v ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) a partir de los datos de temperatura T ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa HR (%) entregados por el sensor, siguiendo la formulación de Magnus recomendada por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2008) para el rango $0-50^{\circ}\text{C}$:

$$e_s(T) = 6,112 * \exp \left[17,62 * \frac{T}{(243,12 + T)} \right] [\text{hPa}]$$

$$e = \left(\frac{HR}{100} \right) * e_s [\text{hPa}]$$

$$\rho_v = \frac{(e * 100)}{(R_v * T_K)} * 1000 [\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Donde e_s es la presión de vapor de saturación, e la presión parcial de vapor, $T_K = T + 273,15$ la temperatura absoluta y $R_v = 461,5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ la constante específica del vapor de agua.

La evapotranspiración asociada a cada ventana de medición se estimó mediante un balance de masa al volumen de control del domo, asumiendo aire bien mezclado por efecto del ventilador interno (Stannard, 1988):

$$ET = V * \left(\frac{\Delta \rho_v}{\Delta t} \right) * C / A [\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}]$$

Donde $V = 0,082 \text{ m}^3$ es el volumen interno del domo, $A = 0,36 \text{ m}^2$ su área basal, C es un factor de calibración adimensional y $\Delta \rho_v / \Delta t$ es la pendiente temporal de la densidad de vapor durante el encierro.

La pendiente $\Delta \rho_v / \Delta t$ se calculó como diferencia simple entre el último y el primer registro válido de la fase de medición, normalizada por la duración efectiva de la ventana:

$$\frac{\Delta \rho_v}{\Delta t} = \frac{(\rho_v, \text{fin} - \rho_v, \text{ini})}{\Delta t}$$

Esta aproximación es robusta cuando la curva de acumulación se mantiene aproximadamente lineal dentro del intervalo de medición.

El factor de calibración C , propuesto originalmente por Stannard (1988) en el rango $1,02-1,08$ para corregir desviaciones del balance de masa ideal por adsorción de vapor en las paredes del domo y otros efectos sistemáticos, fue fijado en $C = 1,00$ en este estudio. Esto equivale a aplicar la formulación base sin corrección, criterio adoptado en ausencia de una calibración local específica del equipo y con el objeto de no introducir un sesgo no documentado en los registros y también en base a la ausencia de condensación visible en las paredes de los domos.

Finalmente, los flujos se expresaron en milímetros por hora (mm h^{-1}), que constituye la unidad operativa habitual en hidrología y permite la comparación directa con tasas de evaporación de tanque y de evapotranspiración de referencia. La conversión se realizó considerando que $1 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ equivale a $3,6 \text{ mm h}^{-1}$ (suponiendo la densidad del agua igual a 1.000 kg m^{-3}).

La caracterización estadística se realizó mediante medidas de tendencia central (media aritmética y mediana) y de dispersión (desviación estándar, rango). La variabilidad espacial entre sitios y entre puntos se examinó mediante diagramas de caja (*boxplots*) con superposición de los datos individuales, visualización que permite identificar simultáneamente la distribución, los valores extremos y la magnitud relativa entre grupos.

5. Resultados

5.1 Evaporación potencial

El informe de Gestión Ambiental Consultores [GAC] (2018) y los antecedentes técnicos compilados en el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Rajo Inca señalan que, dadas las condiciones de alta radiación solar, baja humedad relativa y vientos constantes, la evaporación potencial constituye el componente dominante de las salidas de agua del sistema en los diferentes sitios. No existe información robusta relacionada a este componente para los 13 sitios estudiados. Sin embargo, y a modo de ejemplo, se ha demostrado que en el sector del Salar de Pedernales (~ 3.350 - 3.750 m s.n.m.), las tasas de evaporación son menores que las observadas a baja altitud, en concordancia con la curva regional de evaporación versus elevación elaborada por DGA-DIHA PUC (2009), la cual muestra que, sobre los 3.000 m s.n.m., la evaporación de tanque disminuye con la altura, con una variabilidad importante en el rango 3.000 - 3.500 m s.n.m. La información disponible para este sector proviene de las campañas reportadas por Johnson et al. (2010). Sobre la base de estos registros puntuales para el final del verano de 2008 en suelo desnudo, se determinó lo siguiente:

- Evaporación real: en el Salar de Pedernales (puntos Z9 y Z10 en estudio de Johnson, ubicados en el margen sur-occidental del salar y al sur del campamento La Ola, respectivamente) las tasas de evaporación real desde el agua subterránea variaron entre 0,38 y 1,21 mm/día, fuertemente controladas por niveles freáticos someros (0,2 a 0,9 m) y la textura del sedimento. El sector Z9 evidenció alteraciones puntuales debido a condiciones de inestabilidad atmosférica y precipitaciones leves durante el inicio del monitoreo.
- Evaporación potencial: a partir de la medición directa en el tanque Clase A de Johnson et al. (2010) (6,1 mm/día) y aplicando el factor de corrección de bandeja de 0,75, se obtiene una evaporación potencial real estimada de 4,58 mm/día para el sector del Salar de Pedernales, lo que, suponiendo que el valor medido equivale a un valor medio diario, representa un régimen de referencia equivalente a 1.672 mm/año.

La brecha entre la precipitación media (~ 20,4 mm/año en las subcuencas altoandinas, según las isoyetas de DGA-Amphos 21, 2017, citadas por GAC, 2018) y la evaporación potencial (~ 1.672 mm/año) genera un déficit hídrico estructural, característico de los sistemas evaporíticos de la Puna seca. Este déficit implica que, bajo condiciones medias, la totalidad de la precipitación caída es teóricamente susceptible de evaporarse, situación coherente con el carácter naturalmente endorreico de la cuenca del Salar de Pedernales (y alrededores) y con la ausencia de escurrimientos superficiales permanentes en gran parte de su extensión.

En este contexto, la persistencia de las vegas, lagunas y ríos perennes del área solo es explicable por el aporte sostenido de la descarga lateral de aguas subterráneas desde los acuíferos de pie de monte hacia las depresiones topográficas (GAC, 2018). Esta hipótesis es consistente con el comportamiento hidrológico observado en el río La Ola, cuyo caudal relativamente constante a lo largo del año, con escasas fluctuaciones estacionales (media = 624 L/s, mínimo = 534 L/s y máximo = 754 L/s, para el periodo 1995-2017 [GAC, 2018]), es indicativo de un flujo base subterráneo dominante sobre la componente de escorrentía directa.

Adicionalmente, en el balance hídrico subterráneo del sistema acuífero de la subcuenca Salar de Pedernales, la evaporación directa desde el salar constituye una de las principales salidas naturales

del sistema, junto con las extracciones por bombeo y la descarga hacia el dren Agua Helada (que representan ~ 1.083 L/s [GAC, 2018]).

5.2 Evapotranspiración en sector Salar de Pedernales

A diferencia de la evaporación potencial presentada anteriormente (la cual representa un valor teórico máximo bajo condiciones atmosféricas de demanda evaporativa), la evapotranspiración (ET) real corresponde al flujo efectivo de agua transferido desde el sistema suelo-vegetación-acuífero hacia la atmósfera, e integra tanto la evaporación directa desde el suelo y la lámina de agua libre como la transpiración asociada a la vegetación. En zonas altoandinas con presencia de vegas, bofedales y costras salinas, la ET constituye la principal salida de agua del sistema hidrogeológico superficial, y su correcta estimación es clave para el cierre del balance hídrico local.

Como variable complementaria al levantamiento de información de componentes ambientales de la medida EST-02 que son insumos para el estudio EST-01, se realizaron mediciones directas de ET *in situ* exclusivamente en Pedernales con el fin de servir de input para el modelo ecosistémico conceptual. La técnica empleada fue el método del domo (cámara cerrada o *closed chamber*), que consiste en aislar una porción conocida de superficie del terreno mediante una cámara transparente y registrar, durante un intervalo de tiempo definido, la evolución de la humedad relativa y temperatura del aire en su interior, a partir de las cuales se calcula el flujo de vapor de agua hacia la atmósfera. Esta técnica permite obtener estimaciones puntuales de ET con alta resolución espacial y temporal, y es particularmente adecuada para superficies heterogéneas como las del entorno de los salares andinos, donde las técnicas de balance hídrico o micrometeorológicas son de difícil aplicación por la escala espacial requerida y la escasa cobertura vegetal homogénea (Stannard, 1988; Stannard & Wertz, 2006; Johnson et al., 2010). Las mediciones se realizaron en 6 puntos distribuidos en sentido norte-sur dentro del SVAHT ubicado en el margen sur-oeste del salar y su entorno inmediato, seleccionados de modo de representar la variabilidad espacial de la cobertura vegetal. La Tabla 2 resume las características de cada punto.

Tabla 2. Puntos donde se midió la ET.

Punto	% Cobertura (vegetación)
SE01	90%
SE02	20%
SE03	70%
SE04	10%
SE05	95%
SE06	15%

Los resultados de las mediciones muestran que los promedios de evapotranspiración por punto se distribuyen en un rango de 0,020 a 0,043 mm h⁻¹ (Tabla 3), evidenciando un gradiente longitudinal consistente al SVAHT en el cual el sitio Sur exhibe los flujos más altos (S01 = 0,043 mm h⁻¹; S02 = 0,042 mm h⁻¹), seguido por el sitio Norte (N01 = 0,035 mm h⁻¹; N02 = 0,030 mm h⁻¹) y, finalmente, por el sitio Centro, que registra los valores más bajos de la campaña (C01 = 0,020 mm h⁻¹; C02 = 0,021 mm h⁻¹). Al comparar los dos puntos dentro de cada sitio, la variabilidad interna es marcadamente menor que la observada entre sitios: las diferencias entre puntos del mismo sector se mantienen por debajo de 0,006 mm h⁻¹ (independiente del % de cobertura vegetal), mientras que el contraste entre extremos del gradiente (S frente a C) supera los 0,020 mm h⁻¹. La dispersión intra-punto es relativamente alta, lo que refleja una elevada variación de la ET, donde los flujos máximos, registrados en torno al mediodía, alcanzan valores de hasta 0,091 mm h⁻¹ en S01, mientras que los mínimos descienden a valores próximos a cero (medidos en las tardes).

Tabla 3. Resultados de ET para cada punto por zona.

Zona	Punto	Nº ciclos	Nº mediciones	ET media (mm h ⁻¹)	ET mín (mm h ⁻¹)	ET máx (mm h ⁻¹)	ET mediana (mm h ⁻¹)
N	N01	6	18	0,035	0,005	0,052	0,015
	N02	6	18	0,030	-0,001*	0,057	0,014
C	C01	6	18	0,020	0,001	0,070	0,030
	C02	6	18	0,021	0,010	0,053	0,026
S	S01	6	18	0,043	0,019	0,091	0,041
	S02	6	18	0,042	0,019	0,074	0,035

Media calculada para el conjunto de mediciones hechas en terreno.

*Valor negativo atribuible a una mayor condensación en medición puntual.

La distribución espacial de la evapotranspiración (Figura 4) revela diferencias inter-sitios a lo largo del SVAHT de Pedernales. El sitio Sur concentra las tasas más elevadas, con una mediana de 0,039 mm h⁻¹ y un rango intercuartil (IQR) acotado entre 0,029 y 0,051 mm h⁻¹, así como el valor máximo absoluto de la campaña (0,091 mm h⁻¹, registrado en S01). El sitio Norte ocupa una posición intermedia, con una mediana de 0,028 mm h⁻¹ y una dispersión similar a la del sitio Sur (IQR de 0,023 a 0,044 mm h⁻¹). El sitio Centro presenta los flujos más bajos y la mediana más reducida (0,015 mm h⁻¹), con un IQR comprimido entre 0,010 y 0,024 mm h⁻¹ que evidencia una distribución más concentrada hacia valores bajos. Además, vale destacar que los registros de los puntos del sitio Centro exhibieron mayor dispersión asociada al desempeño del sensor.

A nivel de punto, los pares de puntos pertenecientes a un mismo sitio muestran distribuciones similares entre sí y claramente diferenciadas de las de los sitios adyacentes. En el sitio Norte, N01 y N02 presentan medianas de 0,030 y 0,026 mm h⁻¹ respectivamente; en el sitio Centro, C01 y C02 registran medianas prácticamente equivalentes (0,015 y 0,014 mm h⁻¹); y en el sitio Sur, S01 y S02 alcanzan 0,041 y 0,035 mm h⁻¹. La diferencia entre la media (equis negra) y la mediana (línea negra) en la mayoría de las cajas indica una distribución asimétrica con sesgo positivo, atribuible a la presencia de mediciones individuales con flujos elevados asociadas al peak diurno de demanda atmosférica. La magnitud de la variabilidad intra-sitio se mantiene sistemáticamente por debajo de la variabilidad inter-sitio, configurando una estructura espacial en la que el factor longitudinal explica la mayor parte de la dispersión observada.

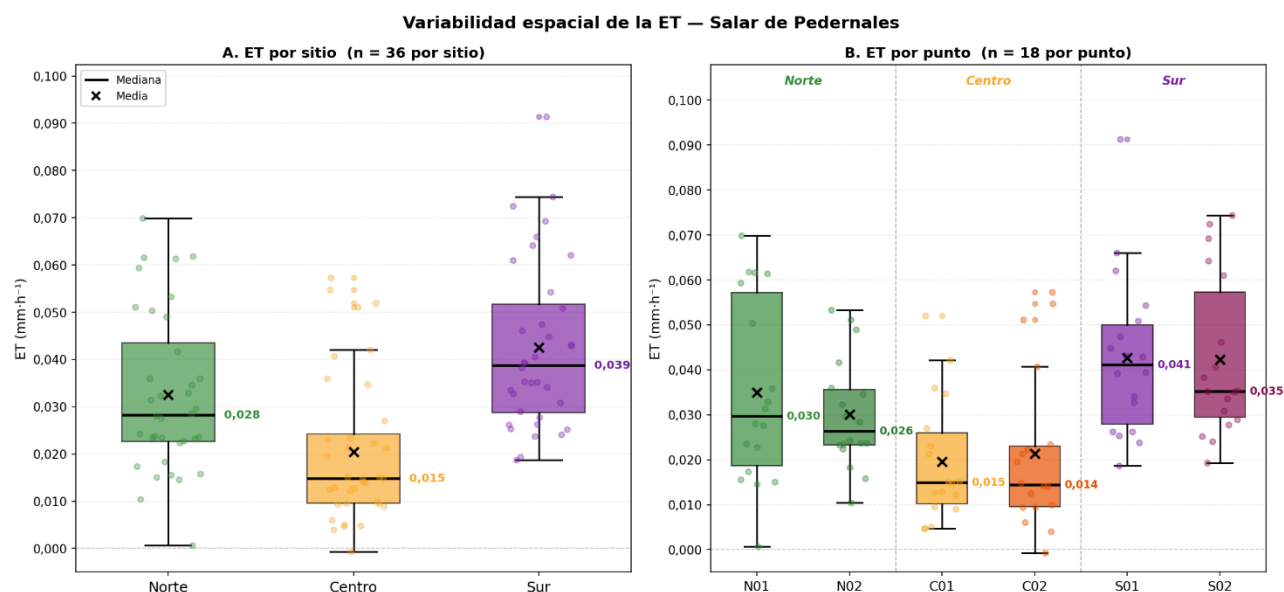


Figura 4. Variabilidad de la ET por sitio (a) y por punto (b).

La representación temporal de las mediciones individuales (Figura 5) muestra un patrón diurno bien definido para los tres sitios, con una fase ascendente durante la mañana, un peak cercano al mediodía y una fase descendente sostenida durante la tarde. Las mediciones se distribuyen entre las 09:00 y las 17:30 h, cubriendo el intervalo de mayor demanda atmosférica, es decir, el periodo en que el déficit de presión de vapor es mayor, favoreciendo la difusión de vapor de agua desde el suelo y la vegetación hacia la atmósfera.

El sitio Norte alcanza sus valores más altos en torno a las 11:00-11:30 h, con medias de ciclo que superan los 0,057-0,064 mm h⁻¹ en N01 y mediciones individuales que llegan hasta 0,070 mm h⁻¹ (Figura 5), descendiendo progresivamente hasta valores de 0,016-0,017 mm h⁻¹ hacia las 16:00-16:30 h. El sitio Sur registra el peak de mayor magnitud entre las 12:00 y las 13:00 h, con medias de ciclo que oscilan entre 0,043 y 0,072 mm h⁻¹ y mediciones individuales que alcanzan hasta 0,091 mm h⁻¹ en S01, manteniéndose por encima de 0,025 mm h⁻¹ durante todo el rango horario muestreado. El sitio Centro, en contraste, presenta el peak menos pronunciado: sus valores más altos, registrados en torno a las 12:00-12:30 h, rondan los 0,043-0,054 mm h⁻¹, y descienden rápidamente por debajo de 0,013 mm h⁻¹ a partir de las 15:00 h.

Las medias de ciclo por sitio confirman la estructura jerárquica observada en la variabilidad espacial (Figura 5): durante prácticamente todo el rango horario muestreado, el sitio Sur mantiene los flujos más elevados, el sitio Norte se posiciona en el intervalo intermedio y el sitio Centro registra sistemáticamente los valores más bajos. La separación entre los tres sitios es máxima durante las horas centrales del día y se atenúa hacia el atardecer.

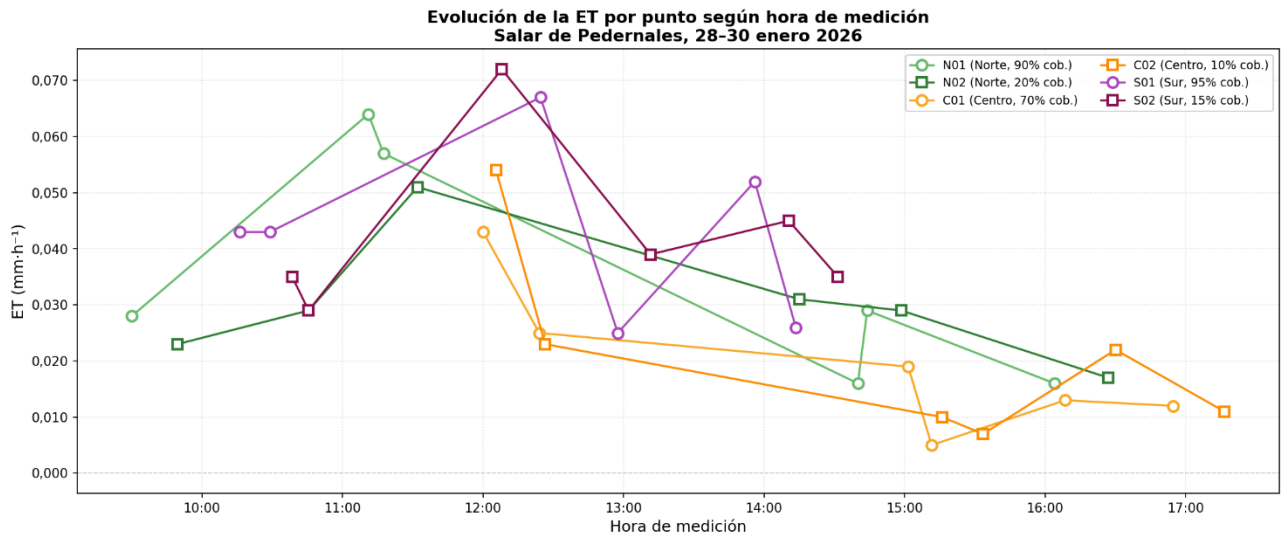


Figura 5. Evolución de la ET por punto según la hora de medición.

6. Discusión de resultados

Las mediciones directas de evapotranspiración obtenidas mediante el método del domo (Stannard, 1988; Stannard & Wertz, 2006) en el SVAHT del Salar de Pedernales evidencian tasas diurnas que oscilan entre 0,020 y 0,043 mm h⁻¹ en términos de promedios por punto, con valores máximos instantáneos de hasta 0,091 mm h⁻¹ registrados en S01 durante el peak de demanda atmosférica del mediodía. La estructura espacial de los flujos describe un gradiente S > N > C en el que la variabilidad entre sitios supera sistemáticamente la variabilidad interna de cada sitio, independientemente del porcentaje de cobertura vegetal. Este patrón sugiere que la disponibilidad hídrica subsuperficial (determinada por la profundidad del nivel freático y las propiedades hidrofísicas del sustrato) actuaría como el factor limitante dominante de la ET en este sistema, subordinando el rol de la cobertura vegetal a un efecto secundario. La marcada modulación diurna observada, con peaks pronunciados en torno a las 11:00-12:30 h y descensos hacia valores mínimos en la tarde, es consistente con el control ejercido por la radiación solar, la temperatura y el déficit de presión de vapor (variables que se relacionan entre sí) sobre la demanda evapotranspirativa en ambientes altoandinos de alta irradiancia.

Finalmente, ante la ausencia de datos comparativos de ET en el área de estudio, y a modo de referencia, se compara con los valores de evaporación real medidos por Johnson et al. (2010) en suelo desnudo. En ese estudio se midieron valores de evaporación real entre 0,38 y 1,21 mm día⁻¹. Dado que las mediciones de esta campaña no cubren el ciclo diario completo, no es posible derivar directamente una ET diaria integrada sin asumir supuestos de extrapolación temporal que introducirían incertidumbre no cuantificada. No obstante, los flujos diurnos registrados en los sitios con mejor disponibilidad hídrica (sitio Sur) alcanzan magnitudes que, extrapoladas conservadoramente al periodo de mayor actividad evapotranspirativa (~ 10 horas diurnas; 0,42 mm día⁻¹), se aproximan al orden de magnitud de la evaporación potencial estimada para el sector, confirmando que la persistencia de las vegas y bofedales del Salar de Pedernales depende críticamente del aporte sostenido de aguas subterráneas que sustenta esta tasa de pérdida hídrica (GAC, 2018; Amphos 21, 2018a).

A pesar de lo anterior, los flujos medidos deben ser comparados con lo que se espera en un SVAHT altoandino con las características del Salar de Pedernales. En sistemas de vega y bofedal con nivel freático somero y coberturas vegetales, la ET debería ser considerablemente mayor que la evaporación desde suelo desnudo, ya que incorpora la componente de transpiración foliar. Estudios previos indican que la ET en humedales altoandinos oscila entre 0,4 y 2,3 mm día⁻¹ según mediciones de eddy covariance en sistemas comparables: 1,7 mm día⁻¹ (622 mm año⁻¹) en el páramo andino del Ecuador (Ochoa-Sánchez et al., 2019); 1,9-2,3 mm día⁻¹ (703-841 mm año⁻¹) en los humedales de los ríos Silala y Putana, en el Altiplano chileno (Suárez et al., 2024); y entre 0,4 y 2,8 mm día⁻¹ en áreas con vegetación en el Salar de Atacama (Kampf et al., 2005). Basado en el hecho de que durante enero hay entre 13 y 14 horas de luz en el Salar de Pedernales, y que al amanecer y atardecer la ET es limitada, se supuso un periodo de 10 horas de actividad evapotranspirativa. La extrapolación realizada con los datos de esta campaña para el sitio de mayor ET considerando estas 10 horas (~ 0,42 mm día⁻¹) resulta en general inferior a los rangos de referencia, lo que podría explicarse por la combinación de varios factores: (i) la ventana de 10 horas subestima la ET diaria; (ii) el factor de calibración C = 1,00 introduce un sesgo a la baja; (iii) el periodo de medición (28-30 de enero de 2026) puede no coincidir con el peak de evapotranspiración; (iv) la diferencia en la cantidad de precipitaciones con el sitio más húmedo

(Ecuador).. En consecuencia, los valores reportados en esta campaña deben interpretarse como una estimación de referencia, con una incertidumbre asociada que no ha sido cuantificada, y no como un parámetro representativo del ciclo anual. Para su uso como input en el modelo conceptual EST-01, está pendiente aún contrastar con los resultados de mediciones en otoño, de modo de construir una función estacional de ET que refleje la variabilidad real del sistema y permita un cierre más robusto del balance hídrico local.

El análisis llevado a cabo en este informe se sustenta sobre una única campaña de monitoreo (campaña 1, primavera 2025) de un total de 6 campañas de terreno, lo que impide la caracterización de la variabilidad estacional e interanual del sistema, y su objetivo es servir de “línea base” para este estudio. La prosecución de las campañas comprometidas, junto con la incorporación de las punteras y estaciones meteorológicas adicionales, son requisitos clave para realizar el seguimiento y la evolución del Área de Estudio. Las mediciones de ET acotadas al SVAHT del Salar de Pedernales entregan una estimación puntual de los flujos, pero no permiten la integración estacional. Finalmente, la ausencia de una calibración local del equipo de medición de ET (factor C = 1,00 adoptado) introduce una incertidumbre (< 10%) adicional en los flujos absolutos que, si bien no compromete los patrones espaciales y temporales identificados, debe considerarse al utilizar estos valores como input para el modelo ecosistémico conceptual EST-01.

7. Conclusiones

Las mediciones directas de evapotranspiración en el SVAHT del Salar de Pedernales (rango de 0,020 a 0,043 mm h⁻¹ por punto, con máximos de hasta 0,091 mm h⁻¹) revelan un patrón diurno bien definido, con *peaks* alrededor del mediodía. La variabilidad inter-sitio supera consistentemente la variabilidad intra-sitio, sugiriendo que la disponibilidad hídrica subsuperficial controlaría la magnitud del flujo evapotranspirativo más que la cobertura vegetal por sí sola, pero que aún requiere ser corroborado con las mediciones de nivel freático en terreno.

Finalmente, es importante destacar que los resultados aquí presentados constituyen una primera aproximación a la “línea base” para el Área de Estudio, levantada bajo las condiciones de disponibilidad hídrica vigentes durante la campaña. Cabe señalar que Codelco implementó la medida H-01 del Avenimiento (restitución de agua en La Ola) desde abril de 2021. Las condiciones registradas en esta campaña no permiten caracterizar un estado previo a su implementación, pero podrían reflejar los efectos de dicha restitución sobre la disponibilidad hídrica del sistema. En consecuencia, las magnitudes y patrones aquí descritos deben interpretarse como una condición de referencia para el período post-implementación de H-01, sin que sea posible, a partir de los datos actuales, distinguir si existen cambios respecto a un estado anterior a la medida, pero que a futuro, podrían mostrar cambios asociados a su implementación. Futuras campañas, contrastadas contra los resultados aquí presentados, permitirán evaluar la trayectoria temporal del sistema bajo el régimen de restitución vigente, así como diferenciar los efectos atribuibles a la entrega de agua de aquellos derivados de la variabilidad climática natural del sistema altoandino.

No obstante, los valores obtenidos corresponden a una ventana temporal acotada y su extrapolación a escalas diarias o estacionales presenta incertidumbres que deberán ser reducidas mediante nuevas campañas de monitoreo. En particular, la incorporación de mediciones en distintas épocas del año permitirá caracterizar la variabilidad estacional de la evapotranspiración y evaluar la representatividad de los valores observados durante el verano. Esta información será fundamental para fortalecer el modelo conceptual EST-01 y mejorar la comprensión del balance hídrico local.

8. Listado de profesionales

Tabla 4. Listado de profesionales de componente evapotranspiración.

N	Nombre	Rol en el Proyecto	Institución
1	Jacques Wiertz	Asesor Senior Hidrogeología y Administrador de Contrato	SMI Chile
2	Dilan Campos	Especialista en Terreno	SMI Chile
3	Nicolás Orellana	Especialista en Terreno	SMI Chile
4	Daniela Gamboa	Coordinadora de Proyecto	SMI Chile
5	Laura Collao	Jefa de Terreno	SMI Chile
6	Daniela Cortés	Jefa de Terreno	SMI Chile
7	Felipe Labra	Especialista Imágenes Satelitales	SMI Chile

9. Referencias

Amphos 21. (2018a). Modelo Conceptual Hidrogeológico de la cuenca Salar de Pedernales [Anexo del Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Rajo Inca]. CODELCO Vicepresidencia de Proyectos.

GAC (2018). Capítulo 3: Línea de Base (Sección A) Medio Físico. Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Rajo Inca. Elaborado para CODELCO, División Salvador. Octubre 2018.

Johnson, E., Yáñez, J., Ortiz, C., & Muñoz, J. (2010). Evaporation from shallow groundwater in closed basins in the Chilean Altiplano. *Hydrological Sciences Journal*, 55(4), 624–635.

Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental [DIHA]. (2009). Levantamiento hidrogeológico para el desarrollo de nuevas fuentes de agua en áreas prioritarias de la Zona Norte de Chile, regiones XV, I, II y III (Etapa 2). Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.

Stannard, D. I. (1988). Use of a hemispherical chamber for measurement of evapotranspiration (Open-File Report 88-452). U.S. Geological Survey, Denver, Colorado.

Stannard, D. I., & Weltz, M. A. (2006). Partitioning evapotranspiration in sparsely vegetated rangeland using a portable chamber. *Water Resources Research*, 42(2), W02406.

World Meteorological Organization (WMO) (2008). Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, 7th ed. WMO-No. 8. Ginebra, Suiza.

10. Anexos

10.1 Anexo 01: Registro fotográfico de las parcelas evaluadas en la Campaña Primavera 2025.





Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02

Informe de Campaña Primavera 2025 – Variables complementarias EST-01 Componente: Suelos

Preparado para: Codelco Salvador
DSAEST_PRI25_Suelos_E01_Rev0
Santiago, 27 de junio 2026



Control del documento

REV	Fecha Aprobación	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
A	09-06-2026	Pablo Bustos Nataly Troncoso	David Rubinos	David Rubinos
B	24-06-2026	Pablo Bustos Nataly Troncoso	José Manuel Riveros	María Paz Valenzuela
C	26-06-2026	María Paz Valenzuela	José Manuel Riveros	José Manuel Riveros
0	27-06-2026	Daniela Gamboa		

Índice de Contenidos

1. Introducción.....	1
2. Objetivos	1
2.1 Objetivo general	1
2.2 Objetivos específicos	1
3. Materiales y Métodos	2
3.1 Área de Estudio.....	2
3.2 Fase de Gabinete.....	3
3.3 Muestreo de suelo: Análisis de fertilidad, salinidad y humedad aprovechable	3
4. Resultados	6
4.1 Puntos de muestreo	6
4.2 Determinación de propiedades fisicoquímicas.....	8
5. Discusión.....	15
6. Conclusiones.....	17
7. Referencias	18
8. Anexos	19
8.1 Anexo 01: Resultados de laboratorio de suelos EST-01 – Campaña Primavera 2025.....	19
8.2 Anexo 02: Informe de análisis de laboratorio de muestras de suelos EST-01.	19

Índice de tablas

Tabla 1. Intensidad de muestreo de suelos.....	3
Tabla 2. Listado de parámetros de suelos y metodología analítica utilizada.	5
Tabla 3. Detalles de las parcelas de monitoreo y puntos de muestreo de suelos.....	6
Tabla 4. Resultados de análisis para MO, NPK, suma de bases y CIC.....	9
Tabla 5. Resultados de análisis para concentración de micronutrientes, cloruro (Cl ⁻) y sulfato (SO ₄ ²⁻)	10
Tabla 6. Resultados de análisis para concentración de HCO ₃ , NO ₃ , B, Saturación de bases y CaCO ₃ .	11
Tabla 7. Resultados de análisis de las propiedades fisicoquímicas de los suelos.	12
Tabla 8. Proporción (%) de cationes de la CIC.	13

Índice de figuras

Figura 1. Área de Estudio Medidas EST-01.	2
--	---

1. Introducción

La presente sección reporta los antecedentes que caracterizan el componente suelo en el marco del Proyecto “Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02” (en adelante el Proyecto), en conformidad con lo establecido en el Avenimiento entre el Consejo del Estado de Chile y Codelco Salvador, aprobado por el Primer Tribunal de Antofagasta (causa ROL D-7-2020).

De forma específica, el presente informe forma parte del estudio EST-01, el cual busca establecer patrones y procesos a nivel de la vegetación y del ecosistema del SVAHT del Salar de Pedernales (SVAHT y suministro hídrico), teniendo en consideración las relaciones tróficas entre fauna y vegetación, así como también la relación suelo-agua-planta, a partir de estudios de campo e imágenes satelitales para así entender las dinámicas del SVAHT.

Los resultados incluyen el análisis de la información recopilada durante la Campaña N°1, correspondiente a primavera de 2025, realizada entre el 24 y 30 de noviembre del 2025. Esta etapa considera la caracterización física y química de los suelos presentes en las distintas unidades homogéneas y parcelas de monitoreo del SVAHT del Salar de Pedernales, incorporando variables asociadas a fertilidad, salinidad, humedad y propiedades físicas relevantes para la dinámica suelo-agua-planta.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Obtención y caracterización de las propiedades físicas y químicas de los suelos presentes en el Sistema Vegetacional Azonal Hídrico Terrestre (SVAHT) activo del Salar de Pedernales, con el fin de establecer una línea base de las condiciones edáficas y su relación con la dinámica hídrica y vegetal del sistema, con la finalidad de obtener datos para alimentar el modelo ecosistémico conceptual (MEC) y el modelo de respuesta vegetal (MRV).

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades químicas y de fertilidad de los suelos mediante el análisis de parámetros asociados a salinidad, sodicidad, materia orgánica, pH, nutrientes disponibles y composición iónica.
- Determinar la variabilidad espacial de las condiciones edáficas y su relación con las formaciones vegetacionales y condiciones hidrológicas presentes en el SVAHT activo del Salar de Pedernales.
- Establecer una línea base de monitoreo de variables de suelo y nivel freático durante 3 años, dos veces por temporada, que permita evaluar potenciales cambios futuros en las condiciones ecológicas del sistema.

3. Materiales y Métodos

3.1 Área de Estudio

El Área de Estudio de la Medida EST-01 corresponde al área activa de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídrico Terrestres (SVAHT) del Salar de Pedernales, ubicado en la comuna de Diego de Almagro, Región de Atacama, Chile. Estos SVAHT se encuentran relacionados con las acciones de compensación del Avenimiento y Transacción entre Codelco y el Consejo de Defensa del Estado. En específico, los SVAHT a monitorear comprenden en total una superficie de 37,48 ha, y se muestran en la Figura 1.

El área monitoreada se emplaza dentro del sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad “Salar de Pedernales y sus alrededores”, lo que refuerza la relevancia de su conservación debido a su alto valor estratégico, por ser prioridad para la protección de la biodiversidad. Este humedal altoandino se caracteriza por la presencia de vegas salinas, bofedales y sectores con influencia de aguas superficiales y subterráneas, donde se desarrollan comunidades vegetales adaptadas a condiciones extremas de salinidad y disponibilidad hídrica.

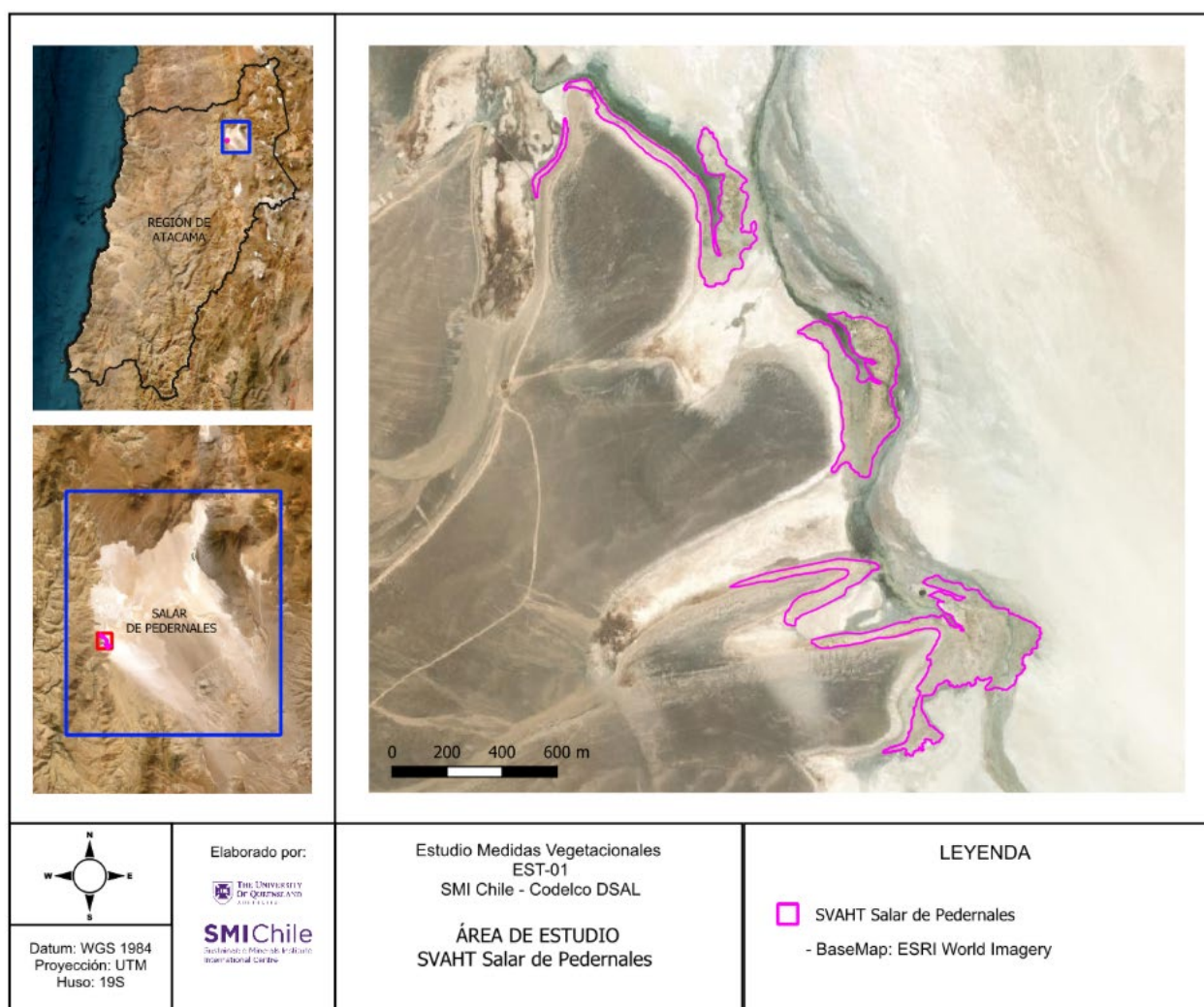


Figura 1. Área de Estudio Medida EST-01.

3.2 Fase de Gabinete

Para definir los sitios exactos donde realizar los muestreos, se cruzó información con el equipo de Ecofisiología vegetal de la Universidad de Concepción (Ecobiosis), con el objetivo de asegurar que la caracterización edáfica representa las condiciones de suelo asociadas a las 16 parcelas de monitoreo donde se evaluarían las especies vegetales. En función de ello, se definieron 16 puntos de muestreo para el área de los SVAHT. De esta forma, el nivel de detalle de la caracterización de suelos fue de una observación cada 2,3 ha aproximadamente. Esto correspondería a una escala cartográfica de suelos de 1:10.000, o un nivel de detalle alto o intensivo, según lo dispuesto en la “Guía Metodológica para la Descripción de Ecosistemas Terrestres” (SEA, 2025), como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Intensidad de muestreo de suelos.

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.

3.3 Muestreo de suelo: Análisis de fertilidad, salinidad y humedad aprovechable

En la campaña N°1, se implementó un diseño de muestreo sistemático orientado a realizar el primer levantamiento de información edáfica asociada al seguimiento de las 16 parcelas de monitoreo ecofisiológico. Para ello, se definieron puntos de muestreo de suelo ubicados en sectores cercanos a cada parcela, procurando que las muestras obtenidas fueran representativas de las condiciones edáficas predominantes del sitio donde se desarrollan las especies vegetales bajo seguimiento, sin intervenir directamente las parcelas de monitoreo.

En ese contexto, se recolectaron muestras de aproximadamente 2 kg de suelo, las cuales fueron clasificadas en puntuales y compuestas, en función de los requerimientos analíticos de los parámetros de fertilidad, salinidad y humedad aprovechable. La metodología aplicada consideró los lineamientos establecidos en la “Guía de campo para el muestreo y descripción de suelos” (Schoeneberger *et al.*, 2012).

Para la determinación de salinidad y fertilidad del suelo, se empleó la metodología de muestreo compuesto, la cual consiste en la recolección de cinco submuestras por punto de muestreo, que fueron posteriormente homogenizadas en un recipiente de 20 L. La muestra compuesta resultante fue almacenada en bolsas de polietileno para su conservación. Este procedimiento fue replicado en cada uno de los puntos de muestreo definidos. La extracción se realizó en los primeros 20 cm del

perfil del suelo, correspondientes al horizonte superficial, dado que en esta zona se concentra la mayor abundancia de raíces y procesos edáficos fundamentales, tales como la acumulación de materia orgánica, la actividad microbiológica y la interacción suelo-planta.

Por otra parte, para la determinación de la humedad aprovechable del suelo, se utilizó el método de muestreo puntual, considerando la toma de una muestra por cada punto de muestreo asociado a las parcelas de monitoreo. Este muestreo permite establecer una línea base de la condición de humedad del suelo, generando información de referencia para el seguimiento y comparación de los resultados obtenidos en campañas sucesivas. Para ello, se extrajeron muestras no disturbadas de los primeros 20 cm del suelo mediante el uso de un barreno agrológico marca Eijkelkamp, modelo “Edelman simple” de 7 cm de diámetro, instrumento especializado para la obtención de este tipo de muestras, sin realizar una excavación mayor.

Finalmente, las muestras fueron almacenadas en sus respectivas bolsas herméticas de polietileno, debidamente selladas y rotuladas, y posteriormente trasladadas vía terrestre a la ciudad de Santiago para su análisis en el laboratorio Agrolab. Dicho laboratorio se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo y por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Los análisis de suelo consideraron la determinación de propiedades fisicoquímicas generales, la concentración de macronutrientes disponibles, cationes intercambiables y microelementos, con el objetivo de caracterizar las condiciones edáficas del área de estudio.

En relación con las propiedades fisicoquímicas generales, se determinó el pH del suelo (suspensión con relación suelo:agua 1:2,5), la conductividad eléctrica (CE) en extracto saturado, expresada en dS/m, y el contenido de materia orgánica, expresado en porcentaje (%). Respecto a los macronutrientes, se determinó el contenido de nitrógeno disponible (N), fósforo disponible (P) y potasio disponible (K), cuyos resultados se expresan en mg/kg. La metodología de estos análisis se puede apreciar en la Tabla 2.

En cuanto a los cationes intercambiables, se cuantificaron calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+) y sodio (Na^+), expresados en $\text{cmol}(+)/\text{kg}$. Adicionalmente, se determinaron la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la suma de bases ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$) y el porcentaje de saturación de los cationes respecto de la CIC (%). Asimismo, se determinaron microelementos disponibles, incluyendo hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu), cuyos resultados se expresan en mg/kg. La metodología de estos análisis también se puede apreciar en la Tabla 2.

Luego de la entrega de los resultados de la determinación de la humedad aprovechable en porcentaje (%), se transformaron los valores a cm de columna de agua (cm c.a.), para una mejor interpretación de los resultados. Para esto, fue necesario determinar la Densidad Aparente (D_a), la cual fue medida en laboratorio por el método del cilindro (Sandoval *et al.*, 2012), aplicando la Ecuación 1.

$$\text{Agua Aprovechable} = (\text{CC} - \text{PMP}) / 100 * \text{Da} * z * (1 - (\text{P}/100))$$

Donde:

- Agua Aprovechable = altura de agua (cm c.a.)
- CC = capacidad de campo (%)
- PMP = punto de marchitez permanente (%)
- Da = densidad aparente del suelo (g/cm³)
- z = profundidad del horizonte (cm)
- P = Porcentaje de pedregosidad (%) (solo si existen fragmentos sobre los 20 mm de diámetro).

Ecuación 1. Determinación del Agua Aprovechable (cm c.a.)

Tabla 2. Listado de parámetros de suelos y metodología analítica utilizada.

Parámetro	Metodología analítica utilizada
pH Suspensión Acuosa 1:2,5	3.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile
Conductividad Eléctrica (CE) Suspensión Acuosa 1:2,5	3.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile
Conductividad Eléctrica (CE): Extracto de Pasta Saturada	9.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile
% Materia Orgánica	7.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile
Relación de Adsorción de Na (RAS) Pasta Saturada	10.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ y Na ⁺	Solución de Acetato de Sodio y extracción con Acetato de Amonio ¹
Zn, Mn, Fe, Cu disponibles	Extracción con DTPA (Ácido Dietilentriaminopentaacético) ¹
N-NO ₃ y N-NH ₄	Potenciometría ¹
Cloruro	Titulación potenciométrica con nitrato de plata ¹
HCO ₃	Titulación potenciométrica con ácido ¹
SO ₄ ²⁻	Turbidimetría por cloruro de bario ¹
P	Colorimetría por azul de molibdeno ¹
B	Colorimetría por azometina H ¹
Textura	3.2 Métodos de Análisis Físico de Suelos (Bouyoucos)
Retención de Humedad (PMP, CC y HA)	7.1 Métodos de Análisis Físico de Suelos (Placas de presión)
Densidad Aparente	5.2 Métodos de Análisis Físico de Suelos (Cilindro)

¹Método informado por laboratorio Agrolab.

4. Resultados

4.1 Puntos de muestreo

Los análisis de fertilidad, salinidad y humedad aprovechable del suelo fueron realizados en sectores aledaños a las 16 parcelas de monitoreo mencionadas anteriormente, las cuales fueron identificadas mediante la nomenclatura “P”. Para ello, se georreferenciaron 16 puntos de muestreo, designados bajo la nomenclatura “SFSH” (siglas de “Suelo, Fertilidad, Salinidad y Humedad”). Estos puntos de muestreo fueron ubicados dentro de un radio máximo de 5 m respecto de cada parcela de referencia, evitando su instalación dentro de las mismas, con el objetivo de no generar alteraciones sobre las especies vegetales establecidas, ni interferir en el seguimiento y medición de los rasgos morfofisiológicos de las plantas.

La localización de los puntos de muestreo se presenta en la Tabla 3, mientras que su distribución espacial se ilustra en la Figura 2.

Tabla 3. Detalles de las parcelas de monitoreo y puntos de muestreo de suelos.

Punto	Descripción	Coordenadas UTM WGS 84 H 19	
		Este	Norte
SFSH01	Fertilidad, Salinidad y HA	476148	7089929
SFSH02	Fertilidad, Salinidad y HA	476459	7089714
SFSH03	Fertilidad, Salinidad y HA	476490	7089563
SFSH04	Fertilidad, Salinidad y HA	476593	7089754
SFSH05	Fertilidad, Salinidad y HA	476611	7089597
SFSH06	Fertilidad, Salinidad y HA	476553	7089363
SFSH07	Fertilidad, Salinidad y HA	477058	7088876
SFSH08	Fertilidad, Salinidad y HA	477104	7089092
SFSH09	Fertilidad, Salinidad y HA	476997	7089226
SFSH10	Fertilidad, Salinidad y HA	476993	7088689
SFSH11	Fertilidad, Salinidad y HA	477071	7088276
SFSH12	Fertilidad, Salinidad y HA	476897	7088164
SFSH13	Fertilidad, Salinidad y HA	476791	7088077
SFSH14	Fertilidad, Salinidad y HA	477231	7088082
SFSH15	Fertilidad, Salinidad y HA	477460	7087978
SFSH16	Fertilidad, Salinidad y HA	477639	7088041
P01	Parcela de monitoreo	476152	7089937
P02	Parcela de monitoreo	476453	7089714
P03	Parcela de monitoreo	476521	7089538
P04	Parcela de monitoreo	476556	7089358

Punto	Descripción	Coordenadas UTM WGS 84 H 19	
		Este	Norte
P05	Parcela de monitoreo	476607	7089594
P06	Parcela de monitoreo	476593	7089747
P07	Parcela de monitoreo	477001	7089244
P08	Parcela de monitoreo	477105	7089091
P09	Parcela de monitoreo	477057	7088876
P10	Parcela de monitoreo	477020	7088689
P11	Parcela de monitoreo	477064	7088273
P12	Parcela de monitoreo	476901	7088165
P13	Parcela de monitoreo	476793	7088077
P14	Parcela de monitoreo	477228	7088081
P15	Parcela de monitoreo	477459	7087971
P16	Parcela de monitoreo	477637	7088038

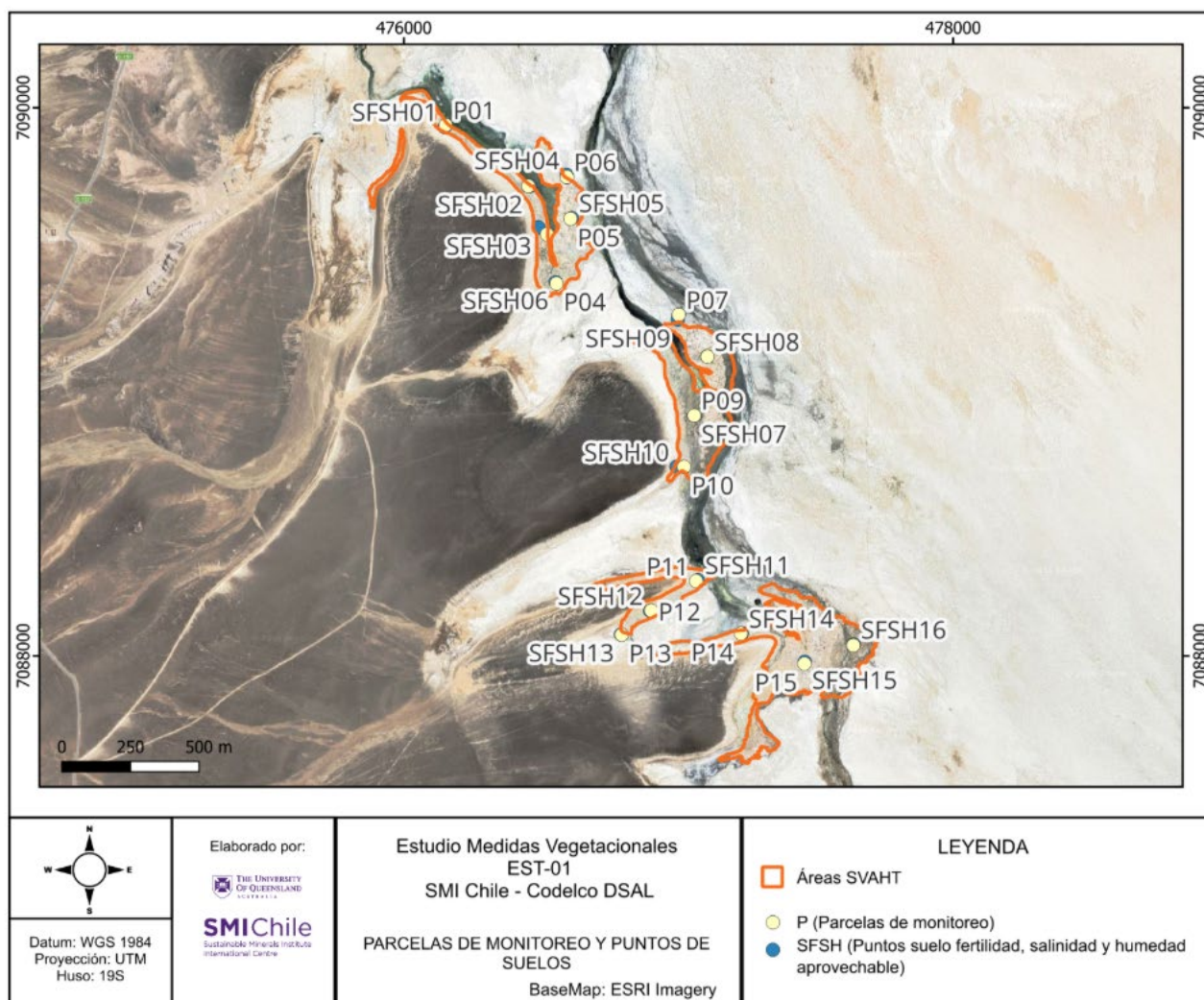


Figura 2. Parcelas de monitoreo, puntos de medición de suelos.

4.2 Determinación de propiedades fisicoquímicas

Los resultados obtenidos de las muestras de suelo de los diferentes puntos de muestreo enviadas a laboratorio para su análisis se presentan en la Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7. En el caso de disponerse de valores de referencia para la interpretación del nivel de concentración o rango de los parámetros determinados, se indicará en la columna a la derecha de los valores del parámetro correspondiente en la tabla. La totalidad de los resultados se presentan en el Anexo 01: Informe de análisis de laboratorio de muestras de suelos EST-01, mientras que los informes de laboratorio se pueden apreciar en el Anexo 02: Resultados de análisis de laboratorio EST-01.

Tabla 4. Resultados de análisis para MO, NPK disponibles, suma de bases y CIC.

Puntos	MO (%)	Interpretación ¹	N (mg/kg)	Interpretación ¹²	P (mg/kg)	Interpretación ¹	K (mg/kg)	Interpretación ²	Suma de bases (meq/100g)	CIC (meq/100g)	Interpretación ¹
SFSH01	3,7	Medio	44	Alto	23	Alto	784	Muy alto	22,6	22,3	Alta
SFSH02	6,9	Alto	58	Muy alto	31	Alto	1970	Muy alto	29,9	29,7	Alta
SFSH03	3,5	Medio	42	Alto	27	Alto	1031	Muy alto	23,3	23,4	Alta
SFSH04	3,6	Medio	44	Alto	21	Alto	997	Muy alto	29,6	29,5	Alta
SFSH05	13,6	Alto	60	Muy alto	25	Alto	974	Muy alto	33,4	43,7	Alta
SFSH06	2,8	Medio	35	Medio-alto	9	Medio	1073	Muy alto	22,9	22,5	Alta
SFSH07	4,3	Medio	48	Alto	11	Medio	529	Muy alto	19,1	19	Alta
SFSH08	31	Alto	98	Muy alto	167	Muy alto	2146	Muy alto	67	91,4	Alta
SFSH09	2	Bajo	30	Medio	12	Medio	1654	Muy alto	24,4	24,5	Alta
SFSH10	9,4	Alto	55	Muy alto	98	Muy alto	3315	Muy alto	50,2	51	Alta
SFSH11	12,5	Alto	57	Muy alto	55	Muy alto	2477	Muy alto	50,9	51	Alta
SFSH12	15,5	Alto	61	Muy alto	68	Muy alto	1936	Muy alto	56,5	56,5	Alta
SFSH13	13,6	Alto	59	Muy alto	72	Muy alto	3152	Muy alto	48,4	48,5	Alta
SFSH14	14,5	Alto	47	Alto	48	Muy alto	1487	Muy alto	46,6	46,5	Alta
SFSH15	16,2	Alto	53	Muy alto	99	Muy alto	1530	Muy alto	56	75,3	Alta
SFSH16	8,4	Alto	49	Alto	24	Alto	2759	Muy alto	38,3	38,4	Alta

¹ Hazelton y Murphy (2025) y ² Havlin *et al.* (2014) otorgan niveles de referencia e interpretación para los parámetros de MO, NPK y CIC.

Tabla 5. Resultados de análisis para concentración de micronutrientes disponibles, cloruro (Cl^-) y sulfato (SO_4^{2-}) solubles.

Puntos Muestreo	Fe (mg/kg)	Interpretación ¹	Mn (mg/kg)	Interpretación ¹	Zn (mg/kg)	Interpretación ¹	Cu (mg/kg)	Interpretación ¹	Cl^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)
SFSH01	66,7	Alto	4,2	Alto	1,5	Alto	2,1	Alto	21802	3888
SFSH02	167	Alto	1,4	Alto	2,7	Alto	5,4	Alto	26765	864
SFSH03	45,6	Alto	10,9	Alto	1,1	Alto	4,7	Alto	31728	3840
SFSH04	24,8	Alto	4,9	Alto	0,66	Medio	2,5	Alto	39881	7392
SFSH05	455	Alto	47	Alto	2,3	Alto	6,8	Alto	4183	1488
SFSH06	33,3	Alto	0,9	Muy Bajo	0,77	Medio	1,5	Alto	19498	2688
SFSH07	164	Alto	2,5	Alto	2,8	Alto	5,4	Alto	5849	2448
SFSH08	95,1	Alto	9,0	Alto	4,5	Alto	6,1	Alto	10812	2640
SFSH09	3,3	Medio	0,5	Bajo	0,51	Medio	1,3	Alto	15421	3504
SFSH10	90,9	Alto	74,5	Alto	2	Alto	7,7	Alto	33500	3792
SFSH11	27	Alto	31,5	Alto	6,1	Alto	16,2	Alto	29601	4080
SFSH12	108	Alto	45,1	Alto	14	Alto	13,7	Alto	13648	2736
SFSH13	73	Alto	32,6	Alto	2,2	Alto	5,6	Alto	39881	2880
SFSH14	28,4	Alto	3,1	Alto	18	Alto	9,8	Alto	14038	3072
SFSH15	18,3	Alto	2,8	Alto	4,6	Alto	5,1	Alto	39066	2544
SFSH16	149	Alto	23,7	Alto	3	Alto	8,7	Alto	26410	3552

¹ Brady y Weil (2017) otorga niveles de referencia e interpretación para Fe, Mn, Zn y Cu.

Tabla 6. Resultados de análisis para concentración de HCO_3^- , NO_3^- , B y CaCO_3 solubles, y Saturación de bases.

Puntos	HCO_3^- (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	B (mg/l)	Interpretación ¹	Saturación de bases (%)	Interpretación ²	CaCO_3 (%)
SFSH01	732	14	124	Alto	54	Muy Alto	8,4
SFSH02	1098	18	136	Alto	89	Muy Alto	7,8
SFSH03	244	13	152	Alto	44	Muy Alto	10
SFSH04	1342	15	545	Alto	57	Muy Alto	19
SFSH05	500	18	57	Alto	229	Muy Alto	1,5
SFSH06	238	12	88	Alto	97	Muy Alto	6,1
SFSH07	549	15	97	Alto	67	Muy Alto	6,3
SFSH08	567	23	184	Alto	255	Muy Alto	5,1
SFSH09	214	11	111	Alto	28	Muy Alto	24,6
SFSH10	494	21	346	Alto	104	Muy Alto	20,3
SFSH11	854	14	398	Alto	131	Muy Alto	18
SFSH12	671	16	231	Alto	175	Muy Alto	20,3
SFSH13	500	17	264	Alto	113	Muy Alto	20,5
SFSH14	464	14	209	Alto	143	Muy Alto	20
SFSH15	537	15	215	Alto	158	Muy Alto	8,8
SFSH16	915	14	242	Alto	58	Muy Alto	18,5

¹Brady y Weil (2017) y ² Hazelton y Murphy (2025) otorgan niveles de referencia e interpretación para la concentración de B y la saturación de bases.

Tabla 7. Resultados de análisis de las propiedades fisicoquímicas de los suelos.

Puntos	pH (en extracto)	Interpretación ¹	CE (dS/m) (en extracto)	Interpretación ²	RAS	Interpretación ²	Humedad aprovechable (cm c.a.)	Interpretación ²
SFSH01	7,4	Neutro	70	Extremadamente salino	75	Muy fuertemente sódico	0,3	Muy pobre
SFSH02	7,6	Ligeramente alcalino	76,1	Extremadamente salino	100	Muy fuertemente sódico	2,9	Muy pobre
SFSH03	7,3	Neutro	92,5	Extremadamente salino	114	Muy fuertemente sódico	0,9	Muy pobre
SFSH04	8,3	Moderadamente alcalino	133	Extremadamente salino	181	Muy fuertemente sódico	1,9	Muy pobre
SFSH05	7,7	Ligeramente alcalino	15,7	Extremadamente salino	27	Fuertemente sódico	2,7	Muy pobre
SFSH06	7,3	Neutro	60,1	Extremadamente salino	59	Muy fuertemente sódico	2,4	Muy pobre
SFSH07	7,8	Ligeramente alcalino	20,9	Extremadamente salino	23	Fuertemente sódico	0,9	Muy pobre
SFSH08	7,7	Ligeramente alcalino	37,6	Extremadamente salino	38	Muy fuertemente sódico	1,3	Muy pobre
SFSH09	7,8	Ligeramente alcalino	51,3	Extremadamente salino	69	Muy fuertemente sódico	0,4	Muy pobre
SFSH10	7,7	Ligeramente alcalino	103	Extremadamente salino	115	Muy fuertemente sódico	1,7	Muy pobre
SFSH11	7,8	Ligeramente alcalino	93,6	Extremadamente salino	104	Muy fuertemente sódico	2,3	Muy pobre
SFSH12	7,6	Ligeramente alcalino	45,5	Extremadamente salino	56	Muy fuertemente sódico	2,4	Muy pobre
SFSH13	7,6	Ligeramente alcalino	112	Extremadamente salino	115	Muy fuertemente sódico	1,5	Muy pobre
SFSH14	7,7	Ligeramente alcalino	46,1	Extremadamente salino	48	Muy fuertemente sódico	4,1	Muy pobre
SFSH15	7,2	Neutro	114	Extremadamente salino	103	Muy fuertemente sódico	2,2	Muy pobre
SFSH16	7,3	Neutro	82,9	Extremadamente salino	85	Muy fuertemente sódico	1,2	Muy pobre

¹Hazelton y Murphy (2025) y ²SAG (2011, rectificado 2016) otorgan niveles de referencia e interpretación para las propiedades de pH, CE, RAS y humedad aprovechable.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos evidencian que los suelos del área de estudio presentan valores de pH que varían entre neutros y moderadamente alcalinos (de 7,2 a 8,3). La conductividad eléctrica (CE) indica una condición de salinidad extrema en la totalidad de los puntos evaluados, con valores comprendidos entre 16 y 133 dS/m. Asimismo, la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) muestra niveles que fluctúan entre fuertemente sódicos y muy fuertemente sódicos, reflejando una marcada influencia del sodio intercambiable en la solución del suelo.

En relación con los nutrientes y otros parámetros químicos, las concentraciones de boro son altas en todos los puntos de muestreo, ya que se considera que por sobre los 2,0-3,0 mg/L, en extracto de pasta saturada, ya puede representar problemas de toxicidad, consideradas como tolerantes aquellas plantas que soportan concentraciones por sobre los 4,0 mg/L (Porta *et al.*, 2003). El contenido de materia orgánica (MO) varía entre niveles medios y altos en la mayoría de las zonas estudiadas, alcanzando máximos de un 31% de MO. El nitrógeno presenta concentraciones altas a muy altas, mientras que el fósforo muestra una variación desde niveles medios hasta muy altos. Por su parte, el potasio registra contenidos muy altos en la totalidad de las muestras analizadas.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es alta en todos los puntos evaluados, evidenciando una elevada capacidad de retención e intercambio de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+). El porcentaje de saturación de bases fluctúa entre valores moderados y muy altos, indicando que la gran mayoría de los sitios de intercambio que describe la CIC están ocupados por estos cationes básicos. Dentro de los cationes que dominan el complejo de cambio, los que conforman un mayor porcentaje de la CIC son el Ca^{2+} y el Na^+ , con cerca del 30~45% de la CIC cada uno y un promedio de 39,4% y 34,0%, respectivamente, mientras que el Mg^{2+} y K^+ conforman alrededor de un 5~15% de la CIC cada uno, con un promedio de 11,0% para ambos. Estos valores se acercan a lo descrito por algunos autores para zonas con baja precipitación, donde dominan los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ en la CIC (Brady y Weil, 2016). Los porcentajes que representan estos cationes de la CIC se pueden apreciar en la Tabla 8.

Tabla 8. Proporción (%) de cationes de la CIC.

Puntos	Cationes (% CIC)				Total ¹
	Calcio (Ca^{2+})	Magnesio (Mg^{2+})	Potasio (K^+)	Sodio (Na^+)	
SFSH01	45,0	10,0	9,0	37,7	101,7
SFSH02	32,0	15,0	17,0	37,0	101
SFSH03	41,0	8,0	11,3	39,3	99,6
SFSH04	43,0	8,0	8,6	41,4	101
SFSH05	30,0	7,0	5,7	34,3	77
SFSH06	42,0	14,0	12,2	33,3	101,5
SFSH07	49,0	9,0	7,1	34,2	99,3
SFSH08	23,0	18,0	6,0	26,3	73,3
SFSH09	37,0	8,0	17,3	37,1	99,4
SFSH10	39,0	10,0	12,2	37,3	98,5
SFSH11	45,0	12,0	12,4	30,4	99,8
SFSH12	44,0	8,0	8,8	38,9	99,7
SFSH13	43,0	10,0	16,6	29,9	99,5
SFSH14	49,0	11,0	8,2	31,4	99,6
SFSH15	27,0	19,0	5,2	22,8	74
SFSH16	40,0	9,0	18,4	32,3	99,7

¹Cuando la suma de los porcentajes de los cationes es menor al 100%, se debe posiblemente a la presencia de otros cationes en el complejo de intercambio, como hidrógeno (H^+) o Aluminio (Al^{3+}). Cuando la suma es mayor a 100%, se debe a la presencia de cationes libres en la solución suelo, que metodológicamente el extractante igual considera.

Respecto de los micronutrientes disponibles, los contenidos de hierro (Fe) son altos en todos los puntos de muestreo, mientras que el manganeso (Mn) presenta concentraciones muy altas en la mayoría de las muestras. El zinc (Zn) varía entre niveles medios y altos, y el cobre (Cu) registra concentraciones altas en la totalidad de los suelos evaluados.

Es importante destacar que estas interpretaciones de niveles o rangos fueron realizadas para un amplio rango de tipos de suelos, generalmente considerando la abundancia de ciertos elementos en la corteza terrestre (Brady y Weil, 2016; Havlin *et al.*, 2016) y fueron utilizados únicamente con la finalidad de realizar comparaciones, por lo que no corresponden a una conclusión final de los niveles, ya que siempre se debe contemplar la situación sitio específica de donde se encuentran los suelos, su material parental, su pedogénesis y a los procesos a los que están sujetos (Hazelton y Murphy, 2025).

5. Discusión

Los suelos evaluados presentan características propias de ambientes alcalinos y salino-sódicos, destacando una elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC), concentraciones en la solución suelo potencialmente tóxicas de boro y, en algunos sectores, acumulaciones importantes de carbonato de calcio (CaCO_3). Estos resultados son esperables bajo las condiciones predominantes en ambientes áridos y semiáridos, donde las precipitaciones son menores que la evapotranspiración, lo que limita la lixiviación de sales y cationes liberados por la meteorización de los minerales, favoreciendo su acumulación en el perfil del suelo.

Si bien las condiciones de los SVAHT son justamente azonales, donde son capaces de desarrollarse especies vegetales debido al suministro y disponibilidad hídrica, estos ecosistemas de vegas y bofedales también están sometidos a las condiciones macroclimáticas predominantes de aridez.

La tasa de evapotranspiración es mayor a la precipitación y los aportes hídricos subterráneos, lo que impide un lavado de iones y favorece su acumulación en los horizontes superficiales por ascenso capilar. La diferencia con los suelos típicos de zonas áridas es que en caso de los SVAHT las sales están disueltas en la solución suelo, aunque también pueden estar dispuestas como costras superficiales.

De forma general, en aquellos suelos clasificados como salino-sódicos, y con valores de pH comprendidos entre 6 y 8, los principales factores limitantes para el crecimiento de las raíces corresponden a los efectos osmóticos derivados de la elevada concentración de sales solubles. Esta condición puede generar toxicidad asociada a los aniones dominantes, principalmente cloruro (Cl^-) y sulfato (SO_4^{2-}), así como toxicidad por sodio (Na^+), afectando el desarrollo y productividad de especies vegetales sensibles (Brady y Weil, 2016). Estas condiciones corresponden justamente a lo obtenido en los resultados de los análisis, donde se aprecia concentraciones muy altas de los aniones Cl^- y SO_4^{2-} . Por otra parte, con los niveles de pH registrados en el sitio de estudio, de entre 7,2 y 8,3, se podrían esperar deficiencias de micronutrientes esenciales, tales como cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), debido a su menor solubilidad y disponibilidad en medios alcalinos (Havlin *et al.*, 2016).

Sin embargo, los análisis químicos indican que, más que deficiencias nutricionales, estos suelos presentan concentraciones elevadas de macronutrientes disponibles, particularmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), así como altas concentraciones de micronutrientes disponibles como cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn). En el caso de los macronutrientes, estas concentraciones podrían favorecer el crecimiento y desarrollo de especies vegetales adaptadas a las condiciones locales. No obstante, las elevadas concentraciones de algunos micronutrientes podrían alcanzar niveles potencialmente tóxicos para especies no especializadas o sensibles a estos elementos, constituyendo un factor adicional de restricción para la vegetación de estos ambientes.

Desde un punto de vista físico, también se pueden destacar los bajos niveles de agua aprovechable, el cual es definido como “muy pobre”, para todos los puntos analizados, según SAG (2011, rectificado 2026). Estos bajos niveles se explican por la baja densidad aparente predominante en los primeros horizontes del perfil de suelo, con valores que oscilan entre los 0,26 y 0,35 g/cm³. Esta característica fue identificada mediante la descripción morfológica y muestreo de las calicatas realizadas en este SVAHT, como parte del estudio del componente suelo de la medida EST-02 (Apéndice 06 - Suelos). Si bien estos suelos suelen caracterizarse por los altos contenidos de

materia orgánica, que es capaz de aumentar la retención de agua, en este caso se trata de materia orgánica muy poco descompuesta, por las condiciones anóxicas de los suelos saturados. También destaca su bajo nivel de material mineral, el bajo porcentaje de arcillas y la nula estructura, lo que se traduce también en una menor capacidad de retener líquido.

La combinación de estos factores de alta salinidad, alta sodicidad, elevada alcalinidad y baja humedad aprovechable, determina una condición edáfica restrictiva para el establecimiento de la mayoría de las especies vegetales convencionales. Estas características resultan más favorables para comunidades vegetales halófitas adaptadas a elevadas concentraciones de sales, así como a condiciones de constante saturación, pero baja humedad aprovechable.

Desde una perspectiva ecosistémica, las características físicoquímicas observadas no solo representan restricciones para especies vegetales no adaptadas, sino que también sustentan esta flora especializada de vegas y bofedales altoandinos. La combinación de estos factores favorece comunidades vegetales adaptadas a condiciones extremas, las cuales desempeñan un papel clave en servicios ecosistémicos como el ciclado de nutrientes, la acumulación de materia orgánica, la regulación hídrica y la estabilización de los suelos. De este modo, estas propiedades edáficas constituyen factores determinantes de la estructura y funcionamiento de los humedales altoandinos, contribuyendo al mantenimiento de su biodiversidad, resiliencia ante cambios y aporte de servicios ecosistémicos (Squeo *et al.*, 2024).

Tomando en cuenta lo levantado por el equipo de ecofisiología vegetal en el informe “Variables complementarias EST-01 - Componente: Ecofisiología Vegetal” (Apéndice: DSAEST_PRI25 Ecofisiología), en este se evidenció una alta variabilidad espacial entre las parcelas de monitoreo respecto a la respuesta fotosintética y fisiológica de las especies vegetales, específicamente de *Zameioscirpus atacamensis* y *Triglochin concinna*. Esto refleja, por un lado, una alta heterogeneidad ambiental del sistema, así como las distintas estrategias adaptativas de las plantas frente al estrés. Esto se relaciona directamente con los suelos, ya que justamente los principales factores de estrés vegetal son la salinidad y la disponibilidad hídrica, dos de las principales propiedades levantadas en los suelos en el presente estudio. Tal es su influencia sobre las especies, que se evidenció que la salinidad y la disponibilidad hídrica podrían afectar la distribución de las especies y las estrategias fisiológicas que les permiten subsistir en este ambiente.

6. Conclusiones

Los resultados muestran que los suelos del SVAHT ubicado en el Salar de Pedernales están fuertemente influenciados por las condiciones macroclimáticas de la alta cordillera andina. La elevada salinidad, sodicidad y alcalinidad observadas, junto con las altas concentraciones de cloruros, sulfatos y boro, reflejan procesos de acumulación de sales favorecidos por la escasa lixiviación y la intensa evapotranspiración. Aunque estos humedales cuentan con aportes permanentes de agua, los procesos que controlan las propiedades químicas de sus suelos son similares a los que ocurren en otros ambientes áridos o semiáridos, donde las sales tienden a concentrarse en los horizontes superficiales o en costras.

Estas condiciones generan restricciones para el establecimiento de la mayoría de las especies vegetales. Sin embargo, la vegetación que habita estos ambientes corresponde a especies especialmente adaptadas a tolerar altas concentraciones salinas, condiciones alcalinas y periodos prolongados de saturación del suelo. En este sentido, las propiedades edáficas actúan como un “filtro” ambiental que determina qué especies pueden desarrollarse y persistir en estos ecosistemas.

Por otra parte, las características del suelo no solo influyen sobre la vegetación, sino también sobre el funcionamiento general de los humedales altoandinos. La interacción entre suelo, agua y comunidades vegetales favorece procesos como el almacenamiento de materia orgánica, el ciclado de nutrientes y la regulación hídrica local, contribuyendo a la mantención de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos asociados. En consecuencia, los suelos constituyen un componente fundamental de los SVAHT altoandinos, ya que sus propiedades físicas y químicas sustentan la estructura, funcionamiento y resiliencia de estos ecosistemas.

Finalmente, la alta variabilidad espacial observada en las respuestas ecofisiológicas de las especies estudiadas evidencia que las propiedades del suelo constituyen un factor clave en la dinámica ecológica de estos humedales. Las diferencias registradas entre las parcelas de monitoreo sugieren que variaciones locales en salinidad, disponibilidad hídrica y composición química del suelo generan condiciones ambientales contrastantes, que influyen directamente en el desempeño fisiológico de las plantas y en sus estrategias de adaptación al estrés. Esto refuerza la importancia de considerar la heterogeneidad edáfica como un componente fundamental para comprender la distribución de la vegetación, la estructura de las comunidades y la resiliencia de las vegas y bofedales altoandinos frente a cambios ambientales y climáticos.

7. Referencias

- Brady, N. C., y Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Editorial Pearson.
- Casanova, M., Salazar, O., Valle, S., Zúñiga, F, Corradini F, Candia, R. (2025). *Manual de campo*. II Concurso Nacional de descripción de suelos. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. 58p.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L. y Beaton, J. D. (2014). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management* (8.ª ed.). Editorial Pearson.
- Hazelton, P., y Murphy, B. (2025). *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?* (4th ed.). CSIRO Publishing.
- Porta, J., López-Acevedo, M., y Roquero de Laburu, C. (2003). *Edafología: Para la agricultura y el medio ambiente* (3ra ed.). Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Sadzawka, A., Carrasco, M. A., Grez, R., y Mora, M. de la L. (2004). *Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos* (Revisión 2004). Comisión de Normalización y Acreditación, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo
- Sadzawka, A., Carrasco, M. A., Grez, R., Mora, M. L., Flores, H., y Neaman, A. (2006). *Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile*. Comisión de Normalización y Acreditación, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo.
- Sandoval, M., Dörner, F., Seguel, O., Cuevas, J., y Rivera, D. (2012). *Método de análisis físico de suelo*. Publicaciones, Departamento de Suelos y Recursos Naturales. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/59208>
- Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C., y Soil Survey Staff. (2012). *Field book for describing and sampling soils* (Version 3.0). Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, USDA.
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2025). *Guía metodológica para la descripción de ecosistemas terrestres* (2.ª ed.). Santiago, Chile.
- Squeo, F. A., Arcos, D., Catalán, R., y Vargas, F. (Eds.). (2024). *Biodiversidad marina y terrestre de la Región de Atacama*. Instituto de Ecología y Biodiversidad.

8. Anexos

8.1 Anexo 01: Resultados de laboratorio de suelos EST-01 – Campaña Primavera 2025

El archivo de nombre “DSAEST_PRI25_SuelosE01_Anexo01.pdf” se encuentra en formato digital.

8.2 Anexo 02: Informe de análisis de laboratorio de muestras de suelos EST-01.

El archivo de nombre “DSAEST_PRI25_SuelosE01_Anexo02.pdf” se encuentra en formato digital.

Apéndice 05: Resultados de laboratorio de suelos EST-01 - Campaña primavera 2025.

Informe de Campaña Primavera 2025

Componente: Suelos

Preparado para: Codelco Salvador
Santiago, 24 de junio 2026



Índice de Tablas

Tabla 1. Resultados de fertilidad y cationes intercambiables.	3
Tabla 2. Resultados de microelementos disponibles y cationes intercambiables.	4
Tabla 3. Resultados de salinidad, elementos solubles, retención de humedad y otras determinaciones.....	5

Resultados de Fertilidad, salinidad y humedad aprovechable.

Los análisis de suelo consideraron la determinación de propiedades químicas generales, macronutrientes, cationes intercambiables y microelementos, con el objetivo de caracterizar las condiciones edáficas del área de estudio.

En relación con las propiedades químicas generales, se evaluó el pH del suelo (relación suelo:agua 1:2,5), la conductividad eléctrica (CE) en extracto saturado, expresada en dS/m, y el contenido de materia orgánica, expresado en porcentaje (%). Respecto de los macronutrientes, se determinó el contenido de nitrógeno disponible (N), fósforo disponible (P) y potasio disponible (K), cuyos resultados se expresan en mg/kg (Tabla 1).

En cuanto a los cationes intercambiables, se cuantificaron calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na), expresados en cmol(+)/kg (equivalente a meq/100 g). Adicionalmente, se determinaron la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la suma de bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+}) y el porcentaje de saturación de los cationes respecto de la CIC (%) (Tabla 2). Asimismo, se determinaron microelementos disponibles, incluyendo hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu), cuyos resultados se expresan en mg/kg (Tabla 3).

Tabla 1. Resultados de fertilidad y cationes intercambiables.

Punto	Fertilidad						Cationes intercambiables					CIC
	pH	CE (dS/m)	MO (%)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	Na (meq/100g)	Suma de bases (meq/100g)	
SFSH01	8,6	70	3,7	44	23	784	10	2,2	2	8,4	22,6	22,3
SFSH02	8,4	76,1	6,9	58	31	1970	9,4	4,5	5	11	29,9	29,7
SFSH03	8,4	92,5	3,5	42	27	1031	9,7	1,8	2,6	9,2	23,3	23,4
SFSH04	8,8	133	3,6	44	21	997	12,6	2,3	2,5	12,2	29,6	29,5
SFSH05	8	15,7	13,6	60	25	974	12,9	3	2,5	15	33,4	43,7
SFSH06	8,1	60,1	2,8	35	9	1073	9,5	3,2	2,7	7,5	22,9	22,5
SFSH07	7,9	20,9	4,3	48	11	529	9,4	1,8	1,4	6,5	19,1	19
SFSH08	7,6	37,6	31	98	167	2146	20,6	16,9	5,5	24	67	91,4
SFSH09	8,5	51,3	2	30	12	1654	9,1	2	4,2	9,1	24,4	24,5
SFSH10	8,2	103	9,4	55	98	3315	20	5	6,2	19	50,2	51
SFSH11	8,2	93,6	12,5	57	55	2477	23	6,1	6,3	15,5	50,9	51
SFSH12	8,2	45,5	15,5	61	68	1936	25	4,5	5	22	56,5	56,5
SFSH13	8,3	112	13,6	59	72	3152	21	4,8	8,1	14,5	48,4	48,5
SFSH14	8,1	46,1	14,5	47	48	1487	23	5,2	3,8	14,6	46,6	46,5
SFSH15	7,4	114	16,2	53	99	1530	20,5	14,4	3,9	17,2	56	75,3
SFSH16	8,4	82,9	8,4	49	24	2759	15,4	3,4	7,1	12,4	38,3	38,4

Tabla 2. Resultados de microelementos disponibles, cationes y aniones solubles.

Punto	Microelementos disponibles				Cationes y aniones solubles							
	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)
SFSH01	66,7	4,2	1,5	2,1	1434	519	954	13133	21802	3888	732	14
SFSH02	167	1,4	2,7	5,4	832	527	1415	14950	26765	864	1098	18
SFSH03	45,6	10,9	1,1	4,7	1912	333	1740	20539	31728	3840	244	13
SFSH04	24,8	4,9	0,66	2,5	1326	254	3269	27485	39881	7392	1342	15
SFSH05	455	47	2,3	6,8	438	169	227	2645	4183	1488	500	18
SFSH06	33,3	0,9	0,77	1,5	1654	464	766	10626	19498	2688	238	12
SFSH07	164	2,5	2,8	5,4	1036	300	211	3312	5849	2448	549	15
SFSH08	95,1	9	4,5	6,1	1096	431	418	5888	10812	2640	567	23
SFSH09	3,3	0,5	0,51	1,3	1084	162	1947	9154	15421	3504	214	11
SFSH10	90,9	74,5	2	7,7	1664	453	2076	20470	33500	3792	494	21
SFSH11	27	31,5	6,1	16,2	1568	518	1376	18607	29601	4080	854	14
SFSH12	108	45,1	14	13,7	1000	380	637	8165	13648	2736	671	16
SFSH13	73	32,6	2,2	5,6	1924	599	2162	22655	39881	2880	500	17
SFSH14	28,4	3,1	18	9,8	1326	458	590	7935	14038	3072	464	14
SFSH15	18,3	2,8	4,6	5,1	2280	618	1474	21413	39066	2544	537	15
SFSH16	149	23,7	3	8,7	1660	484	1525	15341	26410	3552	915	14

Tabla 3. Resultados de salinidad, elementos solubles, retención de humedad y otras determinaciones.

Punto	Salinidad		Elementos solubles y otras determinaciones				Retención de humedad		
	pH	CE (dS/m)	RAS	B (mg/l)	% Saturación	CaCO3 (%)	CC %	PMP %	Humedad aprovechable %
SFSH01	7,4	70	75	124	54	8,4	10,9	4,2	6,7
SFSH02	7,6	76,1	100	136	89	7,8	97,6	41,4	56,2
SFSH03	7,3	92,5	114	152	44	10	42,1	25,5	16,6
SFSH04	8,3	133	181	545	57	19	56,6	19,4	37,2
SFSH05	7,7	15,7	27	57	229	1,5	81,5	30,3	51,2
SFSH06	7,3	60,1	59	88	97	6,1	65	18,5	46,5
SFSH07	7,8	20,9	23	97	67	6,3	25,5	12,5	13
SFSH08	7,7	37,6	38	184	255	5,1	105	85,8	19,1
SFSH09	7,8	51,3	69	111	28	24,6	20,8	12,4	8,4
SFSH10	7,7	103	115	346	104	20,3	53,6	29,5	24,1
SFSH11	7,8	93,6	104	398	131	18	90,8	58,3	32,5
SFSH12	7,6	45,5	56	231	175	20,3	69,2	35,6	33,6
SFSH13	7,6	112	115	264	113	20,5	58,8	37,9	20,9
SFSH14	7,7	46,1	48	209	143	20	106	47,6	58,7
SFSH15	7,2	114	103	215	158	8,8	114	82,9	30,9
SFSH16	7,3	82,9	85	242	58	18,5	42,5	24,9	17,6

INFORME DE RESULTADOS - Nº Orden: 209.486

ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 1/5

Identificación Cuartel :		P1 MC	P2 MC	P3 MC	P4 MC
Profundidad muestreo(cm) :					
Nº de Laboratorio :		306156	306157	306158	306159
Fertilidad					
pH (agua, relación 1:2,5)	1:2,5	8,6 Fuert.Alcalino	8,4 Alcalino	8,4 Alcalino	8,8 Fuert.Alcalino
C.Eléctrica (en extracto)	dS/m	70,0 Fuert.Salino	76,1 Fuert.Salino	92,5 Fuert.Salino	133 Fuert.Salino
Materia orgánica	%	3,7 Alto	6,9 Alto	3,5 Medio	3,6 Alto
Nitrógeno disponible (N)	mg/kg	44 Adecuado	58 Adecuado	42 Adecuado	44 Adecuado
Fósforo disponible (P)	mg/kg	23 Adecuado	31 Adecuado	27 Adecuado	21 Adecuado
Potasio disponible (K)	mg/kg	784 Adecuado	1970 Alto	1031 Alto	997 Alto
Cationes Intercambiables					
Calcio (Ca)	meq/100g	10,0 Adecuado	9,4 Adecuado	9,7 Adecuado	12,6 Adecuado
	% CIC	45	32	41	43
Magnesio (Mg)	meq/100g	2,2 Alto	4,5 Alto	1,8 Adecuado	2,3 Alto
	% CIC	10	15	8	8
Potasio (K)	meq/100g	2,0 Adecuado	5,0 Alto	2,6 Alto	2,5 Alto
	% CIC	9,0	17,0	11,3	8,6
Sodio (Na)	meq/100g	8,4 Alto	11,0 Alto	9,2 Alto	12,2 Alto
	% CIC	37,7	37,0	39,3	41,4
Suma de bases (Ca+Mg+K+Na)		22,6	29,9	23,3	29,6
CIC (Cap.Intercambio Cationico)	meq/100g	22,3	29,7	23,4	29,5
Microelementos disponibles					
Hierro (Fe)	mg/kg	66,7 Alto	167 Alto	45,6 Adecuado	24,8 Adecuado
Manganeso (Mn)	mg/kg	4,2 Adecuado	1,4 Medio	10,9 Alto	4,9 Adecuado
Zinc (Zn)	mg/kg	1,5 Adecuado	2,7 Adecuado	1,1 Adecuado	0,66 Medio
Cobre (Cu)	mg/kg	2,1 Adecuado	5,4 Adecuado	4,7 Adecuado	2,5 Adecuado

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH4. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyoucou. D.aparente:terron con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - Nº Orden: 209.486

ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 2/5

Identificación Cuartel :		P5 MC	P6 MC	P7 MC	P8 MC
Profundidad muestreo(cm) :					
Nº de Laboratorio :		306160	306161	306162	306163
Fertilidad					
pH (agua, relación 1:2,5)	1:2,5	8,0 Alcalino	8,1 Alcalino	8,6 Fuert.Alcalino	7,9 Lig.Alcalino
C.Eléctrica (en extracto)	dS/m	15,7 Salino	60,1 Fuert.Salino	12,7 Salino	20,9 Fuert.Salino
Materia orgánica	%	13,6 Muy Alto	2,8 Medio	3,3 Medio	4,3 Alto
Nitrógeno disponible (N)	mg/kg	60 Adecuado	35 Medio	45 Adecuado	48 Adecuado
Fósforo disponible (P)	mg/kg	25 Adecuado	9 Bajo	7 Bajo	11 Medio
Potasio disponible (K)	mg/kg	974 Alto	1073 Alto	251 Adecuado	529 Adecuado
Cationes Intercambiables					
Calcio (Ca)	meq/100g	12,9 Adecuado	9,5 Adecuado	8,2 Medio	9,4 Adecuado
	% CIC	30	42	53	49
Magnesio (Mg)	meq/100g	3,0 Alto	3,2 Alto	0,90 Medio	1,8 Adecuado
	% CIC	7	14	6	9
Potasio (K)	meq/100g	2,5 Alto	2,7 Alto	0,64 Adecuado	1,4 Adecuado
	% CIC	5,7	12,2	4,2	7,1
Sodio (Na)	meq/100g	15,0 Alto	7,5 Alto	5,6 Alto	6,5 Alto
	% CIC	34,3	33,3	36,4	34,2
Suma de bases (Ca+Mg+K+Na)		33,4	22,9	15,3	19,1
CIC (Cap.Intercambio Cationico)	meq/100g	43,7	22,5	15,4	19,0
Microelementos disponibles					
Hierro (Fe)	mg/kg	455 Alto	33,3 Adecuado	48,6 Adecuado	164 Alto
Manganeso (Mn)	mg/kg	47,0 Alto	0,90 Bajo	2,2 Adecuado	2,5 Adecuado
Zinc (Zn)	mg/kg	2,3 Adecuado	0,77 Medio	2,0 Adecuado	2,8 Adecuado
Cobre (Cu)	mg/kg	6,8 Adecuado	1,5 Adecuado	2,1 Adecuado	5,4 Adecuado

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH4. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyoucou. D.aparente:terron con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - Nº Orden: 209.486
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 3/5

Identificación Cuartel :		P9 MC	P10A MC	P11 MC	P12 MC
Profundidad muestreo(cm) :					
Nº de Laboratorio :		306164	306165	306166	306167
Fertilidad					
pH (agua, relación 1:2,5)	1:2,5	7,6 Lig.Alcalino	8,5 Fuert.Alcalino	8,2 Alcalino	8,2 Alcalino
C.Eléctrica (en extracto)	dS/m	37,6 Fuert.Salino	51,3 Fuert.Salino	93,6 Fuert.Salino	45,5 Fuert.Salino
Materia orgánica	%	31,0 Muy Alto	2,0 Bajo	12,5 Muy Alto	15,5 Muy Alto
Nitrógeno disponible (N)	mg/kg	98 Alto	30 Medio	57 Adecuado	61 Adecuado
Fósforo disponible (P)	mg/kg	167 Alto	12 Medio	55 Adecuado	68 Alto
Potasio disponible (K)	mg/kg	2146 Alto	1654 Alto	2477 Alto	1936 Alto
Cationes Intercambiables					
Calcio (Ca)	meq/100g	20,6 Alto	9,1 Adecuado	23,0 Alto	25,0 Alto
	% CIC	23	37	45	44
Magnesio (Mg)	meq/100g	16,9 Alto	2,0 Adecuado	6,1 Alto	4,5 Alto
	% CIC	18	8	12	8
Potasio (K)	meq/100g	5,5 Alto	4,2 Alto	6,3 Alto	5,0 Alto
	% CIC	6,0	17,3	12,4	8,8
Sodio (Na)	meq/100g	24,0 Alto	9,1 Alto	15,5 Alto	22,0 Alto
	% CIC	26,3	37,1	30,4	38,9
Suma de bases (Ca+Mg+K+Na)		67,0	24,4	50,9	56,5
CIC (Cap.Intercambio Cationico)	meq/100g	91,4	24,5	51,0	56,5
Microelementos disponibles					
Hierro (Fe)	mg/kg	95,1 Alto	3,3 Bajo	27,0 Adecuado	108 Alto
Manganeso (Mn)	mg/kg	9,0 Adecuado	0,50 Muy Bajo	31,5 Alto	45,1 Alto
Zinc (Zn)	mg/kg	4,5 Adecuado	0,51 Medio	6,1 Adecuado	14,0 Adecuado
Cobre (Cu)	mg/kg	6,1 Adecuado	1,3 Adecuado	16,2 Alto	13,7 Alto

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH₄. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyouco. D.aparente:terron con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.486

ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 4/5

Identificación Cuartel :		P13 MC	P14 MC	P15 MC	P16 MC
Profundidad muestreo(cm) :					
N° de Laboratorio :		306168	306169	306170	306171
Fertilidad					
pH (agua, relación 1:2,5)	1:2,5	8,3 Alcalino	8,1 Alcalino	7,4 Neutro	8,4 Alcalino
C.Eléctrica (en extracto)	dS/m	112 Fuert.Salino	46,1 Fuert.Salino	114 Fuert.Salino	82,9 Fuert.Salino
Materia orgánica	%	13,6 Muy Alto	14,5 Muy Alto	16,2 Muy Alto	8,4 Muy Alto
Nitrógeno disponible (N)	mg/kg	59 Adecuado	47 Adecuado	53 Adecuado	49 Adecuado
Fósforo disponible (P)	mg/kg	72 Alto	48 Adecuado	99 Alto	24 Adecuado
Potasio disponible (K)	mg/kg	3152 Alto	1487 Alto	1530 Alto	2759 Alto
Cationes Intercambiables					
Calcio (Ca)	meq/100g	21,0 Alto	23,0 Alto	20,5 Alto	15,4 Alto
	% CIC	43	49	27	40
Magnesio (Mg)	meq/100g	4,8 Alto	5,2 Alto	14,4 Alto	3,4 Alto
	% CIC	10	11	19	9
Potasio (K)	meq/100g	8,1 Alto	3,8 Alto	3,9 Alto	7,1 Alto
	% CIC	16,6	8,2	5,2	18,4
Sodio (Na)	meq/100g	14,5 Alto	14,6 Alto	17,2 Alto	12,4 Alto
	% CIC	29,9	31,4	22,8	32,3
Suma de bases (Ca+Mg+K+Na)		48,4	46,6	56,0	38,3
CIC (Cap.Intercambio Cationico)	meq/100g	48,5	46,5	75,3	38,4
Microelementos disponibles					
Hierro (Fe)	mg/kg	73,0 Alto	28,4 Adecuado	18,3 Adecuado	149 Alto
Manganeso (Mn)	mg/kg	32,6 Alto	3,1 Adecuado	2,8 Adecuado	23,7 Alto
Zinc (Zn)	mg/kg	2,2 Adecuado	18,0 Adecuado	4,6 Adecuado	3,0 Adecuado
Cobre (Cu)	mg/kg	5,6 Adecuado	9,8 Adecuado	5,1 Adecuado	8,7 Adecuado

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH4. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyoucou. D.aparente:terron con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - Nº Orden: 209.486
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 5/5

Identificación Cuartel	:	P17 MC
Profundidad muestreo(cm)	:	
Nº de Laboratorio	:	306172
Fertilidad		
pH	(agua, relación 1:2,5)	1:2,5 8,1 Alcalino
C.Eléctrica	(en extracto) dS/m	60,2 Fuert.Salino
Materia orgánica	%	9,6 Muy Alto
Nitrógeno disponible	(N) mg/kg	52 Adecuado
Fósforo disponible	(P) mg/kg	23 Adecuado
Potasio disponible	(K) mg/kg	1355 Alto
Cationes Intercambiables		
Calcio	(Ca) meq/100g	15,5 Alto
	% CIC	44
Magnesio	(Mg) meq/100g	2,9 Alto
	% CIC	8
Potasio	(K) meq/100g	3,5 Alto
	% CIC	9,8
Sodio	(Na) meq/100g	13,1 Alto
	% CIC	37,2
Suma de bases (Ca+Mg+K+Na)		35,0
CIC (Cap.Intercambio Cationico)	meq/100g	35,2
Microelementos disponibles		
Hierro	(Fe) mg/kg	153 Alto
Manganeso	(Mn) mg/kg	25,6 Alto
Zinc	(Zn) mg/kg	9,9 Adecuado
Cobre	(Cu) mg/kg	6,5 Adecuado

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH4. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyouco. D.aparente:terron con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - Nº Orden: 209.488 ANALISIS SUELO

Productor : Smi Ice Chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 06-02-2026 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 1/1

Identificación Cuartel	:	P10B MC
Profundidad muestreo(cm)	:	
Nº de Laboratorio	:	306191
Fertilidad		
pH	(agua, relación 1:2,5)	1:2,5 8,2 Alcalino
C.Eléctrica	(en extracto)	dS/m 103 Fuert.Salino
Materia orgánica	%	9,4 Muy Alto
Nitrógeno disponible	(N) mg/kg	55 Adecuado
Fósforo disponible	(P) mg/kg	98 Alto
Potasio disponible	(K) mg/kg	3315 Alto
Cationes Intercambiables		
Calcio	(Ca) meq/100g	20,0 Alto
	% CIC	39
Magnesio	(Mg) meq/100g	5,0 Alto
	% CIC	10
Potasio	(K) meq/100g	6,2 Alto
	% CIC	12,2
Sodio	(Na) meq/100g	19,0 Alto
	% CIC	37,3
Suma de bases (Ca+Mg+K+Na)		50,2
CIC (Cap.Intercambio Cationico)	meq/100g	51,0
Microelementos disponibles		
Hierro	(Fe) mg/kg	90,9 Alto
Manganeso	(Mn) mg/kg	74,5 Alto
Zinc	(Zn) mg/kg	2,0 Adecuado
Cobre	(Cu) mg/kg	7,7 Adecuado

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH₄. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyouco. D.aparente:terron con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.487 ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 1/5

Identificación Cuartel :	P1 HA	P2 HA	P3 HA	P4 HA
Profundidad muestreo(cm) :				
N° de Laboratorio :	306173	306174	306175	306176
Retención de humedad				
0,3 bar (Capacidad de Campo) %	10,9	97,6	42,1	56,6
15,0 bar (Pto.Marchitez Permanente) %	4,2	41,4	25,5	19,4
Humedad aprovechable (peso) %	6,7	56,2	16,6	37,2

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH₄. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyouco. D.aparente:terron con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.487

ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 2/5

Identificación Cuartel :	P5 HA	P6 HA	P7 HA	P8 HA
Profundidad muestreo(cm) :				
N° de Laboratorio :	306177	306178	306179	306180
Retención de humedad				
0,3 bar (Capacidad de Campo) %	81,5	65	8,9	25,5
15,0 bar (Pto.Marchitez Permanente) %	30,3	18,5	4,8	12,5
Humedad aprovechable (peso) %	51,2	46,5	4,1	13

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH₄. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyouco. D.aparente:terron con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.487
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 3/5

Identificación Cuartel :	P9 HA	P10A HA	P10B HA	P11 HA
Profundidad muestreo(cm) :				
N° de Laboratorio :	306181	306182	306183	306184
Retención de humedad				
0,3 bar (Capacidad de Campo) %	105	20,8	53,6	90,8
15,0 bar (Pto.Marchitez Permanente) %	85,8	12,4	29,5	58,3
Humedad aprovechable (peso) %	19,1	8,4	24,1	32,5

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH4. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyouco. D.aparente:terron con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.487
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 4/5

Identificación Cuartel :	P12 HA	P13 HA	P14 HA	P15 HA
Profundidad muestreo(cm) :				
N° de Laboratorio :	306185	306186	306187	306188
Retención de humedad				
0,3 bar (Capacidad de Campo) %	69,2	58,8	106	114
15,0 bar (Pto.Marchitez Permanente) %	35,6	37,9	47,6	82,9
Humedad aprovechable (peso) %	33,6	20,9	58,7	30,9

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH₄. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyouco. D.aparente:terron con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.487 ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 5/5

Identificación Cuartel :	P16 HA	P17 HA
Profundidad muestreo(cm) :		
N° de Laboratorio :	306189	306190
Retención de humedad		
0,3 bar (Capacidad de Campo) %	42,5	64
15,0 bar (Pto.Marchitez Permanente) %	24,9	29,6
Humedad aprovechable (peso) %	17,6	34,4

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH4. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyouco. D.aparente:terron con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.486
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 1/5

Identificación Cuartel	:	P1 MC	P2 MC	P3 MC	P4 MC	Rango para Interpretación	
Profundidad muestreo(cm)	:					Sin Problema	Problema Severo
N° de Laboratorio	:	306156	306157	306158	306159		
Salinidad							
pH (en extracto)		7,4	7,6	7,3	8,3	6,5-8,0	> 8,5
C.Eléctrica (en extracto) dS/m		70,0	76,1	92,5	133	< 2,0	> 4,0
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -		75	100	114	181	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)							
Calcio (Ca) meq/l		71,7	41,6	95,6	66,3		
Magnesio (Mg) meq/l		42,7	43,4	27,4	20,9		
Potasio (K) meq/l		24,4	36,2	44,5	83,6		
Sodio (Na) meq/l		571	650	893	1195	< 5,0	>30,0
Cloruro (Cl) meq/l		615	755	895	1125	<10,0	>30,0
Sulfato (SO4) meq/l		81	18	80	154		
Bicarbonato (HCO3) meq/l		12	18	4,0	22	< 4,0	> 8,5
Cationes y aniones solubles (mg/l)							
Calcio (Ca) mg/l		1434	832	1912	1326		
Magnesio (Mg) mg/l		519	527	333	254		
Potasio (K) mg/l		954	1415	1740	3269		
Sodio (Na) mg/l		13133	14950	20539	27485	<115	>700
Cloruro (Cl) mg/l		21802	26765	31728	39881	<350	>1000
Sulfato (SO4) mg/l		3888	864	3840	7392		
Bicarbonato (HCO3) mg/l		732	1098	244	1342	<240	>500
Nitrato soluble (NO3) mg/l		14	18	13	15		
Otros elementos solubles							
Boro soluble (B) mg/l		124	136	152	545	< 1,0	> 3,0
Otras determinaciones							
%Saturación (retención agua en pasta)		54	89	44	57		
Carbonato total (CaCO ₃ %)		8,4	7,8	10,0	19,0	<5,0	>20

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.486
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 2/5

Identificación Cuartel	P5 MC	P6 MC	P7 MC	P8 MC	Rango para Interpretación	
Profundidad muestreo(cm)					Sin Problema	Problema Severo
N° de Laboratorio	306160	306161	306162	306163		
Salinidad						
pH (en extracto)	7,7	7,3	7,7	7,8	6,5-8,0	> 8,5
C.Eléctrica (en extracto) dS/m	15,7	60,1	12,7	20,9	< 2,0	> 4,0
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	27	59	21	23	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)						
Calcio (Ca) meq/l	21,9	82,7	24,5	51,8		
Magnesio (Mg) meq/l	13,9	38,2	11,6	24,7		
Potasio (K) meq/l	5,8	19,6	3,7	5,4		
Sodio (Na) meq/l	115	462	87,1	144	< 5,0	>30,0
Cloruro (Cl) meq/l	118	550	95	165	<10,0	>30,0
Sulfato (SO4) meq/l	31	56	18	51		
Bicarbonato (HCO3) meq/l	8,2	3,9	5,9	9,0	< 4,0	> 8,5
Cationes y aniones solubles (mg/l)						
Calcio (Ca) mg/l	438	1654	490	1036		
Magnesio (Mg) mg/l	169	464	141	300		
Potasio (K) mg/l	227	766	145	211		
Sodio (Na) mg/l	2645	10626	2003	3312	<115	>700
Cloruro (Cl) mg/l	4183	19498	3368	5849	<350	>1000
Sulfato (SO4) mg/l	1488	2688	864	2448		
Bicarbonato (HCO3) mg/l	500	238	360	549	<240	>500
Nitrato soluble (NO3) mg/l	18	12	15	15		
Otros elementos solubles						
Boro soluble (B) mg/l	57	88	22	97	< 1,0	> 3,0
Otras determinaciones						
%Saturación (retención agua en pasta)	229	97	46	67		
Carbonato total (CaCO ₃ %)	1,5	6,1	10,3	6,3	<5,0	>20

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NNH₄:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO₃:titulación. SO₄:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.486
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 3/5

Identificación Cuartel	:	P9 MC	P10A MC	P11 MC	P12 MC	Rango para Interpretación	
Profundidad muestreo(cm)	:					Sin Problema	Problema Severo
N° de Laboratorio	:	306164	306165	306166	306167		
Salinidad							
pH (en extracto)		7,7	7,8	7,8	7,6	6,5-8,0	> 8,5
C.Eléctrica (en extracto) dS/m		37,6	51,3	93,6	45,5	< 2,0	> 4,0
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -		38	69	104	56	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)							
Calcio (Ca) meq/l		54,8	54,2	78,4	50,0		
Magnesio (Mg) meq/l		35,5	13,3	42,6	31,3		
Potasio (K) meq/l		10,7	49,8	35,2	16,3		
Sodio (Na) meq/l		256	398	809	355	< 5,0	>30,0
Cloruro (Cl) meq/l		305	435	835	385	<10,0	>30,0
Sulfato (SO4) meq/l		55	73	85	57		
Bicarbonato (HCO3) meq/l		9,3	3,5	14	11	< 4,0	> 8,5
Cationes y aniones solubles (mg/l)							
Calcio (Ca) mg/l		1096	1084	1568	1000		
Magnesio (Mg) mg/l		431	162	518	380		
Potasio (K) mg/l		418	1947	1376	637		
Sodio (Na) mg/l		5888	9154	18607	8165	<115	>700
Cloruro (Cl) mg/l		10812	15421	29601	13648	<350	>1000
Sulfato (SO4) mg/l		2640	3504	4080	2736		
Bicarbonato (HCO3) mg/l		567	214	854	671	<240	>500
Nitrato soluble (NO3) mg/l		23	11	14	16		
Otros elementos solubles							
Boro soluble (B) mg/l		184	111	398	231	< 1,0	> 3,0
Otras determinaciones							
%Saturación (retención agua en pasta)		255	28	131	175		
Carbonato total (CaCO ₃ %)		5,1	24,6	18,0	20,3	<5,0	>20

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NNH₄:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO₃:titulación. SO₄:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.486
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 4/5

Identificación Cuartel :	P13 MC	P14 MC	P15 MC	P16 MC	Rango para Interpretación	
Profundidad muestreo(cm) :					Sin Problema	Problema Severo
N° de Laboratorio :	306168	306169	306170	306171		
Salinidad						
pH (en extracto)	7,6	7,7	7,2	7,3	6,5-8,0	> 8,5
C.Eléctrica (en extracto) dS/m	112	46,1	114	82,9	< 2,0	> 4,0
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	115	48	103	85	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)						
Calcio (Ca) meq/l	96,2	66,3	114	83,0		
Magnesio (Mg) meq/l	49,3	37,7	50,9	39,8		
Potasio (K) meq/l	55,3	15,1	37,7	39,0		
Sodio (Na) meq/l	985	345	931	667	< 5,0	>30,0
Cloruro (Cl) meq/l	1125	396	1102	745	<10,0	>30,0
Sulfato (SO4) meq/l	60	64	53	74		
Bicarbonato (HCO3) meq/l	8,2	7,6	8,8	15	< 4,0	> 8,5
Cationes y aniones solubles (mg/l)						
Calcio (Ca) mg/l	1924	1326	2280	1660		
Magnesio (Mg) mg/l	599	458	618	484		
Potasio (K) mg/l	2162	590	1474	1525		
Sodio (Na) mg/l	22655	7935	21413	15341	<115	>700
Cloruro (Cl) mg/l	39881	14038	39066	26410	<350	>1000
Sulfato (SO4) mg/l	2880	3072	2544	3552		
Bicarbonato (HCO3) mg/l	500	464	537	915	<240	>500
Nitrato soluble (NO3) mg/l	17	14	15	14		
Otros elementos solubles						
Boro soluble (B) mg/l	264	209	215	242	< 1,0	> 3,0
Otras determinaciones						
%Saturación (retención agua en pasta)	113	143	158	58		
Carbonato total (CaCO ₃ %)	20,5	20,0	8,8	18,5	<5,0	>20

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NNH₄:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO₃:titulación. SO₄:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.486
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 5/5

Identificación Cuartel :	P17 MC	Rango para Interpretación	
Profundidad muestreo(cm) :		Sin Problema	Problema Severo
N° de Laboratorio :	306172		
Salinidad			
pH (en extracto)	7,5	6,5-8,0	> 8,5
C.Eléctrica (en extracto) dS/m	60,2	< 2,0	> 4,0
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	63	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)			
Calcio (Ca) meq/l	84,9		
Magnesio (Mg) meq/l	32,8		
Potasio (K) meq/l	20,8		
Sodio (Na) meq/l	485	< 5,0	>30,0
Cloruro (Cl) meq/l	540	<10,0	>30,0
Sulfato (SO4) meq/l	63		
Bicarbonato (HCO3) meq/l	4,8	< 4,0	> 8,5
Cationes y aniones solubles (mg/l)			
Calcio (Ca) mg/l	1698		
Magnesio (Mg) mg/l	399		
Potasio (K) mg/l	813		
Sodio (Na) mg/l	11155	<115	>700
Cloruro (Cl) mg/l	19143	<350	>1000
Sulfato (SO4) mg/l	3024		
Bicarbonato (HCO3) mg/l	293	<240	>500
Nitrato soluble (NO3) mg/l	16		
Otros elementos solubles			
Boro soluble (B) mg/l	103	< 1,0	> 3,0
Otras determinaciones			
%Saturación (retención agua en pasta)	119		
Carbonato total (CaCO ₃ %)	20,8	<5,0	>20

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NNH₃,NNH₄:Potenciometría con electrodo específico. C.Eléctrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO₃:titulación. SO₄:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485 ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 1/14

Identificación Cuartel :	CN C01 H1	CN C01 H2	CN C01 H3	CN C01 H4	Rango para Interpretación	
					Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm) :						
N° de Laboratorio :	306102	306103	306104	306105		
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	0,7	4,4	1,1	1,5	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)						
Calcio (Ca) meq/l	28,9	48,9	30,9	35,0		
Magnesio (Mg) meq/l	8,3	23,6	11,3	8,9		
Potasio (K) meq/l	0,29	1,00	0,25	0,29		
Sodio (Na) meq/l	3,2	26,3	4,9	6,9	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)						
Calcio (Ca) mg/l	578	978	618	700		
Magnesio (Mg) mg/l	101	287	137	108		
Potasio (K) mg/l	11	39	10	11		
Sodio (Na) mg/l	74	605	113	159	<115	>700
Otras determinaciones						
%Saturación (retención agua en pasta)	202	75	170	47		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivimetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimetrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 2/14

Identificación Cuartel :	CL C01 H1	CL C01 H2	CL C01 H3	CL C01 H4	Rango para Interpretación	
					Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm) :						
N° de Laboratorio :	306106	306107	306108	306109		
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	5,9	2,2	2,1	1,4	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)						
Calcio (Ca) meq/l	31,9	22,5	30,7	30,2		
Magnesio (Mg) meq/l	25,9	11,5	11,7	12,1		
Potasio (K) meq/l	4,8	1,6	1,5	1,1		
Sodio (Na) meq/l	31,9	9,0	9,8	6,5	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)						
Calcio (Ca) mg/l	638	450	614	604		
Magnesio (Mg) mg/l	315	140	142	147		
Potasio (K) mg/l	188	63	59	43		
Sodio (Na) mg/l	734	207	225	150	<115	>700
Otras determinaciones						
%Saturación (retención agua en pasta)	198	176	180	243		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NO3,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 3/14

Identificación Cuartel :	CL C01 H5	SALL 01 H1	SALL 01 H2	SALL 01 H3	Rango para Interpretación	
					Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm) :						
N° de Laboratorio :	306110	306111	306112	306113		
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	1,2	12	5,4	3,7	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)						
Calcio (Ca) meq/l	28,2	49,9	42,8	38,5		
Magnesio (Mg) meq/l	10,2	16,3	9,2	4,9		
Potasio (K) meq/l	0,73	6,0	2,6	1,8		
Sodio (Na) meq/l	5,2	71,0	27,3	17,4	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)						
Calcio (Ca) mg/l	564	998	856	770		
Magnesio (Mg) mg/l	124	198	112	60		
Potasio (K) mg/l	29	235	102	70		
Sodio (Na) mg/l	120	1633	628	400	<115	>700
Otras determinaciones						
%Saturación (retención agua en pasta)	339	88	85	54		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485 ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 4/14

Identificación Cuartel	SALL 01 H4	CSLO 01 H1	CSLO 01 H2	CSLO 01 H3	Rango para Interpretación	
					Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm)						
N° de Laboratorio	306114	306115	306116	306117		
RAS (Relación Adsorción de Sodio)	2,9	13	9,2	9,6	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)						
Calcio (Ca) meq/l	26,5	37,3	31,4	34,5		
Magnesio (Mg) meq/l	3,2	16,0	12,5	10,4		
Potasio (K) meq/l	1,2	7,0	4,4	4,1		
Sodio (Na) meq/l	11,2	67,7	43,2	45,4	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)						
Calcio (Ca) mg/l	530	746	628	690		
Magnesio (Mg) mg/l	39	194	152	126		
Potasio (K) mg/l	47	274	172	160		
Sodio (Na) mg/l	258	1557	994	1044	<115	>700
Otras determinaciones						
%Saturación (retención agua en pasta)	31	141	68	88		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NO3,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivimetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimetrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas para el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 5/14

Identificación Cuartel	CSLO 01 H4	LEON C01 H1	LEON C01 H2	LEON C01 H3	Rango para Interpretación	
Profundidad muestreo(cm)					Sin Problema	Problema Severo
N° de Laboratorio	306118	306119	306120	306121		
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	8,1	5,6	6,6	11	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)						
Calcio (Ca) meq/l	23,5	28,1	27,3	37,6		
Magnesio (Mg) meq/l	11,9	19,4	16,7	14,4		
Potasio (K) meq/l	2,8	1,9	2,2	6,9		
Sodio (Na) meq/l	34,1	27,4	30,8	57,8	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)						
Calcio (Ca) mg/l	470	562	546	752		
Magnesio (Mg) mg/l	145	236	203	175		
Potasio (K) mg/l	109	74	86	270		
Sodio (Na) mg/l	784	630	708	1329	<115	>700
Otras determinaciones						
%Saturación (retención agua en pasta)	58	179	94	158		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NO3,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485 ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 6/14

Identificación Cuartel :	LEON C01 H4	LEON C01 H5	LEON C01 H6	SP C01 H1	Rango para Interpretación	
Profundidad muestreo(cm) :					Sin Problema	Problema Severo
N° de Laboratorio :	306122	306123	306124	306125		
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	6,3	1,7	1,8	102	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)						
Calcio (Ca) meq/l	30,4	25,3	45,4	72,6		
Magnesio (Mg) meq/l	9,9	6,7	8,6	23,2		
Potasio (K) meq/l	2,7	0,56	1,2	28,8		
Sodio (Na) meq/l	28,1	6,7	9,6	706	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)						
Calcio (Ca) mg/l	608	506	908	1452		
Magnesio (Mg) mg/l	120	81	104	282		
Potasio (K) mg/l	106	22	47	1126		
Sodio (Na) mg/l	646	154	221	16238	<115	>700
Otras determinaciones						
%Saturación (retención agua en pasta)	182	444	110	103		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NO3,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 7/14

Identificación Cuartel	:	SP C01 H2	SP C01 H3	SAPE 01 H1	SAPE 01 H2	Rango para Interpretación	
						Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm)	:						
N° de Laboratorio	:	306126	306127	306128	306129		
RAS (Relación Adsorción de Sodio)	-	37	25	44	30	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)							
Calcio	(Ca) meq/l	45,3	36,5	55,3	44,2		
Magnesio	(Mg) meq/l	16,6	12,4	21,4	19,4		
Potasio	(K) meq/l	11,9	8,6	14,7	9,2		
Sodio	(Na) meq/l	206	126	271	167	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)							
Calcio	(Ca) mg/l	906	730	1106	884		
Magnesio	(Mg) mg/l	202	151	260	236		
Potasio	(K) mg/l	465	336	575	360		
Sodio	(Na) mg/l	4738	2898	6233	3841	<115	>700
Otras determinaciones							
%Saturación (retención agua en pasta)		204	61	99	234		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NO3,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivimetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimetrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 8/14

Identificación Cuartel :	SAPE 01 H3	SAPP 01 H1	SAPP 01 H2	SAPP 01 H3	Rango para Interpretación	
					Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm) :						
N° de Laboratorio :	306130	306131	306132	306133		
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	17	28	22	17	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)						
Calcio (Ca) meq/l	35,3	17,3	18,8	11,4		
Magnesio (Mg) meq/l	12,5	14,0	14,3	7,8		
Potasio (K) meq/l	3,8	8,8	5,5	2,6		
Sodio (Na) meq/l	82,3	110	90,0	53,4	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)						
Calcio (Ca) mg/l	706	346	376	228		
Magnesio (Mg) mg/l	152	170	174	95		
Potasio (K) mg/l	149	344	215	102		
Sodio (Na) mg/l	1893	2530	2070	1228	<115	>700
Otras determinaciones						
%Saturación (retención agua en pasta)	42	309	240	96		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas para el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 9/14

Identificación Cuartel	:	AS C01 H1	AS C01 H2	AS C01 H3	AS C01 H4	Rango para Interpretación	
						Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm)	:						
N° de Laboratorio	:	306134	306135	306136	306137		
RAS (Relación Adsorción de Sodio)	-	7,3	3,6	3,0	2,4	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)							
Calcio	(Ca) meq/l	71,5	36,9	40,2	40,8		
Magnesio	(Mg) meq/l	24,9	9,8	8,9	12,0		
Potasio	(K) meq/l	11,2	0,72	0,24	0,28		
Sodio	(Na) meq/l	50,6	17,5	14,7	12,1	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)							
Calcio	(Ca) mg/l	1430	738	804	816		
Magnesio	(Mg) mg/l	303	119	108	146		
Potasio	(K) mg/l	438	28	9	11		
Sodio	(Na) mg/l	1164	403	338	278	<115	>700
Otras determinaciones							
%Saturación (retención agua en pasta)		89	63	72	45		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NO3,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivimetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimetrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485 ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 10/14

Identificación Cuartel	AS C01 H5	RION H1	QTTI 01 H1	QTTI 01 H2	Rango para Interpretación	
					Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm)						
N° de Laboratorio	306138	306139	306140	306141		
RAS (Relación Adsorción de Sodio)	2,4	2,0	1,6	1,2	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)						
Calcio (Ca)	36,1	6,5	24,9	23,0		
Magnesio (Mg)	10,3	1,7	7,0	6,9		
Potasio (K)	0,20	2,7	0,27	0,66		
Sodio (Na)	11,6	4,1	6,4	4,8	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)						
Calcio (Ca)	722	130	498	460		
Magnesio (Mg)	125	21	85	84		
Potasio (K)	8	106	11	26		
Sodio (Na)	267	94	147	110	<115	>700
Otras determinaciones						
%Saturación (retención agua en pasta)	43	464	148	137		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivimetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimetrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 11/14

Identificación Cuartel :	QTTI 01 H3	QTTI 01 H4	QTTI 01 H5	QTOR 01 H1	Rango para Interpretación	
Profundidad muestreo(cm) :					Sin Problema	Problema Severo
N° de Laboratorio :	306142	306143	306144	306145		
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	0,8	0,8	0,8	3,2	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)						
Calcio (Ca) meq/l	18,3	17,7	25,7	17,3		
Magnesio (Mg) meq/l	6,1	6,4	9,8	7,0		
Potasio (K) meq/l	0,42	0,39	0,61	1,8		
Sodio (Na) meq/l	2,7	2,7	3,3	11,1	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)						
Calcio (Ca) mg/l	366	354	514	346		
Magnesio (Mg) mg/l	74	78	119	85		
Potasio (K) mg/l	16	15	24	70		
Sodio (Na) mg/l	62	62	76	255	<115	>700
Otras determinaciones						
%Saturación (retención agua en pasta)	58	67	71	98		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NO3,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 12/14

Identificación Cuartel	:	QTOR 01 H2	QTOR 01 H3	QTOR 01 H4	VERT2 01 H1	Rango para Interpretación	
						Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm)	:						
N° de Laboratorio	:	306146	306147	306148	306149		
RAS (Relación Adsorción de Sodio)	-	1,8	1,7	1,8	6,9	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)							
Calcio	(Ca) meq/l	8,4	5,5	5,1	20,4		
Magnesio	(Mg) meq/l	2,5	1,9	1,7	11,1		
Potasio	(K) meq/l	0,15	0,21	0,27	0,70		
Sodio	(Na) meq/l	4,1	3,2	3,4	27,3	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)							
Calcio	(Ca) mg/l	168	110	102	408		
Magnesio	(Mg) mg/l	30	23	21	135		
Potasio	(K) mg/l	6	8	11	27		
Sodio	(Na) mg/l	94	74	78	628	<115	>700
Otras determinaciones							
%Saturación (retención agua en pasta)		81	41	146	44		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado

Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NO3,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 13/14

Identificación Cuartel	VERT2 01 H2	VERT2 01 H3	PL C 01 H1	PL C 01 H2	Rango para Interpretación	
					Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm)						
N° de Laboratorio	306150	306151	306152	306153		
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	3,6	3,3	1,6	1,5	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)						
Calcio (Ca) meq/l	7,9	7,1	8,7	8,6		
Magnesio (Mg) meq/l	3,5	2,7	2,6	3,0		
Potasio (K) meq/l	0,19	0,18	1,3	1,1		
Sodio (Na) meq/l	8,7	7,3	3,7	3,7	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)						
Calcio (Ca) mg/l	158	142	174	172		
Magnesio (Mg) mg/l	43	33	32	36		
Potasio (K) mg/l	7	7	51	43		
Sodio (Na) mg/l	200	168	85	85	<115	>700
Otras determinaciones						
%Saturación (retención agua en pasta)	35	32	35	51		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NO3,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 209.485
ANALISIS SUELO

Productor : Smi-ice-chile Spa.
Predio :

Empresa :
Remite : Pablo Bustos

Provincia : Chañaral
Comuna : Diego De Almagro
Localidad : Diego De Almagro

Fecha muestreo : 01-12-2025 F.ingreso : 06-02-2026
Fecha análisis : 06-02-2026 F.informe : 27-02-2026

Pag. 14/14

Identificación Cuartel :	PL C 01 H3	PL C 01 H4	Rango para Interpretación	
			Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm) :				
N° de Laboratorio :	306154	306155		
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	1,6	1,3	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)				
Calcio (Ca) meq/l	2,4	3,2		
Magnesio (Mg) meq/l	0,8	1,1		
Potasio (K) meq/l	0,44	0,53		
Sodio (Na) meq/l	2,0	1,9	< 5,0	>30,0
Cationes y aniones solubles (mg/l)				
Calcio (Ca) mg/l	48	64		
Magnesio (Mg) mg/l	10	13		
Potasio (K) mg/l	17	21		
Sodio (Na) mg/l	46	44	<115	>700
Otras determinaciones				
%Saturación (retención agua en pasta)	33	31		

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado
Observacion1



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NO3,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl