

Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02

Informe de Gestión Anual 2026

Apéndice 06 – Suelos

Preparado para: Codelco Salvador

DSAEST_Anual26_Apendice06_Rev0

Santiago, 26 de junio 2026



En este apéndice se consolidan los resultados del periodo para Suelos. En detalle:

- Informe de Terreno – Campaña primavera 2025; Componente: Suelos
- Archivo digital “DSAEST_Anual26_Apéndice06_Anexos.zip”

Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02

Informe de Campaña Primavera 2025

Componente: Suelos

Preparado para: Codelco Salvador

DSAEST_PRI25_Suelos_Rev0

Santiago, 26 de junio 2026



Control del documento

REV	Fecha Aprobación	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
A	29/05/2026	Pablo Bustos Nataly Troncoso	Dr. David Rubinos	Daniela Gamboa
B	10-06-2026	Pablo Bustos Nataly Troncoso	Mauricio Vera y Jose Riveros	David Rubinos
C	22-06-2026	Pablo Bustos Nataly Troncoso	Jose Manuel Riveros	Daniela Gamboa
D	25-06-2026	Pablo Bustos María Paz Valenzuela	José Manuel Riveros	José Manuel Riveros
0	26-06-2026	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 Levantamiento de información bibliográfica.....	3
3.3 Obtención de información en terreno	4
3.4 Determinación de la Clase de Capacidad de Uso de Suelo (CCUS)	7
3.5 Sub-Clases de capacidad de uso	13
4. Resultados	14
4.1 Descripción de suelos	14
4.2 Determinación de las CCUS.....	22
4.3 Cartografías de las CCUS	25
4.4 Resultados de salinidad y humedad aprovechable por sector	28
5. Discusión.....	29
6. Conclusiones.....	32
7. Referencias	33
8. Anexos	34
8.1 Anexo 01: Formulario de descripción de suelos en terreno	34
8.2 Anexo 02: Descripción de calicatas y sectores de muestreo de suelos.	34
8.3 Anexo 03: Análisis físico-químicos de los suelos.....	34
8.4 Anexo 04: Informes de resultados físico-químicos de los suelos.	34

Índice de tablas

Tabla 1. Intensidad de muestreo.....	4
Tabla 2. Listado de parámetros de suelos y metodología analítica a utilizar para determinación de la CCUS.....	5
Tabla 3. Listado de parámetros de suelos y metodología analítica a utilizar para determinación de la salinidad y humedad.	5
Tabla 4. Clases de capacidad de uso de suelos en función de los criterios de clasificación.	8
Tabla 5. Clase de Capacidad de Usos de Suelo (CCUS) y sus usos adecuados.....	9
Tabla 6. Clasificación de la pedregosidad según el porcentaje de abundancia de fragmentos gruesos (> 2 cm).	11
Tabla 7. Matriz para la determinación de erosión en terreno.....	12

Tabla 8. Principales atributos de los sitios de descripción de suelos.....	16
Tabla 9. Principales atributos de los perfiles de suelo analizados.	17
Tabla 10. Resultados de laboratorio para la determinación de CCUS.....	18
Tabla 11. Velocidad promedio mensual del viento y ráfagas máximas en estaciones meteorológicas. 19	
Tabla 12. Determinación de la clase de drenaje de suelos.	21
Tabla 13. Determinación de las clases de erosión de suelo.....	22
Tabla 14. Matriz de características de los suelos para determinación de la CCUS.	23
Tabla 15. Determinación de las Clases de capacidad de uso de suelos (CCUS) en función de los criterios de clasificación.	24
Tabla 16. Resultados de conductividad eléctrica (CE) y humedad aprovechable.....	28

Índice de figuras

Figura 1. Área de Estudio Medidas EST-01 y EST-02.	3
Figura 2. Esquema de trabajo en terreno para el componente Suelos.....	6
Figura 3. Triángulo textural de suelo.....	10
Figura 4. Cartografía de las CCUS de los UHS de los Salares de Pedernales, La Laguna y Piedra Parada.....	25
Figura 5. Cartografía de las CCUS de los UHS de la cabecera sur del río La Ola y las quebradas Asiento, Pastos Largos y Leoncito.....	26
Figura 6. Cartografía de las CCUS de los UHS las quebradas Ciénaga, Colorado, Tinajas, Tordillos, Rio Negro y Vertiente 2.....	27

1. Introducción

La presente sección da cuenta de los antecedentes que caracterizan el componente suelo del Proyecto “Medidas Vegetacionales Pedernales EST-01 y EST-02” (en adelante el Proyecto), en conformidad en 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).

Este documento presenta la revisión y análisis de los antecedentes y resultados que permiten caracterizar el componente edáfico en todos los sitios a describir, con el objetivo de caracterizar los suelos de los diferentes sectores desde su definición fisicoquímica hasta su participación en el contexto ecosistémico.

Los resultados incluyen el análisis de la información recopilada durante la Campaña Primavera 2025, realizada durante el 24 y 30 de noviembre del 2025. Estos se componen de las descripciones de las calicatas y sus respectivos horizontes, los análisis de laboratorio de estos horizontes, así como los resultados de los análisis de las muestras para la determinación de la humedad y salinidad, con la finalidad de realizar un seguimiento semestral de estas variables.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

El levantamiento y caracterización de este componente tiene por objetivo definir las principales propiedades de los suelos del Área de Estudio, con el fin de entenderlos como un elemento activo y dinámico dentro del ecosistema, evaluando su capacidad para sostener la biodiversidad presente en los diferentes SVAHT, y su potencial de adaptación ante el cambio climático y afectaciones antrópicas. La información obtenida sobre los suelos y otros datos edáficos serán utilizados para alimentar el modelo ecosistémico.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el estado actual del recurso natural suelo desde el punto de vista morfológico y fisicoquímico, a través de la realización de calicatas, y la descripción y análisis de laboratorio de sus horizontes.
- En base a los datos obtenidos por medio de las calicatas, se busca realizar un análisis y determinación de la Clase de Capacidad de Usos de Suelos (CCUS), evaluando las limitaciones inherentes de cada perfil de suelo.
- Con la CCUS determinada en cada uno de los sectores del Área de Estudio, se busca realizar una cartografía de las CCUS por sitio.
- Obtener información de salinidad y humedad aprovechable del suelo (contenido de agua) en cada sector, para realizar un seguimiento de estas variables durante los 8 años de duración del estudio. De esta manera, se pretende evaluar las posibles variaciones estacionales y la dinámica temporal de estas propiedades, además de servir como input para el modelo ecosistémico conceptual de la Medida EST-01.

3. Materiales y Métodos

3.1 Área de Estudio

El Área de Estudio de la Medida EST-02 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. En específico, los SVAHT a monitorear comprenden en total una superficie de 175,18 ha, las cuales se distribuyen según el siguiente detalle de áreas (Figura 1):

- SVAHT activo del Salar de Pedernales con una superficie de 37,48 ha.
- SVAHT ubicados en cuencas cercanas de los Salares La Laguna y Piedra Parada que en total representan 8,91 Ha.
- Las quebradas aledañas de agua dulce denominadas: Ciénaga, Pastos Largos, Río Negro, Tinajas, Tordillo, Vertientes 2, El Colorado y Cabecera sur río La Ola las cuales representan una superficie de 79,77 ha.
- Quebrada Leoncito con una superficie de 46,22 ha.
- Quebrada aledaña de agua dulce denominada “Quebrada Asiento” con 2,8 ha.

De las áreas monitoreadas, los salares de Pedernales, La Laguna y Piedra Parada se emplazan dentro del sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad “Salar de Pedernales”, lo que refuerza la relevancia de su conservación debido a su alto valor estratégico por ser prioridad para la protección de la biodiversidad.

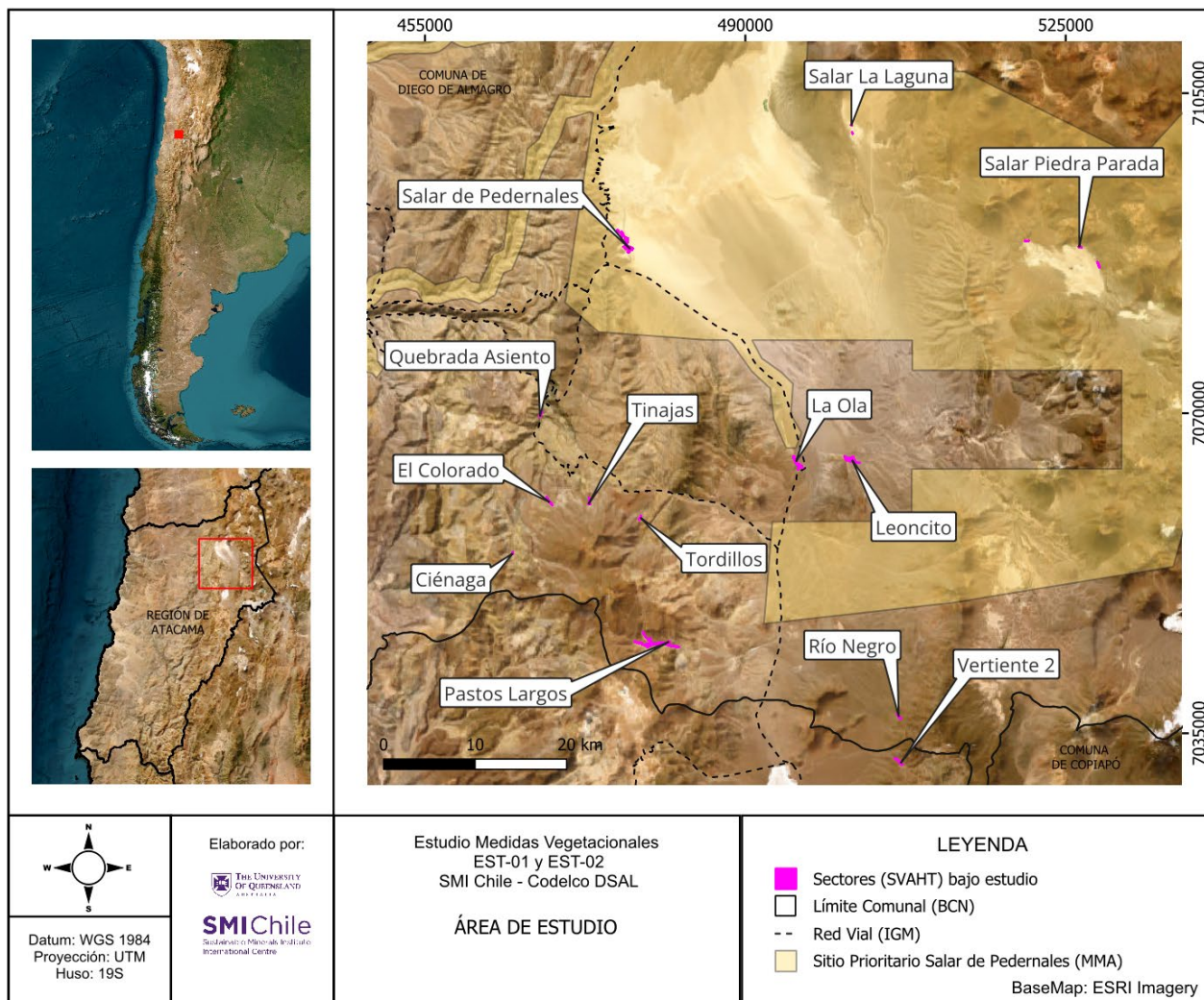


Figura 1. Área de Estudio Medidas EST-01 y EST-02.

3.2 Levantamiento de información bibliográfica

La primera etapa del estudio corresponde a la etapa de identificación de los diferentes tipos de suelos en el área de estudio, la cual se realizó mediante la recopilación de antecedentes bibliográficos (geográficos, geomorfológicos y fisicoquímicos) disponibles para la zona, complementada con la información disponible en Suelos de Chile y las zonas edáficas de Chile, entre otras (Luzio, 2010).

Posteriormente, se procedió con el análisis cartográfico, con el objetivo de identificar las Unidades Homogéneas de Suelo (UHS) del área de estudio, las cuales se determinaron a través de fotointerpretación geomorfológica o de indicadores externos (pendientes, geoformas, hidrografía, exposición, vegetación, usos, entre otros) con ayuda de los recursos otorgados por plataformas SIG, generando un archivo digital con información vectorial, en formato shape. A partir de la capa vectorial con las UHS, se define de manera preliminar el número y ubicación de los puntos de observación (calicatas), los cuales se validaron o modificaron en la etapa de terreno.

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

Tabla 1. Intensidad de muestreo.

Nivel de detalle	Objetivo	Número de observaciones	Escala cartográfica
Muy alto (Muy intensivo)	Para caracterización 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 caracterización 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 Obtención de información en terreno

La caracterización del componente suelo se llevó a cabo conforme a la “Guía de Evaluación Ambiental de Suelos” (2019) y la “Pauta para Estudio de Suelos” (2011, rectificada en 2016), ambas herramientas del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) empleadas para la identificación de las CCUS.

En esta campaña, las metodologías utilizadas para este componente corresponden a la descripción morfológica de los suelos, mediante la realización de calicatas, la cual se describe *in situ* a través del “Formulario de descripción de suelos en terreno” (Anexo 01), para luego realizar la recolección de muestras de los diferentes horizontes identificados para la caracterización de sus propiedades fisicoquímicas. Posteriormente, desde la segunda campaña, se realizará un seguimiento de los suelos para los parámetros de salinidad y humedad.

Durante esta campaña, se realizó la caracterización inicial de suelos utilizando como criterio la descripción de una calicata por unidad homogénea de suelo, de manera de poder construir el mapa de suelos en base a las CCUS. La descripción morfológica del suelo se realizó mediante la excavación de profundidad variable, describiendo cada uno de los horizontes visualizados, además de la extracción de muestras (2 kg de sustrato aproximadamente) para caracterizar sus propiedades fisicoquímicas.

Para cada uno de los horizontes del suelo, las características fisicoquímicas determinadas fueron: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, relación de adsorción de sodio (RAS), textura, retención de humedad y densidad aparente (Tabla 2). Por otro lado, las características físico-morfológicas determinadas en cada perfil de suelo fueron: pendiente (%), pedregosidad superficial y subsuperficial, profundidad a capas limitantes (nivel freático o material parental), horizontes (profundidad), clase textural, estructura, color (Valor/Croma según tabla Munsell), consistencia, plasticidad, adhesividad, densidad de poros y raíces, y presencia de fragmentos gruesos, drenaje, límite de horizontes, presencia de carbonatos, y, presencia de rasgos de óxido-reducción. También se realizó una descripción del contexto ambiental en el cual se inserta el suelo, evaluando aspectos tales como pendiente, exposición, clase de drenaje, pedregosidad superficial, cobertura vegetal y presencia de rasgos erosivos.

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

Parámetro	Metodología analítica utilizada
pH Suspensión Acuosa 1:2,5	3.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile (INIA)
Conductividad Eléctrica (CE) Suspensión Acuosa 1:2,5	3.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile (INIA)
Conductividad Eléctrica (CE) Extracto Pasta Saturada	9.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile (INIA)
% Materia Orgánica	7.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile (INIA)
Relación de Adsorción de Sodio (RAS) Pasta Saturada	10.1 Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile (INIA)
Textura	3.2 Métodos de Análisis Físico de Suelos (SCHCS)
Retención de Humedad (PMP, CC y HA)	7.1 Métodos de Análisis Físico de Suelos (SCHCS)
Densidad Aparente	5.2 Métodos de Análisis Físico de Suelos (SCHCS)

El plan de seguimiento de los suelos, a lo largo de los 8 años de estudio, considera el monitoreo de las variables de humedad y salinidad a las profundidades de 20 y 40 cm. Para esta primera campaña en particular, solo se tomaron muestras a los 20 cm, y a partir de la segunda campaña también se muestreará a los 40 cm. La metodología analítica para la determinación de ambos parámetros se indica en la Tabla 3. En el caso de la determinación de la salinidad, se considera un muestreo compuesto, para evitar la alta variabilidad que presentan los sistemas del área de estudio (SAG, 2010).

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

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

Las muestras colectadas fueron dispuestas en bolsas de polietileno, rotuladas y almacenadas según la metodología y criterios del “Protocolo de toma de muestras de suelos” elaborado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG, 2010), para ser enviadas al laboratorio de servicios del Agrolab, acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. El esquema de trabajo de terreno para la toma de muestras y el proceso de envío al laboratorio para su análisis se muestra a continuación en la Figura 2.

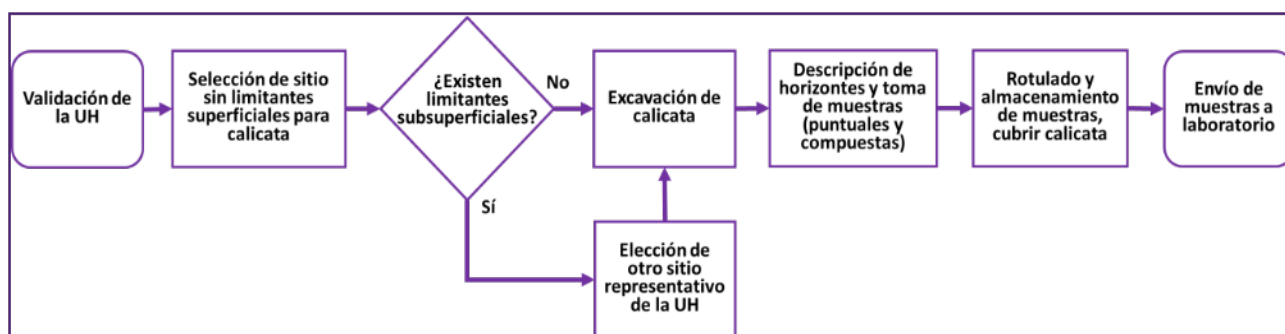


Figura 2. Esquema de trabajo en terreno para el componente Suelos.

3.4 Determinación de la Clase de Capacidad de Uso de Suelo (CCUS)

A partir de la caracterización del componente suelo, obtenida de la información tanto del terreno como de la bibliografía, y mediante los análisis de laboratorio, se establecieron los diferentes criterios para aproximarse a la determinación de la CCUS. Estos consisten en: Criterios de Aproximación (profundidad, pendiente, pedregosidad superficial y drenaje), Criterios de Definición (textura, agua aprovechable, pedregosidad subsuperficial, clases de erosión y clima) y Criterios Especiales (inundación, salinidad, sodicidad y alcalinidad). Una vez definidos estos criterios, se utiliza como matriz la Tabla 4, comparando los resultados con los umbrales allí descritos.

Definidos todos los criterios, la tabla se analiza de abajo hacia arriba, hasta encontrar el criterio cuyo valor sea más limitante o restrictivo, para luego asignar la CCUS correspondiente (I a VIII). Es relevante mencionar que solo basta que uno de los criterios esté por debajo de los demás, para que sea éste el que defina la CCUS de ese sitio.

La clasificación CCUS permite determinar la intensidad de uso potencial de los suelos y sus principales limitaciones productivas. Las clases I a IV corresponden a suelos con aptitud agrícola variable, donde las restricciones aumentan progresivamente y requieren mayores medidas de manejo y conservación para evitar la erosión del recurso suelo. Las clases V a VII presentan limitaciones importantes para cultivos, siendo más aptas para pastoreo, forestación o conservación de vida silvestre. Finalmente, la clase VIII agrupa suelos con restricciones extremas, no aptos para uso agropecuario, recomendándose únicamente fines de conservación ambiental y protección de ecosistemas. En la Tabla 5 se muestra la clasificación de CCUS según la intensidad de uso recomendada (Casanova *et al.*, 2025).

Tabla 4. Clases de capacidad de uso de suelos en función de los criterios de clasificación.

CLASE	CRITERIOS DE APROXIMACIÓN					CRITERIOS DE DEFINICIÓN							CRITERIOS ESPECIALES			
	Profundidad	Pendiente		Pedregosidad superficial (%)		Drenaje	Textura	Agua Aprovechable (cm c.a.)	Pedregosidad (%) Subsuperficial (>2,0 cm diam)	Erosión	Clima		Inundación	Salinidad (dS/m)	Sodicidad RAS (%)	Alcalinidad (%)
		Simple	Compleja	Gravas (2,0 -7,5 cm diam)	Piedras (>7,5 cm diam)						Días Libre de Heladas	Vientos				
I	>90	<1	<3	<10	<5	Bien Drenado	Fa _{mf} - FAL	18 o más	<5	No aparente	150 o más	Ausente a Moderado	Ninguna	<2	<5	0
II	>70	<5	<5	<10	<5	Bien Drenado a Drenaje Moderado	aF - A	12 a < 18	<15	No aparente a Ligera	≥ 100	Ausente a Moderado	Ninguna	<2	<5	0
III	>40	<8	<8	<20	<15	Bien Drenado a Drenaje Imperfecto	a _F - A	9,5 a < 12	<35	No aparente a Moderada	≥ 80	Ausente a Moderado	Ninguna a Frecuente	<4	<13	<2
IV	>20	<15	<15	<40	<35	Bien Drenado a Pobremente Drenado	a _g - A	5 a < 9,5	<35	No aparente a Moderada	≥ 50	Ausente a Moderado	Ninguna a Frecuente	<8	<18	2 a 10
V	Cualquiera	<1	<3	Cualquiera	Cualquiera	Pobremente Drenado a muy Pobremente Drenado	a _g - A	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	≥ 50	Cualquiera	Muy Frecuente	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
VI	>20	<45	<45	≤85	≤50	Drenaje Imperfecto a Excesivamente Drenado	a _g - A	Cualquiera	<60	No aparente a Severa	≥ 50	Cualquiera	Ninguna a Muy Frecuente	<12	<28	Cualquiera
VII	Cualquiera	<60	<60	Cualquiera	Cualquiera	Drenaje Imperfecto a Excesivamente Drenado	a _g - A	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Ninguna a Muy Frecuente	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
VIII	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera

Fuente: Pauta para Estudios de Suelos (SAG, 2011 rectificada 2016).

Tabla 5. Clase de Capacidad de Usos de Suelo (CCUS) y sus usos adecuados.

CCUS					Aumento de la intensidad de uso			
CCUS	Vida Silvestre	Pastoreo			Cultivos			
		Limitado	Moderado	Intensivo	Limitado	Moderado	Intensivo	Muy intensivo
I	Apto para todos los usos. Para cultivo apenas exige prácticas de conservación							
II	Apto para todos los usos. Para cultivo exige prácticas de conservación simples							
III	Apto para todos los usos, prácticas más intensivas de conservación en el cultivo							
IV	Apto para varios usos, restricciones para algunos cultivos							
V	Apto para pastoreo, reforestación o desarrollo de vida silvestre							
VI	Apto para pastoreo extensivo, reforestación y vida silvestre							
VII	Apto para reforestación y vida silvestre, en general inadecuado para pastoreo							
VIII	Apto solo para conservación de vida silvestre							

Fuente: Casanova *et al.* 2025.

A continuación, se presenta el método utilizado para la determinación de los parámetros de aproximación, definición y especiales.

3.4.1 Criterios de Aproximación

Los parámetros de profundidad, pendiente, pedregosidad superficial y clase de drenaje fueron obtenidos a partir de la descripción física y morfológica de los suelos efectuada en las campañas de terreno. Los cuatro parámetros de aproximación fueron categorizados de acuerdo con la Pauta para Estudio de Suelos (SAG 2011, rectificada 2016).

De forma específica, la pendiente fue medida con un clinómetro Suunto en la campaña de terreno, cuyos datos fueron correlacionados con un DTM (Digital Terrain Model) de levantamiento primario.

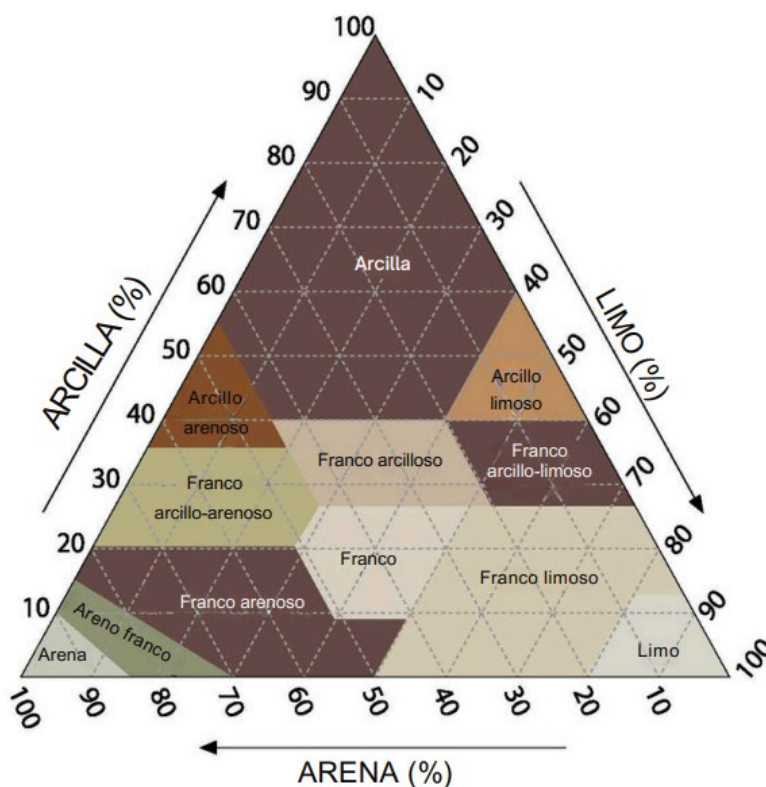
Por otro lado, la clase de drenaje fue determinada mediante la interpretación morfológica de los perfiles de suelo descritos en terreno, considerando indicadores como colores gley, rasgos redoximórficos, profundidad de napa freática y grado de descomposición de horizontes orgánicos.

3.4.2 Criterios de Definición

3.4.2.1 Textura

Un acercamiento a la clase textural se realizó en primera instancia durante la descripción de los diferentes horizontes de las calicatas, donde el descriptor de suelo hace una serie de pruebas sencillas para determinar un porcentaje aproximado de arena (2,0 – 0,05 mm), limo (0,05 – 0,002 mm) y arcilla (< 0,002 mm), sin embargo, los resultados pueden variar dependiendo del nivel de experiencia de la persona. Es por ello, que adicionalmente, también se tomaron muestras de los

horizontes para la determinación precisa del porcentaje de las tres fracciones del suelo, aplicando para ello el método del hidrómetro de Bouyoucos (Sandoval *et al.*, 2012) y la determinación de la clase textural por medio del triángulo textural de la Soil Science Society of America (Figura 3).



Fuente: Soil Science Society of America.

Figura 3. Triángulo textural de suelo.

3.4.2.2 Agua Aprovechable

Al igual que para las muestras de textura, para la determinación del agua aprovechable fue necesario la recolección de muestras de cada uno de los horizontes del suelo en las calicatas. En ellas se aplicó la metodología de la curva de retención de agua en el suelo (Sandoval *et al.*, 2012), en la cual las muestras son sometidas a presiones de 0,33 y 15 atmósferas. Estas representan la capacidad de campo (CC) y punto de marchitamiento permanente (PMP), respectivamente. La diferencia en contenido de agua de estos dos puntos es conocido como “agua aprovechable”, valor que es entregado como contenido volumétrico de agua (masa de agua/masa de suelo seco).

Debido a que la unidad es un porcentaje (%), es necesario transformarla a cm de columna de agua, que es la unidad requerida en la Tabla 4 para la determinación de la erosión. Para esto, también fue necesario obtener muestras de suelo y la determinación de su Densidad Aparente (Da), la cual fue determinada en laboratorio por el método del cilindro (Sandoval *et al.*, 2012). Una vez obtenidos estos datos, a través de la Ecuación 1, se calculó el agua aprovechable como cm de columna de agua.

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

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.)

3.4.2.3 Pedregosidad

Este parámetro fue definido *in situ* al momento de la descripción de las calicatas, considerando los elementos de diferentes tamaños, gravas (2 - 7,5 cm de diámetro), piedras (>7,5 cm y < 35 cm de diámetro), y rocas (>35 cm de diámetro), entregando un porcentaje aproximado del volumen de suelo que ocupan en el perfil. En la Tabla 6 se pueden ver las categorías de pedregosidad definidas por Servicio Agrícola y Ganadero (2011, rectificada 2016).

Tabla 6. Clasificación de la pedregosidad según el porcentaje de abundancia de fragmentos gruesos (> 2 cm).

Indicador/Signo	Sin pedregosidad	Ligera	Moderada	Abundante	Muy abundante
Gravas (2-7,5 cm)	0 a <10 %	10 a <20 %	20 a <40 %	40 a 85 %	>85 %
Piedras (>7,5 cm) + Rocas >35 cm	0 a <5 %	5 a <15 %	15 a <35 %	35 a 50 %	>50 %

3.4.2.4 Erosión

La condición de erosión de los suelos fue evaluada en terreno mediante observación directa y registro en el "Formulario de descripción de suelos en terreno" (Anexo 01), el cual tiene un apartado específico para la evaluación de la erosión, que se describe en la Tabla 7. Posteriormente, las evidencias observadas, tales como presencia de surcos, canalículos y pérdida de suelo superficial, fueron homologadas a las clases de erosión definidas por Servicio Agrícola y Ganadero (2011, rectificada 2016).

Tabla 7. Matriz para la determinación de erosión en terreno.

Indicador	Grietas	Canalículos	Pedestales	Pavimento	Laminar	Vegetación	Surcos	Zanjas	Escalones	Cárcavas
No Aparente	Genéricas	Muy aislados	No / Efecto eólico	No / Efecto eólico	No perceptible / Compactado	>95%	No / Antrópicas	No / Antrópicas	No formados	Ausentes
Ligera	<1 cm superficiales	Algunos	Incipientes	Incipiente (5%)	Cambios color / Depósito eólico	≥70%	Incipientes	Incipientes	Pequeños deslizamientos, peldaños	Riesgo de formación
Moderada	2 cm ancho/ <1 cm profundas y abundantes	Agrupados no generalizados	<15% 15<30%	<15% 15<30%	Horizonte B visible 25- 75%	50<70% 30<50%	distantes	En activación	En proceso, sedimentación	En activación
Severa	>10 cm ancho	Frecuentes	30<45% 45<60%	30<45% 45<60%	Horizonte B- C visibles // Eólico 10 a 40%	15-30 Degradado	recurrentes	<1 m	Desniveles de 20 cm	<1 m
Muy Severa	-	Terreno estriado	>60%	>60%	Horizonte C- R visibles	<15 Degradado	generalizados	>1 m	>40% superficie	>1 m

3.4.2.5 Clima

A continuación, se describe la metodología utilizada para la determinación de los parámetros climáticos considerados en los Criterios de Definición de la CCUS.

Viento

La categoría de viento se determinó utilizando registros meteorológicos de las estaciones La Ola y Centro Salar, correspondientes a los últimos cinco años y proporcionados por Codelco DSAL. Se analizaron las velocidades promedio mensuales y ráfagas máximas, clasificando el viento según los criterios establecidos por el SAG (2011, rectificada 2016). La categoría obtenida fue extrapolada a toda el Área de Estudio debido a la disponibilidad limitada de información climática.

Días libres de heladas

La determinación de los días libres de heladas se realizó utilizando información bibliográfica del “Atlas agroclimático de Chile, Tomo II” de Santibáñez (2017), para el distrito Salar de Pedernales. Se consideró el número promedio anual de heladas y la duración del periodo libre de temperaturas inferiores a 0 °C, clasificando la restricción según los criterios definidos por Servicio Agrícola y Ganadero (2011, rectificada 2016).

3.4.3 Criterios Especiales

3.4.3.1 Inundación

Si bien la clase de inundación se define considerando la probabilidad de permanencia de agua líquida en superficie por más de siete días, con fines metodológicos, en este estudio también se consideró el agua sólida (nieve), en función de la altitud, exposición y posición geomorfológica de cada sitio. La clasificación se realizó siguiendo los criterios de frecuencia de inundación propuestos por Servicio Agrícola y Ganadero (2011, rectificada 2016), utilizando antecedentes climáticos y topográficos del Área de Estudio.

3.4.3.2 Salinidad y Sodicidad

Los parámetros químicos de Salinidad y Sodicidad, se obtuvieron a partir de muestras representativas de suelo procedentes de los horizontes de las calicatas, las cuales fueron enviadas a análisis de laboratorio, y determinadas como se describe en Sadzawka *et al.* (2006). La Salinidad se expresa como conductividad eléctrica (dS/cm), mientras que la Sodicidad se determina como la relación de adsorción de sodio (RAS %) en extracto saturado.

3.4.3.3 Alcalinidad

La alcalinidad o contenido de carbonatos se determinó *in situ* mediante la prueba de efervescencia con ácido clorhídrico diluido (HCl al 33%) aplicada sobre muestras de suelo de cada horizonte. La intensidad y expresión de la reacción efervescente (audible, visible y formación de espuma) fueron utilizadas para clasificar el contenido de carbonatos según las clases descritas en SAG (2011, rectificada 2016).

3.5 Sub-Clases de capacidad de uso

Las sub-clases de las capacidades de uso de suelo corresponden a una división simple de las CCUS, mediante las cuales se señala el factor genérico considerado como el más limitante para el uso de la clase, lo que permite identificar de manera rápida la razón de que una CCUS se cataloga como tal. Se designan con una letra minúscula a la derecha del número romano de la CCUS (SAG 2011, rectificada 2016). Las sub-clases son las siguientes:

- s: Suelo – Limitantes que emanan de las propiedades del suelo, como profundidad, texturas muy pesadas o livianas, salinidad, etc.
- w: Humedad – Limitantes relacionada con la humedad del suelo, como nivel freático alto, inundaciones, problemas de drenaje, etc.
- e: Riesgos o efectos de antiguas erosiones.
- cl: Clima – Limitantes climáticas, como vientos y heladas.

4. Resultados

4.1 Descripción de suelos

4.1.1 Revisión de antecedentes

Según la clasificación descrita en “Suelos de Chile” (Luzio, 2010), el Área de Estudio se encuentra en la zona edáfica identificada como “Suelos de la Zona Desértica”, la cual se sitúa entre los 18° latitud sur hasta los 29° latitud sur. De forma más específica, el medio edáfico formaría parte de los suelos ubicados del Sector Altiplánico, donde el paisaje se compone de planos remanentes muy disectados, lomajes y colinas precordilleranas, así como núcleos montañosos escarpados, surcado por quebradas, algunas de las cuales pueden tener carácter agrícola en sus partes bajas.

Según sus características, los suelos pueden clasificarse en 5 grupos según su origen y el grado de pedogénesis al que están expuestos. Sin embargo, por su posición en el paisaje, los suelos del Área de Estudio se clasifican como “Suelos saturados en cuencas depresivas del paisaje”. Estos suelos hacen referencia específicamente a vegas y bofedales, que se encuentran en cuencas con drenaje restringido y, en algunos casos, impedido, con alto contenido de materia orgánica y acumulaciones salinas.

Estos suelos asociados a vegas y bofedales del altiplano corresponden a ambientes hidromórficos saturados, desarrollados en cuencas deprimidas con drenaje restringido. Las vegas se caracterizan por suelos minerales ricos en materia orgánica y cobertura vegetal tipo césped, mientras que los bofedales presentan una mayor acumulación de materia orgánica debido a condiciones de drenaje impedido, formando suelos orgánicos saturados. Estos suelos poseen niveles freáticos cercanos o en superficie, abundantes rasgos redoximórficos y, en muchos casos, altos contenidos de sales, especialmente en cuencas endorreicas donde la evaporación favorece la acumulación salina y la formación de costras superficiales de carbonato de calcio.

Desde el punto de vista edáfico, estos suelos presentan horizontes orgánicos estratificados, generalmente fíbricos (muy bajo nivel de descomposición) en superficie y sápricos (nivel medio o moderado de descomposición de las fibras vegetales) en profundidad, bajo condiciones ácuicas permanentes. Su descomposición orgánica es lenta debido al encharcamiento y baja actividad microbiana, permitiendo la acumulación de importantes reservas de carbono. Químicamente, predominan condiciones de pH moderadamente alcalino y una conductividad eléctrica variable, dependiendo de la dinámica del nivel freático y la posición en el paisaje. Debido a su origen reciente asociado a procesos tectónicos y volcánicos, y a la continua acumulación de materia orgánica y sales, estos suelos han sido clasificados principalmente como Histosoles, incluyendo Haplofibrist y Haplohemist (descomposición baja y media, respectivamente), además de Endoaquepts (suelos saturados durante gran parte del año) y Halaquepts/Endoaquepts (altos contenidos de sales) en sectores altamente salinos (Luzio, 2010).

4.1.2 Descripción de Calicatas

Luego de la validación de la UHS en terreno, el primer paso antes de realizar las calicatas fue recopilar la información sobre el sitio circundante, con el objetivo de poder sistematizar información relevante para la determinación de las CCUS, como la pendiente, pedregosidad superficial, erosión, entre otros, como se indica en la Tabla 4. En la Tabla 8, se presenta un resumen de los principales atributos de los sitios descritos, los cuales se registraron a través del “Formulario de descripción de suelos en terreno” (Anexo 01)

Después de realizada la excavación, se procedió a describir los diferentes horizontes identificados, describiendo cada una de sus propiedades físicas y otras características relevantes, como el color, textura, estructura, pedregosidad, porosidad, presencia de carbonatos, entre otras, usando como base nuevamente el Formulario de descripción. Un paso relevante de la descripción de los estratos del suelo se basa en la determinación de los horizontes maestros, los que reflejan distintos procesos de formación y composición del suelo, diferenciando estas capas dentro del perfil edáfico. Resulta de vital importancia identificar el contenido de materia orgánica, rasgos de procesos de óxido-reducción, presencia de material parental, entre otros. Un resumen de la descripción de las calicatas y sus diferentes horizontes se presenta en la Tabla 9, mientras que el detalle de estas descripciones se puede ver en el Anexo 02: “Descripción de calicatas y sectores de muestreo de suelos”.

Tabla 8. Principales atributos de los sitios de descripción de suelos.

Sitio	Calicata ¹	Altitud (m s.n.m.)	UHS	Posición en el Paisaje	Pendiente	Erosión actual	Pedregosidad superficial	Pedregosidad subsuperficial
Pedernales	C01	3.367	Vega salina de <i>Puccinellia frigida</i>	Salar, borde de espejo de agua	Simple, Ligeramente inclinado (1 a <3%)	Sin erosión	Sin pedregosidad	Sin pedregosidad
Pedernales	C02	3.367	Vega salina de <i>Triglochin concinna</i>	Salar, borde de espejo de agua	Simple, Ligeramente inclinado (1 a <3%)	Sin erosión	Sin pedregosidad	Sin pedregosidad
La Ola	C03	3.637	Pajonal hídrico de <i>Deyeuxia velutina</i>	Fondo de quebrada	Simple, plano (<1%)	Sin erosión	Sin pedregosidad	Sin pedregosidad
Quebrada de Leoncito	C04	3.728	Pajonal hídrico de <i>Deyeuxia</i> sp.	Fondo de valle	Simple, ligeramente inclinado (1 a <3%)	Sin erosión	Sin pedregosidad	Sin pedregosidad
Río Negro	C06	4.247	Bofedal de <i>Oxychloë andina</i>	Lecho de quebrada	Simple, fuertemente inclinado (8 a <15%)	Sin erosión	Alta (15 a <35% piedras; 20 a <40% gravas)	Abundante (35 a <60%)
Quebrada Ciénaga	C07	3.700	Vega salina de <i>Puccinellia frigida</i>	Fondo de quebrada	Simple, suavemente inclinado (3 a <5%)	Ligera a moderada	Ligera (5 a <15% piedras; 10 a <20% gravas)	Abundante (35 a <60%)
El Colorado	C08	3.890	Vegetación muerta	Fondo de quebrada	Simple, suavemente inclinado (3 a <5%)	Moderada a severa	Sin pedregosidad	Sin pedregosidad
Quebrada Asiento	C09	3.158	Herbazal de <i>Acaena magellanica</i>	Fondo de quebrada	Simple, ligeramente inclinado (1 a <3%)	Moderada	Sin pedregosidad	Abundante (35 a <60%)
Salar La Laguna	C10	3.505	Vega salina de <i>Puccinellia frigida</i>	Salar, borde de espejo de agua	Simple, plano (<1%)	Sin erosión	Sin pedregosidad	Sin pedregosidad
Quebrada Tinaja	C11	3.940	Pajonal vega de <i>Festuca</i> cf. <i>Nardifolia</i> y <i>Scirpus</i> sp.	Cabecera de quebrada	Compleja, lomajes (30 a <45%)	Sin erosión	Sin pedregosidad	Sin pedregosidad
Quebrada Tordillo	C12	4.000	Pajonal vega de <i>Festuca</i> cf. <i>Nardifolia</i> y <i>Scirpus</i> sp.	Cabecera de quebrada	Simple, muy escarpado (>60%)	Sin erosión	Ligera (5 a <15% piedras; 10 a <20% gravas)	Sin pedregosidad
Salar Piedra Parada	C13	4.145	Vega salina de <i>Deyeuxia eminens</i> var. <i>Fulva</i>	Salar, borde de espejo de agua	Simple, plano (<1%)	Sin erosión	Sin pedregosidad	Sin pedregosidad
Quebrada Pastos Largos	C14	3.972	Bofedal pajonal hídrico de <i>Oxychloë andina</i> y <i>Deyeuxia</i> sp.	Fondo de quebrada	Simple, suavemente inclinado (3 a <5%)	Ligera a moderada	Moderada (15 a <35% piedras; 20 a <40% gravas)	Abundante (35 a <60%)
Vertiente 2	C16	4.352	Bofedal vega salina de <i>Carex vallis-pulchrae</i> , <i>Deyeuxia</i> sp. y <i>Oxychloë andina</i>	Fondo de quebrada	Compleja, suavemente ondulado (3 a <8%)	Sin erosión	Sin pedregosidad	Muy abundante (≥60%)

¹Las calicatas C05 y C15 fueron realizadas en la campaña de Otoño 2026, por lo que no aparecen representadas en esta tabla y las subsiguientes.

Tabla 9. Principales atributos de los perfiles de suelo analizados.

Sector	Calicata	N° de horizontes	Secuencia de horizontes maestros	Tipo de suelo dominante	Profundidad descrita	Profundidad Efectiva	Nivel Freático	Rasgos edáficos relevantes	Carbonatos / Reacción al HCl
Pedernales	C01	4	Oe-Oi-A-Bw	Orgánico-mineral	48 cm y +	33 cm	33 cm	Costra salina superficial	Sin reacción
Pedernales	C02	3	OiA-Oi-Bw	Orgánico-mineral	39 cm y +	40 cm	40 cm	Fuerte reacción a HCl	Fuertemente efervescente
La Ola	C03	4	Oiz-Oi1-Oi2-Oe	Orgánico	46 cm y +	39 cm	39 cm	Secuencia orgánica	Fuertemente efervescente
Quebrada de Leoncito	C04	6	Oi1-Oi2-Oe-Bw-Oi1-Oi2	Orgánico con intercalación mineral	51 cm y +	49 cm	49 cm	Fuerte estratificación orgánica	Fuertemente efervescente
Río Negro	C06	1	Oi	Orgánico saturado	10 cm y +	10 cm	15 cm	Horizonte Oi saturado	Sin reacción
Quebrada Ciénaga	C07	4	A-Oi-Oe-Bg	Orgánico-mineral	54 cm y +	54 cm	- ¹	Moteados redox	Extremadamente efervescente
El Colorado	C08	5	Oe-Oi-Oe1-Oe2-Oe3	Orgánico profundo	>100 cm	54 cm	54 cm	Cinco horizontes orgánicos	Sin reacción
Quebrada Asiento	C09	5	Ak1-Ak2-Bk1-Bk2-BCw	Mineral calcáreo	>100 cm	72 cm	- ¹	Presencia de carbonatos y moteados	Fuertemente efervescente
Salar La Laguna	C10	3	Oi-Bwg-Bw	Orgánico-mineral salino	25 cm y +	18 cm	18 cm	Costra salina y gleyzación	Moderadamente efervescente
Quebrada Tinaja	C11	5	Oi-Oe-Bw1-Bw2-Bw3	Orgánico-mineral	90 cm y +	90 cm	- ¹	Presencia de sulfuros	Sin reacción
Quebrada Tordillo	C12	4	Oi-A-Bw1-Bw2	Mineral con horizonte orgánico superficial	84 cm y +	84 cm	- ¹	Óxidos de Fe	Sin reacción
Salar Piedra Parada	C13	3	Oi1-Oi2-Bw	Orgánico-mineral	38 cm y +	30 cm	30 cm	Textura arenosa	Sin reacción
Quebrada Pastos Largos	C14	4	A-Bw-BC-C	Mineral aluvial	>100 cm	100 cm	- ¹	Abundante grava y piedras	Sin reacción
Vertiente 2	C16	3	Oi/A-Bw1-Bw2	Orgánico-mineral pedregoso	27 cm y +	27 cm	27 cm	Alta pedregosidad subsuperficial	Moderadamente efervescente

¹ Sin nivel freático identificado.

4.1.3 Determinación de propiedades fisicoquímicas

De los resultados obtenidos de las muestras de los diferentes horizontes enviadas al laboratorio para su análisis, destacan aquellos que son necesarios para la determinación de la CCUS, como se describe en la Tabla 4. Si bien, se cuenta con los resultados de todos los horizontes en profundidad, para la determinación de la CCUS solo se consideran los horizontes más superficiales hasta los 20 cm de profundidad, ya que esa es la profundidad en la que se concentra la mayor densidad de raíces y la que mejor define el potencial productivo de un suelo.

Tal como se indica en la sección de metodología 3.4.2.2 “Agua Aprovechable”, los resultados de laboratorio de contenido de agua aprovechable fueron entregados en contenido volumétrico. Para compararlo con lo descrito en la guía del SAG (2011, rectificado 2016), fue necesario aplicar la Ecuación 1 y transformar este contenido de agua en cm de columna de agua, utilizando los datos de profundidad, densidad aparente y pedregosidad del horizonte.

Estos resultados se muestran en la Tabla 10, mientras que el resto de los resultados de los análisis de laboratorio se muestran en el Anexo 03: “Análisis físico-químicos de los suelos”. Por otro lado, el total de los informes entregados por el laboratorio Agrolab, para esta campaña, se pueden ver en el Anexo 04: “Informes de resultados físico-químicos de los suelos”.

Tabla 10. Resultados de laboratorio para la determinación de CCUS.

Sectores	Puntos	Humedad aprovechable cm c.a*	CE (dS/m)	RAS (%)	Clase Textural USDA
Salar de Pedernales	SC01_P	5,3	82,1	102	F
Salar de Pedernales	SC02_P	4,0	36,1	44	FA
La Ola	SC03_O	2,5	11,7	13	F
Quebrada de Leoncito	SC04_L	11,9	7,6	5,6	Fa
Quebrada Río Negro	SC06_N	0,2	1,6	2,0	S/T
Quebrada Ciénaga	SC07_C	4,7	4,2	0,7	F
El Colorado	SC08_CO	9,7	11,4	5,9	F
Quebrada Asiento	SC09_A	9,2	16,2	7,3	F
Salar La Laguna	SC10_LL	4,7	13,8	12	Fa
Quebrada Tinajas	SC11_T	10,8	3,7	1,6	a
Quebrada Tordillos	SC12_TO	8,8	3,6	3,2	Fa
Salar Piedra Parada	SC13_PP	9,0	15,8	28	Fa
Quebrada Pastos Largos	SC14_PL	5,2	1,6	1,6	aF
Quebrada Vertiente 2	SC16_V	2,5	5,8	6,9	FAa

*Determinado a partir de la densidad aparente, profundidad del horizonte, pedregosidad y humedad aprovechable como contenido volumétrico de agua.

4.1.4 Determinación de criterios climáticos

4.1.4.1 Viento

Dentro de los “Criterios de Definición” para la determinación de la CCUS, se encuentra el viento, debido a que ejerce un efecto mecánico directo sobre las plantas, además de aportar al desecamiento del ambiente y la posibilidad de erosión. Para determinar las diferentes categorías de viento definidas por el SAG (2011, rectificada 2016), se utilizaron los datos climáticos de las estaciones meteorológicas de La Ola y Centro Salar, con data de los últimos 5 años, proporcionadas por Codelco DSAL. En la Tabla 11 se resumen las estadísticas del viento de las estaciones antes mencionadas.

Tabla 11. Velocidad promedio mensual del viento y ráfagas máximas en estaciones meteorológicas.

Mes	La Ola		Centro Salar	
	Viento promedio (km/h)	Ráfagas máx. (km/h)	Viento promedio (km/h)	Ráfagas máx. (km/h)
enero	14,6	47,2	13,9	46,8
febrero	14,1	51,8	13,9	52,3
marzo	14,3	47,9	12,6	43,2
abril	14,9	64,4	12,2	69,8
mayo	14,8	54,0	13,1	63,0
junio	16,7	59,8	14,0	66,4
julio	15,2	61,2	12,4	67,8
agosto	15,8	57,6	14,5	70,8
septiembre	15,8	56,2	15,5	64,1
octubre	16,4	57,6	16,1	71,2
noviembre	15,9	49,0	14,8	50,5
diciembre	15,2	47,9	14,2	44,0

En base a estos resultados, se definió la categoría de viento “V2” o “Moderado” según el SAG (2011, rectificada 2016), correspondiente a “viento constante o muy frecuente, con velocidades entre los 15 y 30 km/hora, el que causa problemas moderados a la agricultura”. Debido a que solo se cuenta con esta data para toda el Área de Estudio, se decidió extrapolar esta categoría de viento a todos los sectores analizados.

4.1.4.2 Días libres de heladas

Otro de los criterios climáticos corresponde a los días libres de heladas ($T < 0^{\circ}\text{C}$), que se definen como “el número de días que transcurren desde la última helada de un periodo hasta la primera helada del periodo siguiente”, según el SAG (2011, rectificada 2016). Para la determinación de la categoría de días libres de heladas, se usó como fuente a Santibáñez (2017), ya que dispone de información exacta sobre el distrito “Salar de Pedernales”. En ella, se indica que existe un periodo libre de heladas de 0 días, con 321 heladas promedio por año. El mes con menor número de heladas fue febrero, con un promedio de 20 días con heladas, mientras que, en junio y julio, los meses con mayor número de días de heladas, se registraron 31. Esto constituye una restricción significativa para las especies vegetales en general, de tal forma que los sitios del Área de Estudio se

categorizarían en “Clase 5”, siendo la clase más alta, con menos de 50 días libres de heladas según SAG (2011, rectificada 2016).

4.1.4.3 Inundación

Según el SAG (2011, rectificada 2016), la inundación se define como *“el desplazamiento del agua de zonas que normalmente están libres de ésta, a causa de lluvias o desborde de ríos (...)”*, y se categoriza en clases, en función del número de eventos de inundación en un año, considerando una duración del evento mayor a 7 días. Si bien se considera un “Criterio Especial”, ya que no depende en su totalidad del clima, sino que también, de propiedades inherentes a los suelos, como su permeabilidad o estructura, se decidió agruparla en la categoría de criterios climáticos, ya que depende principalmente de la precipitación.

Para determinar la clase de inundación, y atendiendo a los niveles de precipitación reportados en la bibliografía, se utilizó como criterio la posibilidad de presencia de precipitación sólida (nieve) por más de 7 días de permanencia en el sitio. En este caso, se consideró que aquellos sitios con mayor altitud, sobre los 4.000 m s. n. m., como Río Negro o Vertiente 2, se clasificarían como clase “3” o “muy frecuente”, ya que la posibilidad de permanencia de más de 7 días de nieve es de al menos 2 veces al año. Los sitios en menor cota, pero con una exposición y posición en el paisaje favorable para la acumulación de nieve, como quebradas Tordillos, Ciénaga, Tinaja y Colorado, se clasificaron como “Clase 2” o “Frecuente”, con la posibilidad de acumular nieve al menos una vez al año. El resto de los sitios, incluyendo los salares, se categorizaron como “Clase 1” o “Ninguna”, ya que la posibilidad de acumulación de nieve al año es baja.

4.1.5 Otros Criterios

4.1.5.1 Drenaje

Típicamente, la clase de drenaje se determina mediante pruebas de campo como el método del cilindro infiltrómetro (Barría, Uribe, y Jil, 2021). A falta de estos análisis, se usaron rasgos de los propios suelos, como presencia de colores “gleys”, presencia de rasgos redoximórficos, profundidad de la napa freática, y nivel de descomposición de la materia orgánica en suelo. En base a este análisis, en la Tabla 12, se presenta la determinación de la clase de drenaje por punto de suelo analizado, según lo indicado por el SAG (2011, rectificada 2016).

Tabla 12. Determinación de la clase de drenaje de suelos.

Sector	Clase de Drenaje	Justificación
Pedernales C01	W3	Horizonte superficial orgánico Hémico, descomposición media, indicando humedad gran parte del tiempo.
Pedernales C02	W2	Horizonte superficial orgánico Fíbrico, bajo nivel descomposición, colores gley, indicando humedad constante.
La Ola C03	W2	Horizonte superficial orgánico Fíbrico, bajo nivel descomposición, indicando humedad constante.
Quebrada de Leoncito C04	W2	Horizonte superficial orgánico Fíbrico, bajo nivel descomposición, indicando humedad constante.
Río Negro C06	W2	Horizonte superficial orgánico Fíbrico, bajo nivel descomposición, nivel freático a los 15 cm, indicando humedad constante.
Quebrada Ciénaga C07	W2	Horizonte subsuperficial orgánico Fíbrico, bajo nivel descomposición, presencia de rasgos redoximórficos en profundidad, indicando problemas de drenaje.
El Colorado C08	W3	Horizonte superficial y subsuperficiales orgánicos Hémicos, con descomposición media, indicando drenaje lento limitado.
Quebrada Asiento C09	W3	Horizontes subsuperficiales, presencia de rasgos redoximórficos en profundidad, indicando drenaje lento o limitado.
Salar La Laguna C10	W1	Horizonte superficial orgánico Fíbrico, bajo nivel de descomposición, gleización fuerte, nivel freático muy alto, con suelo saturado.
Quebrada Tinaja C11	W3	Horizonte superficial orgánico Fíbrico, bajo nivel descomposición, colores gley en profundidad, pero con alta pendiente (30 a <45%) que favorece el drenaje.
Quebrada Tordillo C12	W4	Horizonte superficial orgánico Fíbrico, bajo nivel de descomposición, pero con alta pendiente (60%) que favorece el drenaje.
Salar Piedra Parada C13	W2	Horizonte superficial orgánico Fíbrico, bajo nivel descomposición, Colores gley en profundidad, nivel freático alto, indicando humedad constante.
Quebrada Pastos Largos C14	W3	Presencia de rasgos redoximórficos en profundidad, pero con textura areno francosa y franco arenosa, lo que favorece el drenaje.
Vertiente 2 C16	W2	Horizonte superficial orgánico Fíbrico, bajo nivel descomposición, indicando humedad constante.

4.1.5.2 Erosión

El estado de la erosión de suelo de los diferentes sitios fue registrado con el “Formulario de descripción de suelos en terreno” (Anexo 01), el cual luego fue homologado con lo descrito por el SAG (2011, rectificada 2016). El resultado de este análisis se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13. Determinación de las clases de erosión de suelo.

Sector	Clase de Erosión	Justificación
Pedernales C01	E1	Sin erosión aparente.
Pedernales C02	E1	Sin erosión aparente.
La Ola C03	E1	Sin erosión aparente.
Quebrada de Leoncito C04	E1	Sin erosión aparente.
Río Negro C06	E1	Sin erosión aparente.
Quebrada Ciénaga C07	E2	Erosión actual ligera, debido a la presencia de surcos incipientes y canalículos agrupados, no generalizados.
El Colorado C08	E4	Erosión actual severa, debido a la presencia de surcos y canalículos frecuentes.
Quebrada Asiento C09	E3	Erosión actual moderada, debido a la presencia de surcos distantes.
Salar La Laguna C10	E1	Sin erosión aparente.
Quebrada Tinaja C11	E1	Sin erosión aparente.
Quebrada Tordillo C12	E1	Sin erosión aparente.
Salar Piedra Parada C13	E1	Sin erosión aparente.
Quebrada Pastos Largos C14	E3	Erosión actual moderada, con algunos canalículos y surcos distantes.
Vertiente 2 C16	E1	Sin erosión aparente.

4.2 Determinación de las CCUS

Una vez determinados todos los componentes descritos en la Tabla 4, ya sean los obtenidos directamente en terreno, a través del levantamiento de información en la calicata, o aquellos obtenidos de los resultados entregados por el laboratorio para los horizontes contenidos dentro los primeros 20 cm de suelo, se procedió al análisis de cada uno de estos componentes, sector por sector. Para ello se desarrolló una matriz que se presenta en la Tabla 14.

De esta forma, aplicando las diferentes categorías de los criterios descritos por el SAG (2011, rectificada 2016), fue posible determinar las clases de capacidades de uso de suelo (CCUS) para cada uno de los diferentes criterios. Una vez determinados estos, se identificó cuál de ellos es el más limitante, o aquel que entrega el número romano más alto, definiendo la CCUS del suelo, como se presenta en la Tabla 15. En esta tabla, las CCUS se clasifican en una escala de colores, siendo las CCUS más bajas de color celeste claro, mientras que, a medida que aumenta el valor de la CCUS, el color va tornando a un azul intenso. Dentro de un cuadrado rojo, se indica el criterio que corresponde al más limitante para cada suelo. En la última columna de la tabla, se puede observar la CCUS definida para cada uno de los suelos, con su respectiva sub-clase de capacidad de uso, indicando la principal limitante, tal como se indica en la sección 3.5 “Sub-Clases de capacidad de uso”.

Tabla 14. Matriz de características de los suelos para determinación de la CCUS.

Sector	Prof. (cm)	Pend. (%)	CRITERIOS DE APROXIMACIÓN		Drenaje	Textura	Agua aprov. (cm c.a.)	CRITERIOS DE DEFINICIÓN				CRITERIOS ESPECIALES			
			Pedregosidad superficial (%)					Pedregosidad subsuperficial (%)	Erosión	Días libres de heladas	Viento	Inundación	Salinidad (dS/m)	Sodicidad RAS (%)	Alcalinidad
			Gravas 2.0-7,5 cm (%)	Piedras >7,5 cm (%)											
Pedernales C01	33 cm	1-3%	Sin Pedregosidad	Sin Pedregosidad	Drenaje Imperfecto	F	5,3	Sin Pedregosidad	No aparente	0	Moderado	Ninguna	82,1	102%	Sin Reacción
Pedernales C02	40 cm	1-3%	Sin Pedregosidad	Sin Pedregosidad	Pobremente Drenado	FA	4,0	Sin Pedregosidad	No aparente	0	Moderado	Ninguna	36,1	44%	Fuertemente efervescente
La Ola C03	39 cm	1-3%	Sin Pedregosidad	Sin Pedregosidad	Pobremente Drenado	F	2,5	Sin Pedregosidad	No aparente	0	Moderado	Ninguna	11,7	13%	Fuertemente efervescente
Quebrada de Leoncito C04	49 cm	1-3%	Sin Pedregosidad	Sin Pedregosidad	Pobremente Drenado	Fa	11,9	Sin Pedregosidad	No aparente	0	Moderado	Ninguna	7,6	5	Fuertemente efervescente
Río Negro C06	10 cm	8-15%	20-40%	15-35%	Pobremente Drenado	S/T	0,2	35-60	No aparente	0	Moderado	Muy Frecuente	1,6	2	Sin Reacción
Quebrada Ciénaga C07	54 cm	3-5%	10-20%	5-15%	Pobremente Drenado	F	4,7	35-60	Ligera	0	Moderado	Frecuente	4,2	0	Extremadamente efervescente
El Colorado C08	54 cm	3-5%	Sin Pedregosidad	Sin Pedregosidad	Drenaje Imperfecto	F	9,7	Sin Pedregosidad	Severa	0	Moderado	Frecuente	11,4	5	Sin Reacción
Quebrada Asiento C09	72 cm	1-3%	Sin Pedregosidad	Sin Pedregosidad	Drenaje Imperfecto	F	9,2	35-60	Moderada	0	Moderado	Ninguna	16,2	7	Fuertemente efervescente
Salar La Laguna C10	18 cm	1%	Sin Pedregosidad	Sin Pedregosidad	Muy Pobremente Drenado	Fa	4,7	Sin Pedregosidad	No aparente	0	Moderado	Ninguna	13,8	12	Moderadamente efervescente
Quebrada Tinaja- C11	90 cm	30-45%	Sin Pedregosidad	Sin Pedregosidad	Drenaje Imperfecto	a	10,8	Sin Pedregosidad	No aparente	0	Moderado	Frecuente	3,7	1	Sin Reacción
Quebrada Tordillo C12	84 cm	>60%	10-20%	5-15%	Drenaje Moderado	Fa	8,8	Sin Pedregosidad	No aparente	0	Moderado	Frecuente	3,6	3	Sin Reacción
Salar Piedra Parada C13	30 cm	1%	Sin Pedregosidad	Sin Pedregosidad	Pobremente Drenado	Fa	9,0	Sin Pedregosidad	No aparente	0	Moderado	Ninguna	15,8	28	Sin Reacción
Quebrada Pastos Largos C14	100 cm	3-5%	20-40%	15-35%	Drenaje Imperfecto	aF	5,2	35-60	Moderada	0	Moderado	Muy Frecuente	1,6	1	Sin Reacción
Vertiente 2 C16	27 cm	5-8%	Sin Pedregosidad	Sin Pedregosidad	Pobremente Drenado	FAa	2,5	>60	No aparente	0	Moderado	Muy Frecuente	5,8	6	Moderadamente efervescente

S/T: Sin determinación de textura. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Determinación de las Clases de capacidad de uso de suelos (CCUS) en función de los criterios de clasificación.

CRITERIOS DE APROXIMACIÓN						CRITERIOS DE DEFINICIÓN						CRITERIOS ESPECIALES				CLASE y SUBCLASE DEFINIDA
Sector	Profundidad (cm)	Pendiente (%)	Pedregosidad superficial (%)		Drenaje	Textura	Agua aprovech. (cm c.a.)	Pedregosidad subsuperficial (%)	Erosión	Días libres de heladas	Viento	Inundación	Salinidad (dS/m)	Sodicidad RAS (%)	Alcalinidad	
			Gravas 2,0-7,5 cm (%)	Piedras >7,5 cm (%)												
Pedernales C01	III	II	I	I	VI	I	IV	I	I	VII	IV	I	VIII	VIII	I	VIII s
Pedernales C02	IV	II	I	I	IV	I	VII	I	I	VII	IV	I	VII	VIII	VI	VIII s
La Ola C03	IV	II	I	I	IV	I	VIII	I	I	VII	IV	I	VI	IV	VI	VIII s
Quebrada de Leoncito C04	III	II	I	I	IV	I	III	I	I	VII	IV	I	III	III	VI	VII cl
Río Negro C06	VIII	IV	IV	IV	IV	ND	VIII	VI	I	VII	IV	V	I	II	I	VIII s
Quebrada Ciénaga C07	III	II	III	III	IV	I	VII	VI	II	VII	IV	III	III	II	VIII	VIII s
El Colorado C08	III	II	I	I	VI	I	III	I	VI	VII	IV	III	VI	III	I	VII cl
Quebrada Asiento C09	II	II	I	I	VI	I	IV	VI	IV	VII	IV	I	VI	III	VI	VII cl
Salar La Laguna C10	VII	I	I	I	VIII	I	VII	I	I	VII	IV	I	VII	III	IV	VIII w
Quebrada Tinaja C11	I	IV	I	I	VI	V	III	I	I	VII	IV	III	III	II	I	VII cl
Quebrada Tordillo C12	II	VIII	III	III	II	I	IV	I	I	VII	IV	III	III	II	I	VIII s
Salar Piedra Parada C13	IV	I	I	I	IV	I	IV	I	I	VII	IV	I	VII	VIII	I	VIII s
Quebrada Pastos Largos C14	I	II	IV	IV	VI	II	IV	VI	IV	VII	IV	V	I	II	I	VII cl
Vertiente 2 C16	VI	III	I	I	II	I	VIII	VIII	I	VII	IV	V	IV	III	IV	VIII s

Celdas en rojo se destaca la/las categoría/s de CCUS con valor más restrictivo (número romano más alto) para cada uno de los sitios descritos.

ND: No determinado.

4.3 Cartografías de las CCUS

En base a lo definido en la Tabla 15, se realizó la cartografía de las CCUS de los diferentes sitios, extrapolando la clase de uso a las diferentes UHS definidas en la etapa de gabinete y validadas en terreno. En la Figura 4 se presenta esta cartografía, específicamente de los 3 salares del Área de Estudio.

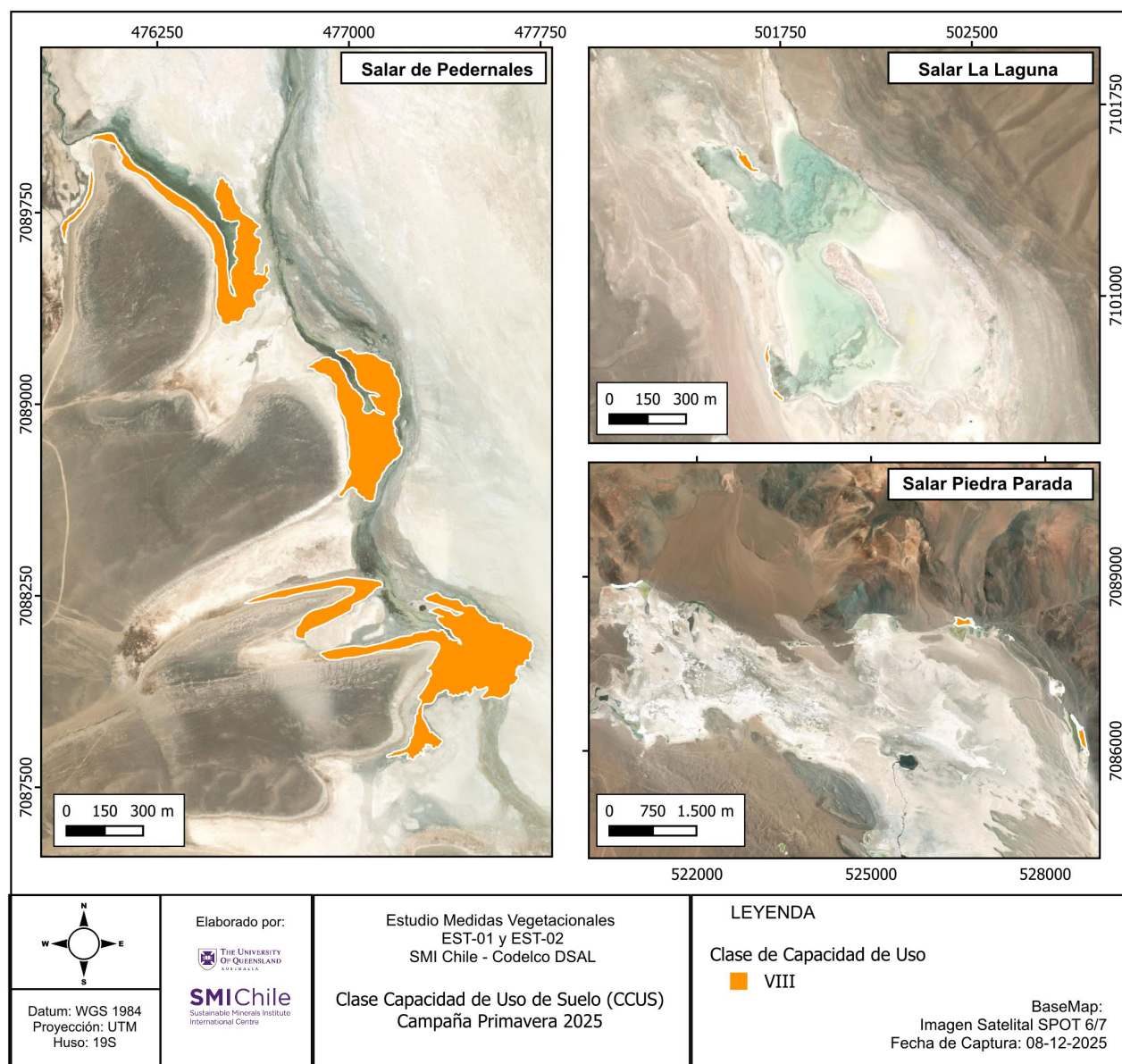


Figura 4. Cartografía de las CCUS de los UHS de los Salares de Pedernales, La Laguna y Piedra Parada.

Para el caso de la cabecera sur del río La Ola y las quebradas Asiento, Pastos Largos y Leoncito, sus cartografías con su CCUS determinada se observa en la Figura 5.

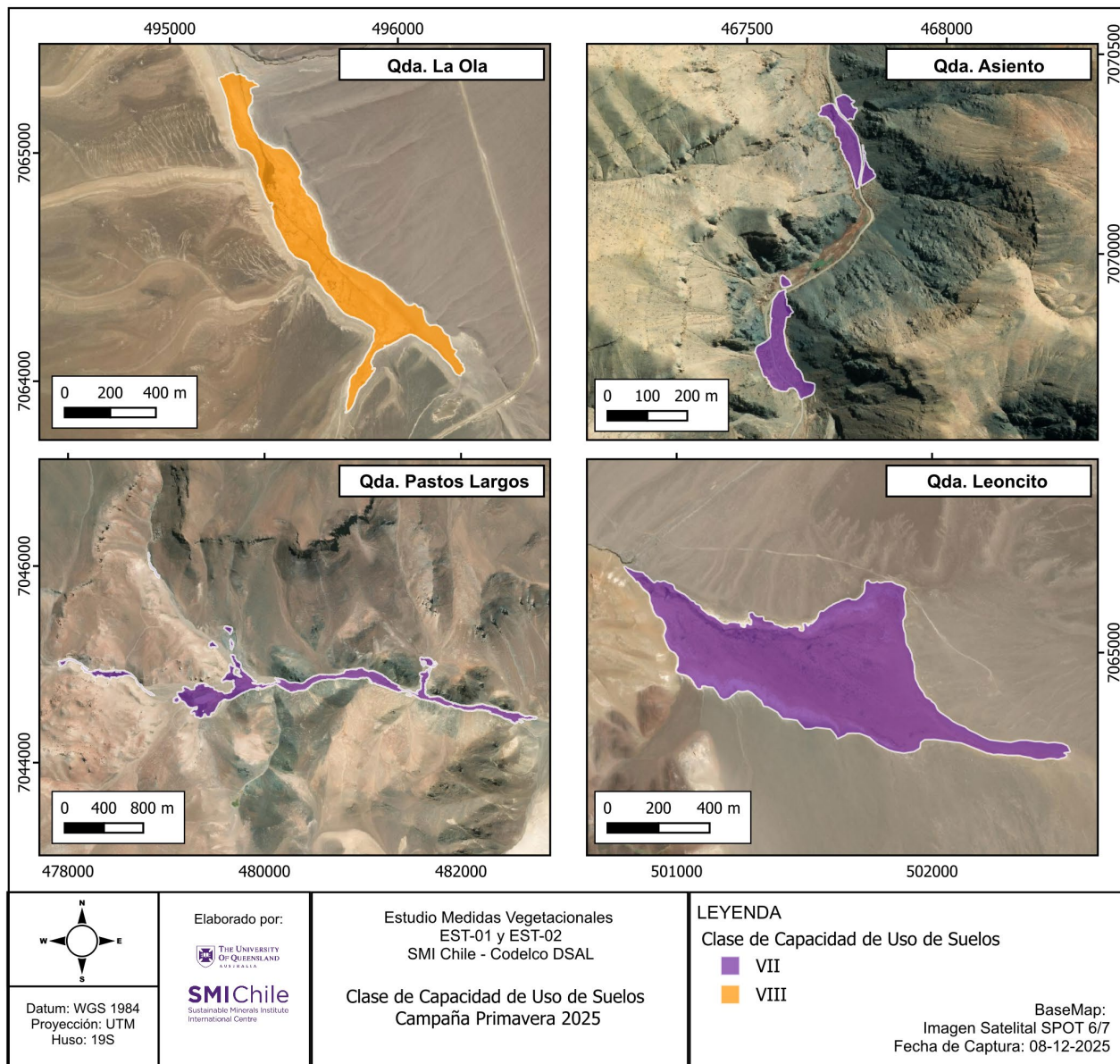


Figura 5. Cartografía de las CCUS de los UHS de la cabecera sur del río La Ola y las quebradas Asiento, Pastos Largos y Leoncito.

Para el resto de los sitios, los que incluyen las quebradas Ciénaga, Colorado, Tinajas, Tordillos, Río Negro y Vertiente 2, la cartografía con las CCUS se puede visualizar en la Figura 6.

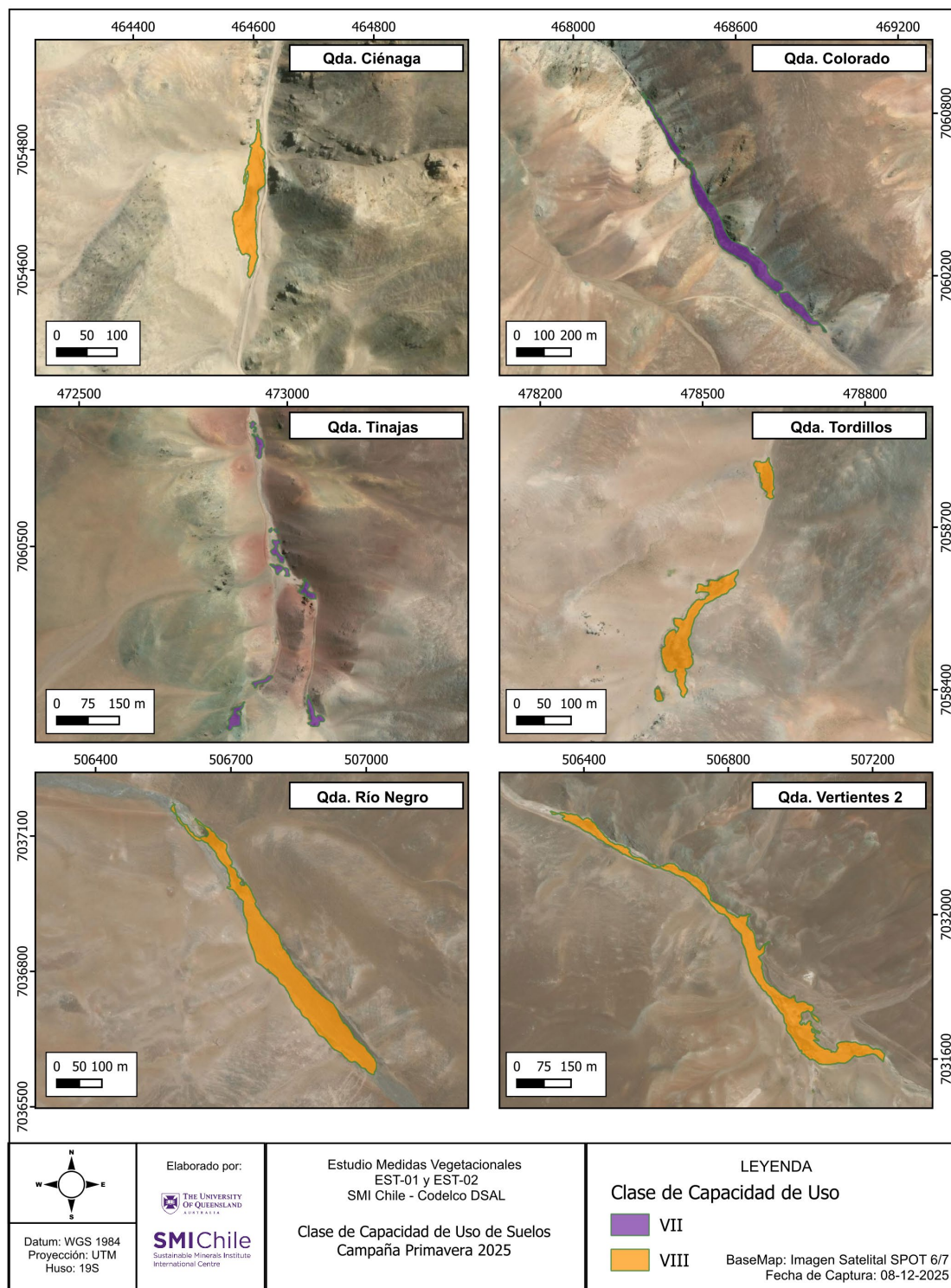


Figura 6. Cartografía de las CCUS de los UHS las quebradas Ciénaga, Colorado, Tinajas, Tordillos, Río Negro y Vertiente 2.

4.4 Resultados de salinidad y humedad aprovechable por sector

La Tabla 16 presenta los resultados de conductividad eléctrica (CE) y retención de humedad determinados para los distintos puntos de muestreo del Área de Estudio. Estos parámetros permiten evaluar el comportamiento hídrico y las condiciones de salinidad de los suelos, proporcionando información relevante sobre la disponibilidad de agua para la vegetación y las restricciones edáficas en cada sector. Estos representan el primer resultado para la evaluación de la dinámica de estos parámetros a lo largo de los 8 años de estudio, apuntando a averiguar si existen dinámicas entre temporadas de un mismo año (primavera/otoño) y de forma interanual.

Tabla 16. Resultados de conductividad eléctrica (CE) y humedad aprovechable.

Punto	CE (dS/m) (en suspensión)	0,3 atm (Capacidad de Campo) %	15,0 atm (Punto de Marchitez Permanente) %	Humedad Aprovechable (peso) %
SHS07_C Quebrada Ciénaga	6,40	38,60	13,90	24,70
SHS08_CO El Colorado	3,00	74,50	39,20	35,30
SHS10_LL Salar La Laguna	2,70	25,30	11,10	14,20
SHS03_O La Ola	11,20	89,70	54,20	35,50
SHS04 Quebrada de Leoncito	11,00	101,40	62,30	39,10
SHS01_P Salar de Pedernales	38,00	34,00	15,60	18,40
SHS02_P Salar de Pedernales	13,00	123,60	75,60	48,00
SHS13_PP Salar Piedra Parada	4,90	112,50	71,40	41,10
SHS09_S Quebrada Asiento	2,00	35,40	15,00	20,40
SHS06_N Quebrada Río Negro	2,00	336,80	168,00	168,80
SHS11_T Quebrada Tinaja	1,90	41,20	16,40	24,80
SHS12_12 Quebrada Tordillos	0,35	44,20	21,00	23,20
SHS16_V Quebrada Vertiente 2	0,55	18,30	9,25	9,05
SHS15_15 Pastos Largos	2,10	11,60	5,90	5,70

5. Discusión

Los resultados obtenidos de la clasificación de la Clase de Capacidad de Uso de Suelo (CCUS) de los diferentes sitios del Área de Estudio muestran que la totalidad de los sitios evaluados presenta importantes limitaciones para el desarrollo de las actividades agrícolas más intensivas, siendo clasificados en su totalidad dentro de las categorías de “uso muy limitado” o directamente “no agrícolas” (CCUS VII y VIII, respectivamente), sujetas a limitantes climáticas y relativas al propio suelo, específicamente aquellas químicas y físicas.

En términos generales, los salares del Área de Estudio corresponden a ecosistemas de SVAHT con restricciones principalmente edáficas, debido a sus elevados niveles de salinidad y sodicidad, las cuales son parte de los “Criterios Especiales” que limitan el desarrollo de las especies vegetal.

En estos salares, las restricciones más relevantes están relacionadas con la elevada salinidad y sodicidad de los suelos. Estas características limitan el desarrollo de la mayoría de las especies vegetales y reducen significativamente las posibilidades de uso del terreno, favoreciendo únicamente el establecimiento de flora especialmente adaptada a este tipo de ambientes salinos

Los sectores del Salar de Pedernales, La Laguna, y Piedra Parada presentan conductividades eléctricas extremadamente altas y elevados porcentajes de RAS. Estas condiciones restringen el establecimiento de especies de flora a solo aquellas altamente adaptadas a estos sitios, principalmente plantas halófitas. Las altas concentraciones de sales afectan a la flora a causa del desequilibrio iónico, generando un desbalance en los nutrientes e induciendo a deficiencias. Además, esta alta salinidad genera un aumento de la presión osmótica de la solución del suelo, dificultando la absorción de agua por las raíces e induciendo un estrés hídrico en las plantas.

A diferencia de los ambientes típicamente destinados a explotación o uso agrícola, donde la salinidad podría reducirse mediante lavado de sales, en sistemas salinos naturales como los salares, este tipo de manejo no resulta viable, ya que la acumulación de sales forma parte de la dinámica propia del ecosistema y está estrechamente vinculada a su funcionamiento hidrológico. Además, esta condición refleja el delicado equilibrio hídrico que caracteriza a la zona de estudio, donde la disponibilidad de agua es limitada y el uso de grandes volúmenes para fines de recuperación de suelos no resulta factible ni compatible con la conservación de estos sistemas.

Adicionalmente, los salares presentan restricciones asociadas a un drenaje restringido y a una escasa profundidad efectiva de suelo, especialmente en el salar La Laguna, donde se observan condiciones de muy pobre drenaje y un perfil con nivel freático alto. Como resultado, los suelos permanecen saturados durante gran parte del tiempo, reduciendo la disponibilidad de oxígeno en el perfil y limitando el desarrollo de las raíces de la vegetación.

Por otra parte, las quebradas ubicadas a mayor altitud dentro de la zona altoandina, particularmente Río Negro, Vertiente 2 y Quebrada Pastos Largos, presentan restricciones asociadas a la acumulación y permanencia de nieve durante una parte del año. Esta situación ha sido observada en campañas previas realizadas en el área de estudio, donde el acceso a estos sectores durante la primavera se ve frecuentemente limitado debido a que los caminos permanecen cubiertos por nieve. Además de dificultar el acceso y las eventuales labores de manejo, la presencia prolongada de nieve mantiene el suelo saturado por varios días consecutivos, afectando la aireación del perfil y comprometiendo su estabilidad estructural. En conjunto, estas condiciones representan una limitante adicional para el desarrollo vegetal en estos ambientes de alta montaña.

Los criterios climáticos constituyen una de las principales restricciones comunes a todos los sitios evaluados. La ausencia de días libres de heladas y la presencia recurrente de vientos moderados reflejan las condiciones ambientales características de la alta cordillera. En este contexto, las bajas temperaturas limitan significativamente el desarrollo de la vegetación y dificultan el establecimiento de cultivos convencionales, reduciendo considerablemente la duración del período de crecimiento. Por su parte, el viento contribuye a la pérdida de humedad desde el suelo y las plantas, además de favorecer procesos erosivos en sectores con escasa cobertura vegetal. En conjunto, estos factores climáticos representan una limitante permanente para el uso de los suelos del Área de Estudio.

El agua aprovechable mostró valores bajos en sectores como La Ola, Río Negro, Quebrada Ciénaga y Vertiente 2, situación asociada principalmente a las bajas densidades de los horizontes orgánicos presentes en estos sitios, tal como se desprende de la Ecuación 1 (Casanova *et al.*, 2025). Los suelos con matriz mineral suelen tener densidades aparentes (D_a) típicas de entre los 1 g/cm³ y 1,5 g/cm³, dependiendo del contenido de arenas u arcillas. A modo de ejemplo, el suelo de Pastos Largos, que tiene una secuencia de horizontes puramente minerales, presenta D_a de entre 1,18 y 1,64 g/cm³. Por otro lado, el suelo de La Ola, que presenta una secuencia de solo horizontes orgánicos, muestra D_a bajas, de entre 0,19 a 0,34 g/cm³ (Anexo 03: Análisis físico-químicos de suelos).

La erosión constituye otra limitante importante en sectores específicos del Área de Estudio. El caso más representativo corresponde a El Colorado, donde se observa erosión severa asociada al historial de intervención del sitio. La construcción de zanjas de drenaje artificial alteró el régimen hídrico local y afectó a la vegetación tipo cojín, cuya desaparición redujo la protección y estabilidad de los horizontes superficiales del suelo. Como consecuencia, el material superficial quedó más expuesto a la acción de la escorrentía, aumentando su susceptibilidad a la erosión durante eventos de precipitación, concepto conocido como erodabilidad, que designa la vulnerabilidad de un suelo a degradarse. Otros sitios, como quebrada Ciénaga y Pastos Largos presentan la misma situación, pero con menor nivel de erosión actual.

Por otro lado, quebrada Asiento presenta una erosión moderada, pero posiblemente asociada a la presencia temporal de suelo desnudo y a la presión del pastoreo animal. En este sector domina un herbazal anual de *Acaena magellanica*, el cual después de ser consumido por el ganado o fauna nativa, deja el suelo en su mayoría desnudo (Ahumada y Faúndez, 2007). Esto contrasta con las especies nativas de poáceas altoandinas perennes, como *Puccinellia frigida*, mejor adaptadas a las condiciones edáficas y al consumo animal.

Los resultados obtenidos muestran que la metodología de clasificación de capacidad de uso de suelo constituye una herramienta útil para identificar y jerarquizar las principales limitaciones para el uso de los suelos. Sin embargo, su aplicación en ecosistemas altoandinos pone en evidencia algunas limitaciones metodológicas, ya que fue desarrollada principalmente para evaluar la aptitud agrícola de los terrenos y no necesariamente para caracterizar ambientes naturales de alto valor ecológico o sin historial de uso agrícola. En la mayoría de los sitios evaluados, las características propias de estos ecosistemas se traducen en clases de capacidad de uso muy restringidas o directamente no agrícolas. Factores como la escasa profundidad efectiva, el drenaje deficiente, la elevada salinidad y alcalinidad, junto con las bajas temperaturas y la ocurrencia permanente de heladas, son interpretados por la metodología como limitaciones severas. No obstante, estas condiciones corresponden a atributos naturales de los ambientes altoandinos y constituyen la base sobre la cual se desarrollan comunidades de flora y fauna únicas y altamente especializadas.

Los resultados obtenidos permiten reconocer que, aun bajo las condiciones ambientales extremas que caracterizan a los ecosistemas altoandinos, los suelos desempeñan funciones ecológicas fundamentales y sostienen diversos servicios ecosistémicos. Estos ambientes proporcionan el soporte físico para comunidades vegetales especializadas, participan en la regulación hídrica local y contribuyen a mantener hábitats esenciales para la biodiversidad característica de la cordillera. Esta realidad también se refleja en el uso histórico que las comunidades del pueblo Colla han dado a estos territorios. Tradicionalmente, el aprovechamiento de estas áreas se ha basado en sistemas de pastoreo trashumante o nómada estacional, adaptados a las condiciones naturales del entorno. En contraste, las actividades agrícolas se han concentrado en quebradas ubicadas a menores altitudes, donde las restricciones climáticas y edáficas son menos severas.

Los servicios ecosistémicos que proveen estos ambientes, es decir, sus contribuciones a las sociedades, están estrechamente relacionados con las características y propiedades de sus suelos. En los salares, propiedades como la salinidad, el contenido de materia orgánica, la profundidad del nivel freático y la estructura del suelo influyen directamente sobre la dinámica del agua, la acumulación de sales, la actividad biológica y el establecimiento de comunidades vegetales altamente especializadas. Como consecuencia, estos ecosistemas cumplen funciones clave de soporte y regulación, participando en procesos como el ciclado de nutrientes, la estabilización del sustrato y la regulación hídrica a escala local. Estas funciones adquieren especial relevancia en ambientes altoandinos, donde contribuyen a mantener la resiliencia de los ecosistemas frente a la variabilidad climática y otras perturbaciones ambientales (Squeo *et al.*, 2024).

El Área de Estudio, al igual que gran parte de la zona altoandina de la Región de Atacama, posee un destacado valor ecológico, científico y cultural. Los salares, vegas y humedales presentes en estos ambientes constituyen ecosistemas únicos, caracterizados por condiciones extremas que han favorecido el desarrollo de organismos altamente especializados. Estas características convierten a la zona en un espacio de gran interés para la investigación científica, particularmente en materias relacionadas con la adaptación de los organismos a condiciones ambientales extremas y con los efectos del cambio climático sobre ecosistemas de montaña. Asimismo, estos paisajes poseen una importante dimensión cultural y patrimonial. En este contexto, los servicios ecosistémicos de carácter cultural y regulatorio adquieren una relevancia especial, aunque suelen ser menos evidentes que los beneficios económicos directos derivados del uso de los recursos naturales.

Debido a que los ecosistemas altoandinos presentan tasas de recuperación muy lentas, especialmente el componente suelo, cualquier tipo de alteración, incluso a pequeña escala, puede generar impactos importantes sobre la biodiversidad y sus procesos ecológicos asociados. En este contexto, la clasificación de capacidad de uso de suelo resulta insuficiente para representar integralmente el valor y la funcionalidad de estos ambientes. Por ello, sería recomendable complementar este tipo de evaluaciones con metodologías orientadas a caracterizar funciones ecológicas específicas, tales como la identificación de suelos hídricos o la evaluación de la capacidad de los suelos para sustentar biodiversidad y proveer servicios ecosistémicos. Este enfoque permitiría reconocer de mejor manera la importancia de los suelos altoandinos como soporte de ecosistemas únicos y como componentes clave para la conservación de la biodiversidad y el funcionamiento ecológico de la cordillera, más allá de su limitada aptitud para usos agrícolas o productivos.

6. Conclusiones

La caracterización del componente edáfico del Área de Estudio permitió definir las principales propiedades físicas y químicas de los suelos asociados al Salar de Pedernales y ecosistemas altoandinos de la Región de Atacama asociados, comprendiendo al suelo como un componente dinámico, complejo y funcional dentro del ecosistema. En este contexto, los resultados dejan en evidencia que estos ambientes corresponden a ecosistemas frágiles y ecológicamente estratégicos, donde los suelos cumplen funciones esenciales y servicios ecosistémicos en la mantención de procesos ecológicos, regulación hidrológica y soporte de biodiversidad altamente especializada.

Los suelos evaluados presentan restricciones edáficas severas asociadas principalmente a elevados niveles de salinidad y sodicidad, escasa profundidad efectiva, drenaje deficiente, y ausencia de períodos libres de heladas. Bajo los criterios convencionales de clasificación de capacidad de uso de suelo, estas condiciones representan limitantes significativas para el desarrollo agrícola y ganadero. Sin embargo, dichas características ambientales permiten la conformación de ecosistemas especializados, capaces de sustentar flora y fauna adaptadas fisiológica y evolutivamente a las condiciones extremas de la zona altoandina.

En este sentido, los resultados demuestran que las metodologías tradicionales de clasificación agrológica presentan limitaciones para representar adecuadamente la funcionalidad ecológica de estos ecosistemas altoandinos y hábitats frágiles. La baja aptitud agrícola de estos suelos no necesariamente implica una baja capacidad de sustentar biodiversidad, ya que pueden albergar especies singulares, endémicas o altamente adaptadas, de alto valor ecológico y de conservación.

Asimismo, el análisis de los datos edáficos permitió reconocer el gran potencial de estos suelos en términos de resiliencia ecosistémica, adaptación frente al cambio climático y respuesta ante perturbaciones. Esto se relaciona estrechamente con los sistemas de uso tradicional desarrollados históricamente por comunidades Colla, basados principalmente en prácticas de pastoreo estacional adaptadas a las restricciones ambientales del territorio altoandino.

Finalmente, se considera necesario complementar las metodologías convencionales de clasificación de suelos como las CCUS mediante un enfoque orientado a evaluar la capacidad de sustentar biodiversidad, servicios ecosistémicos y funcionalidad hidrológica, permitiendo representar de manera más integral la relevancia ecológica de los suelos presentes en estos ecosistemas.

7. Referencias

- Ahumada, M., y Faúndez, L. (2007). *Manual de reconocimiento de especies de flora de las veranadas: Región de Coquimbo*. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), División de Protección de los Recursos Naturales Renovables.
- Barría, H., Uribe, H., y Jil, P. (2021). *Medición de la velocidad de infiltración para riego en praderas*. Informativo N°271 Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/6ad9564b-fd73-43f7-97f7-eb44fd643ec6/content>
- 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.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2006). *Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile* (Serie Actas INIA N.º 34). Disponible en: [INIA Chile](#)
- Luzio, W. (Ed.). (2010). *Suelos de Chile*. Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
- 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>
- Santibáñez Quezada, F. (2017). *Atlas agroclimático de Chile: Estado actual y tendencias del clima. Tomo II: Regiones de Atacama y Coquimbo*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas y Fundación para la Innovación Agraria (FIA).
- Servicio Agrícola y Ganadero. (2010). *Protocolo de toma de muestras de suelos*. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.
- Servicio Agrícola y Ganadero. (2011). *Pauta para estudios de suelos* (versión rectificada, 2016). Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.
- Servicio Agrícola y Ganadero. (2019). *Guía de evaluación ambiental: Recurso natural suelo* (D-RNN-EIA-PR-005). Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.
- 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: Formulario de descripción de suelos en terreno

El archivo de nombre “DSAEST_PRI25_Suelos_Anexo01.pdf” se encuentra en formato digital.

8.2 Anexo 02: Descripción de calicatas y sectores de muestreo de suelos.

El archivo de nombre “DSAEST_PRI25_Suelos_Anexo02.pdf” se encuentra en formato digital.

8.3 Anexo 03: Análisis físico-químicos de los suelos.

El archivo de nombre “DSAEST_PRI25_Suelos_Anexo03.pdf” se encuentra en formato digital.

8.4 Anexo 04: Informes de resultados físico-químicos de los suelos.

El archivo de nombre “DSAEST_PRI25_Suelos_Anexo04.pdf” se encuentra en formato digital.