



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

CARACTERIZACIÓN DE SUELOS ANDINOS Y SU DESARROLLO
EN CHILE CENTRAL (33°S)

CHARACTERIZATION OF ANDEAN SOILS AND THEIR
DEVELOPMENT IN CENTRAL CHILE (33°S)

Tesis para optar al Grado de Magíster en Manejo de Suelos y Aguas

VALENTINA ISABEL CÁRDENAS VENEGONI

Director de Tesis

MARCO PFEIFFER JAKOB

Profesores consejeros

ÓSCAR SEGUEL SEGUEL

MANUEL CASANOVA PINTO

Evaluadora externa

SUSANA VALLE TOLEDO

SANTIAGO - CHILE

2021

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**CARACTERIZACIÓN DE SUELOS ANDINOS Y SU DESARROLLO EN
CHILE CENTRAL (33°S)**

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Grado de Magíster en
Manejo de Suelos y Aguas

VALENTINA ISABEL CÁRDENAS VENEGONI

	Calificaciones
DIRECTOR DE TESIS	
Sr. Marco Pfeiffer Jakob Ingeniero Agrónomo, Ph.D.	6,7
PROFESORES CONSEJEROS	
Sr. Óscar Seguel Seguel Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,5
Manuel Casanova Ingeniero Agrónomo, MScs.	6,5

Santiago, Chile
2022

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	1
Hipótesis	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
MATERIALES Y MÉTODO	4
Área de estudio	4
Propiedades medidas	6
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
Caracterización de los suelos	10
Morfología de los suelos	10
Posición geomórfica de los suelos	15
Propiedades químicas y físicas de los suelos	16
Índice de Harden	26
Clasificación taxonómica de los suelos	28
CONCLUSIONES	31
LITERATURA CITADA	33
APÉNDICE 1: Descripciones en campo de los suelos estudiados	36
APÉNDICE 2. Descripción de sitios formato CIREN	41
APÉNDICE 3. Caracterización del sistema poroso	66

AGRADECIMIENTOS

Necesitaría mil páginas para agradecer a cada una de las personas que han estado durante mi formación profesional y personal, sin embargo, trataré de ser lo más concreta posible.

Agradezco a mi madre, Isabel, quien siempre desde el cariño levantó mis brazos cuando lo necesité. A mi padre, Rodrigo, quien me armó con su fortaleza y forjó mi personalidad hasta que me lanzó a tomar mis propias decisiones.

A ti, que siempre me recordaste quién era, desde la distancia siempre estuviste y te tuve presente.

Agradezco a cada una de las personas que conocí en este camino, los guardo a todas y todos en mi corazón por siempre; amigas y amigos del Magister, profesores, personas administrativas, ayudantes, entre otros, quienes no solo fueron un apoyo importante sino también su calidad humana fue fundamental para llegar a la meta. Además, debo hacer mención a quienes ya estaban presentes, amigos, amigas, hermanas, hermanos, prefiero no mencionarlos por no dejar fuera a alguno/a pero estoy segura que ustedes saben quienes son.

A Marco Pfeiffer, quien confió en mi desde el comienzo... agradezco su guía, su paciencia, su cercanía.

A Óscar Seguel, por su calidad humana, por demostrar que las cosas pueden no siempre ser de forma “tradicional” y pueden funcionar incluso mejor.

A Manuel Casanova, quien tuvo el consejo preciso en los momentos adecuados y necesarios.

A la Universidad de Chile por darme la oportunidad sin conocerme de poder ampliar mi conocimiento en algo tan hermoso que espero pueda contribuir con un granito a la ciencia.

Por último y no menos importante, y sin ánimos de ser arrogante, agradezco a esa Valentina, quien una vez más le dio honor a su nombre.

A esa Valentina pequeña que nunca creyó poder ser grande
y ahora, sin quizás creerlo aún, es **consciente**,
vive el presente y al menos, sabe dónde quiere llegar.

RESUMEN

El conocimiento actual de los suelos andinos en Chile Central (33°S) es escaso y parcializado. Se cree que estos suelos cuentan con una evolución pedogenética limitada, sin la intensidad suficiente inclusive para una horizonación distinguible. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo buscó establecer el nivel de desarrollo de los suelos andinos, realizando una caracterización de ellos e identificando los procesos de formación que cumplirían un rol relevante en su evolución. Se trabajó en 10 perfiles de suelos en las localidades de Lo Encañado y Farellones, entre los 2500 y los 4100 msnm, en la Región Metropolitana de Santiago, realizando descripciones morfológicas y evaluaciones de propiedades fisicoquímicas por horizonte genético. Se lograron establecer rasgos de horizonación intensos, con procesos asociados a la acumulación de materia orgánica, translocación de arcilla y dinámica del Hierro. A través de los índices de desarrollo pedogenético de Harden se estableció el nivel de evolución de los suelos, determinando que la posición geomórfica es el factor más relevante en el grado de desarrollo que presentan, en donde los suelos ubicados en zonas de acumulación (fondo de valle) son aquellos que poseen un grado de evolución mayor; por lo mismo, el gradiente altitudinal no presenta una relación clara con las propiedades del suelo. El clima local, la disponibilidad de agua en el perfil y los procesos criogénicos también juegan un rol, permitiendo la existencia de Mollisoles en el piso andino inferior, Alfisoles en piso andino superior y Entisoles e Inceptisoles sobre la línea de vegetación.

Palabras claves: Pedogénesis, procesos criogénicos, suelos de montaña.

ABSTRACT

Current knowledge of Andean soils in Central Chile (33°S) is scarce and partial. It is believed that these soils have a limited pedogenetic evolution, without sufficient intensity even for a distinguishable horizonation. Therefore, the aim of this work was to establish the level of development of Andean soils, characterising them and identifying the formation processes that would play a relevant role in their evolution. Work was carried out on 10 soil profiles in the localities of Lo Encañado and Farellones, between 2500 and 4100 m asl, in the Metropolitan Region of Santiago, carrying out morphological descriptions and evaluations of physicochemical properties by genetic horizon. Intense horizonation features were established, with processes associated with organic matter accumulation, clay translocation and iron dynamics. Harden's pedogenetic development indexes were used to establish the level of soil evolution, determining that the geomorphic position is the most relevant factor in the degree of development, where soils located in accumulation zones (valley bottoms) are those with a higher degree of evolution; therefore, the altitudinal gradient does not show a clear relationship with soil properties. The local climate, the availability of water in the profile and cryogenic processes also play a role, allowing the existence of Mollisols in the lower Andean floor, Alfisols in the upper Andean floor and Entisols and Inceptisols above the vegetation line.

Keys words: Pedogenesis, cryogenic processes, mountain soil

INTRODUCCIÓN

Se ha llegado a estimar que más de la mitad de la población mundial depende del agua producida en las montañas (Cruz Madariaga et al., 2015), siendo la función de reservorio de agua uno de los servicios más importantes que presenta este tipo de ecosistemas, además de ser fundamental para la prevención y mitigación de riesgos naturales (Regato y Salman, 2008), por lo que es vital conservarlo en buen estado.

Los suelos de montaña, además, proveen de variados servicios ecosistémicos, entre los que se destacan su función para la conservación de la biodiversidad, siendo el hábitat para miles de especies que regulan el control de plagas o la eliminación de residuos, brindar apoyo físico (plantas, animales, incluso infraestructuras humanas), servicios de aprovisionamiento y regulación de agua, destacando su rol en el ciclo hidrológico, filtro y reservorio de agua, entre otros (Daily, 1997; Dominati et al., 2010; Adhikari y Hartemink, 2016). En cuanto al ciclo del agua, la vegetación y los suelos de montaña almacenan el agua de lluvia, regulando el patrón de flujo en la escorrentía y sedimentos aguas abajo, lo que en su camino fertiliza llanuras y recarga acuíferos, entre otros (Regato y Salman, 2008).

Chile posee una superficie de 47,8 millones de hectáreas de montañas, lo que equivale a un 63,8% del territorio nacional y a un 45% en la Región Metropolitana, pese a lo cual no existe un centro de investigación y desarrollo enfocado y focalizado al estudio de estas áreas y sus interrelaciones con el medio natural y social (FAO, 2012). Esta situación ha conducido a contar con información escasa y parcializada de los suelos andinos de Chile central, lo que plantea un desafío como país, considerando los efectos e impactos del cambio climático, además de garantizar la futura seguridad alimentaria y la calidad ambiental de los suelos, entre otros (Powlson et al., 2011).

En base a los escasos antecedentes de la literatura, se cree que la mayoría de los suelos en la Cordillera de los Andes son esqueléticos, con una evolución pedogénica muy limitada, con abundante pedregosidad angular en el perfil, sin la intensidad suficiente para dar origen a suelos con una horizonación fácilmente distinguible (Luzio et al., 2010). En consecuencia, su granulometría estaría dominada por la fracción arena, cuyo origen se encuentra en rocas andesíticas y basálticas (Luzio et al., 2010). Sin embargo, existen bastantes estudios a nivel internacional (Bockheim y Koerner, 1997; Dahlgren et al., 1997; Bach et al., 2003; Tarnocai y Bockheim, 2011; Egli et al., 2014) que manifiestan una pedogénesis activa en este tipo de ambientes cordilleranos, con influencias en mayor o menor medida de distintos factores de formación de suelos (FFS), según si se ubican en zonas con vegetación o en aquellas desprovistas de ella.

A pesar de los cambios de pH y otras propiedades en el perfil de los suelos de alta cordillera, la visión general en términos de meteorización asociada a climas fríos es que predominan los procesos de meteorización física (mecánicos), la cual sería bastante intensa y controlaría en gran medida la tasa de formación del suelo andino, principalmente por la sucesión “congelación-deshielo” (Egli et al., 2014). De hecho, estudios indican que

la meteorización química es casi inexistente en áreas con escasa vegetación y que la capa de nieve y su espesor pueden tener un rol importante en esta disminución (Riebe et al., 2004).

Sin embargo, en muchas regiones frías se muestran intensidades de meteorización química similares o incluso mayores que en regiones más cálidas, lo que estaría asociado directamente a la disponibilidad de agua en el perfil (Bach et al., 2003; Egli et al., 2006). Estos autores señalan que ello podría estar relacionado a la disminución de la vegetación a medida que aumenta la altitud, lo que provoca una disminución de la evapotranspiración, resultando en una influencia directa para la dinámica del agua en el suelo, con un aumento de la infiltración (considerando texturas gruesas en superficie).

En los Andes centrales (33°LS), la mayoría de los estudios que realizan una caracterización del suelo, en gran medida, están referidos a describir presencias vegetacionales en este tipo de ambientes, lo que entrega cierta información, pero es incompleta desde el punto de vista edáfico, ya que se restringen principalmente a horizontes superficiales o bien están focalizados a los stock de C (Dube y Stolpe, 2016; Pérez y Bown, 2015). Por ejemplo, Cavieres et al. (2000) realizaron un estudio entre la localidad de Farellones y Valle Nevado (33°20'S; 70°16'O) con el objetivo de describir cambios altitudinales (2100-3700 msnm) de la vegetación por encima de la línea arbórea y detectar algunos factores ambientales que puedan ser responsables de esa distribución altitudinal. Estos autores, tomando muestras superficiales de suelo (0- 20 cm), sugieren un aumento notorio en el contenido de arcilla para este horizonte superficial a medida que aumenta la altitud, con un rango de 15% a 53% en el gradiente altitudinal, dando indicios que pudiese existir un alto desarrollo pedogenético en este ambiente. Este resultado tendría su origen en la influencia de procesos criogénicos sobre la línea arbórea, como principal FFS.

El desarrollo de suelo también se ha evidenciado en áreas montañosas y sub-montañosas (sobre 3300 msnm) al noreste de Utah, en donde se describen horizontes Bt con recubrimientos de arcilla en las caras y dentro de los poros, bajo y sobre el límite arbóreo (Bockheim y Koerner, 1997). Considerando estos antecedentes, en el presente trabajo se plantea un estudio exploratorio para conocer los suelos de la zona andina superior en dos localidades de los Andes centrales de Chile (33°LS), con el fin de determinar el grado de desarrollo pedogenético y la influencia de los factores de formación de suelos en este tipo de ambientes cordilleranos.

Hipótesis

En la cordillera de Los Andes de Chile Central (33°S) se encuentran suelos bien desarrollados hasta altitudes por sobre el nivel de desarrollo vegetativo, debido principalmente a la influencia del clima como factor de formación de los suelos (FFS).

Objetivo general

Desarrollar un estudio exploratorio de los suelos de la zona andina superior enfocado en comparar las propiedades y características de los suelos andinos en Chile Central en tres ambientes característicos de zonas montañosas: piso andino inferior (2600-3500 msnm), piso andino superior (3500-3700 msnm) y zona desprovista de vegetación (>3700 msnm).

Objetivos específicos

- Utilizar índices de desarrollo pedogenético para medir cuantitativamente el grado de desarrollo del suelo.
- Determinar la influencia del clima como factor de formación en suelos andinos.
- Caracterizar y clasificar taxonómicamente los suelos del área de estudio según Soil Taxonomy (2014).

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

El área de estudio se ubica en la Región Metropolitana, específicamente en la parte alta de la cuenca del río Maipo (33° S), en la Cordillera de Los Andes, abarcando un área aproximada de 32 km^2 . El régimen hidrológico del río principal es de carácter pluvio-nival, caracterizado por una gran variabilidad estacional de caudales, con un máximo en el mes de diciembre (DGA, 2004).

En el sector se presentan complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas (lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas), correspondientes al Mioceno Inferior Medio; además, se pueden encontrar secuencias volcano-sedimentarias correspondientes al Oligoceno-Mioceno (SERNAGEOMIN, 2003). Se identifican dos formaciones geológicas, formación Farellones y formación Abanico.

La formación Farellones corresponde a una secuencia de lavas que varían en composición de andesíticas a riolíticas y, en menor proporción, de dacíticas a basálticas, dispuesta sobre la formación Abanico a través de una falla subhorizontal; sin embargo, las rocas de la formación Abanico, secuencia principalmente andesítica a basáltica con intercalaciones piroclásticas y sedimentarias continentales, se disponen en dos franjas norte-sur separadas por los afloramientos de la Formación Farellones (Vergara et al., 1988; Wall et al., 1999).

Se escogieron dos sitios para este trabajo, ambos, ecosistemas presentes en la parte superior de la cordillera de Los Andes (33° S) y contrastantes entre sí, con el objetivo de representar, de mejor manera posible, la variabilidad existente en cada uno de los tres ambientes cordilleranos abarcados (piso andino inferior, superior y piso altoandino/sin vegetación), considerando los cinco FFS. En ambos sitios se realizaron transectos de distancias relativamente cortas para identificar aquellos factores que pudieran influenciar en el desarrollo de los suelos andinos. Se describió un total de 10 perfiles de suelo, con profundidades que varían entre 80 y 190 cm. Se realizó una descripción morfológica en base a Schoeneberger et al. (2012) para cada horizonte de suelo; además, se obtuvo una muestra ($n= 1$) por cada horizonte para análisis físicos y químicos. Posterior a ello, se identificaron propiedades y horizontes diagnóstico presentes en los suelos, para luego clasificarles según orden, suborden, gran grupo y sub grupo.

El primer sitio está ubicado en el sector de la Laguna Lo Encañado ($33^{\circ}40' \text{ S } 70^{\circ}08' \text{ O}$), que corresponde a una vega andina (Figura 1). El transecto comprende una distancia aproximada de 1 km con 6 sitios de muestreo, entre altitudes de 2490 y 2550 msnm (Cuadro 1).

El segundo sitio se ubica en el sector de Farellones ($33^{\circ}17'S$ $70^{\circ}15'O$) y se encuentra caracterizado por una baja cobertura vegetal. El transecto realizado corresponde a una distancia horizontal aproximada de 6 km, en donde se muestrearon 4 calicatas entre los 3216 msnm y los 4113 msnm (Cuadro 1).

Cuadro 1. Altura y pisos vegetacionales según Cavieres et al. (2000) correspondientes a los sitios de estudio.

Ubicación	Sitios de muestreo	Altura (msnm)	Piso vegetacional
Lo Encañado	LE01	2492	Piso andino inferior
	LE02	2492	
	LE03	2512	
	LE04	2514	
	LE05	2538	
	LE07	2503	
Farellones	MP01	3216	Piso andino superior
	MP02	3706	Sin vegetación
	MP03	3906	
	MP04	4113	

Lo Encañado se encuentra caracterizado con un clima de tipo tundra, en donde la temperatura varía entre un máximo promedio de $13,9^{\circ}C$ (enero) y un mínimo promedio de $-3,9^{\circ}C$ (julio). La precipitación media anual es de 747 mm y tiene un periodo seco de 7 meses (octubre-abril), con un déficit hídrico de 953 mm/año, además de un periodo húmedo de 4 meses (mayo-agosto) en donde se produce un excedente hídrico de 285 mm (Santibáñez, 2017). Por su parte, los sitios de Farellones se encuentran ubicados en una zona de transición entre el clima de tundra y uno de tipo polar (de mayor relevancia en estos sitios). En la zona polar, las temperaturas varían entre $4,6^{\circ}C$ (enero) y $-10^{\circ}C$ (julio) y en el año se registra un promedio de 365 heladas. La precipitación media anual es de 977 mm y el periodo seco es de 6 meses (octubre-marzo), con un déficit hídrico de 652 mm/año y un periodo húmedo de 4 meses (mayo-septiembre), en donde se produce un excedente hídrico de 483 mm (Santibáñez, 2017).

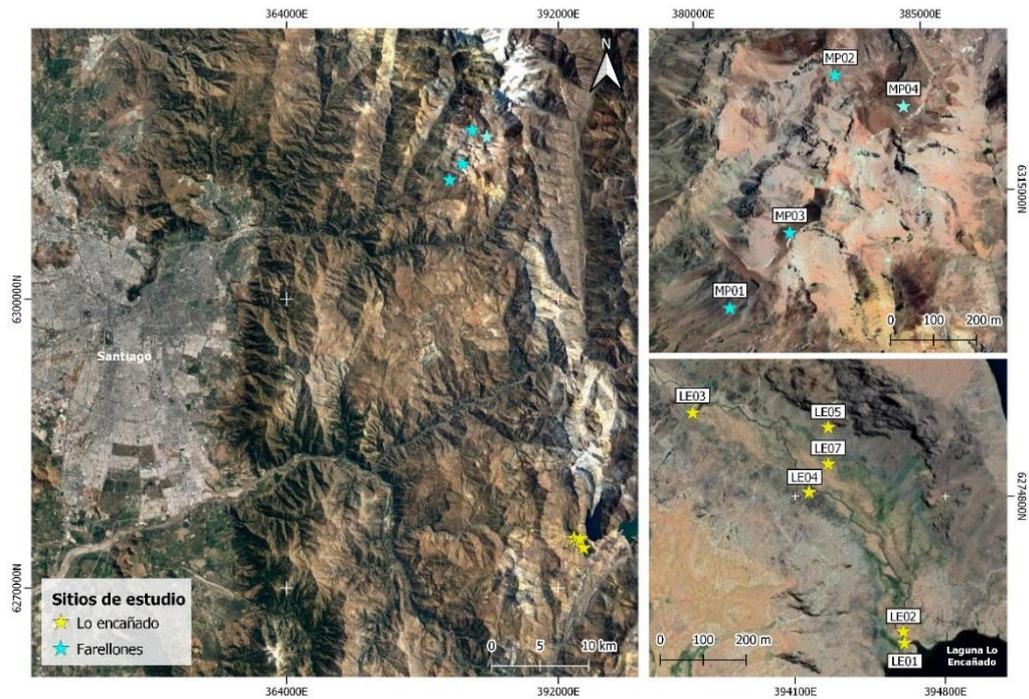


Figura 1. Ubicación de sitios de muestreo.

Propiedades medidas

A partir del muestreo de suelos, se realizó una serie de análisis de propiedades físicas y químicas, con las cuales se determinó el índice de desarrollo pedogenético de Harden (1982). El detalle de los análisis y sus metodologías se indica a continuación.

Análisis físicos (Sandoval et al., 2012)

Textura. Se evaluaron los separados texturales mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos.

Curva de retención de agua en el suelo. Se obtuvo mediante muestras en cilindro no disturbadas utilizando cama de arena, olla y plato de presión, equilibrando las muestras de suelos a tensiones de 0,2, 3, 6 y 33 kPa. Luego, para la tensión de 1500 kPa se utilizaron muestras disturbadas. A partir de esta curva se realizó la caracterización del espacio poroso, entre el valor de saturación (0,2 kPa) hasta los 6 kPa que drenan los poros de drenaje rápido (PDR), entre los 6 kPa y los 33 kPa que drenan los poros de drenaje lento (PDL), entre los 33 kPa y los 1500 kPa que determina los poros de agua útil (PAU) y sobre este valor de 1500 kPa se determinaron los poros de agua inútil (PAI). Si bien esta es una categorización de tipo agronómica, la distribución por tamaños refleja la funcionalidad del sistema poroso, siendo útil como indicador de la calidad del suelo.

Densidad aparente. Se midió una vez realizado el proceso de equilibrio a los -33 kPa, a través del método del cilindro, con muestras de suelo secado a 105°C por 24 h.

Análisis químicos (Sadzawka, 1990; Sadzawka et al., 2005, 2006)

pH. Se realizó una determinación potenciométrica de pH en agua (m/v - 1:2,5).

Conductividad eléctrica (CE). Para muestras de suelos minerales y orgánicos, se obtuvieron extractos de saturación y suspensiones suelo:agua 1:5 (m/v), respectivamente, determinándose la CE por conductivimetría.

Materia orgánica. Se determinó mediante el método de calcinación a 360 °C por 16 h.

Micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn). Se determinaron por extracción con DTPA-CaCl₂-TEA, por lo que se considera que corresponden a nutrientes intercambiables.

Nitrógeno disponible. Se realizó una extracción con KCl, destilación mediante destilador de vapor de agua y posterior titulación con H₂SO₄(0,001 mol/L).

Fósforo disponible. Se realizó la determinación mediante método P-Olsen por espectrofotometría en el equipo Hach DR 5000.

Índice de desarrollo pedogenético

Para poder llegar a una aproximación sobre el nivel de desarrollo de los perfiles en estudio, se utilizó el índice de desarrollo pedogenético de Harden (Harden, 1982) que corresponde a un índice cuantitativo del desarrollo del suelo a partir de descripciones morfológicas de campo.

El cálculo de este valor consiste en asignar puntuaciones a cada uno de los horizontes identificados en cada uno de los perfiles según la comparación de propiedades entre ellos y el material parental (MP). Como aproximación al MP, se identificó en cada uno de los perfiles el horizonte o estrata con menor desarrollo (con excepción de los sitios LE01, LE02 y LE03, que al ocupar la misma posición en el relieve y al estar a menos de 1,5 km de distancia se utilizó el mismo material precursor). Este criterio consideró que aquellos horizontes con menor grado de desarrollo son aquellos que no tienen estructura o poseen grado de estructura débil, texturas más gruesas y no son adhesivos ni plásticos.

En la comparación de los horizontes con su MP, se le asignan 10 puntos a cada diferencia incremental en las propiedades a evaluar. Debido a la disponibilidad de información, para el desarrollo de este trabajo se calcularon en el Cuadro 2 los índices de rubificación/color, textura, estructura y pH. Luego de ello, las propiedades de campo se normalizan en una escala de 1 a 10, para lo cual cada puntuación es dividida por el puntaje máximo posible por propiedad. Cabe mencionar que debido a la falta de propiedades medidas en campo y laboratorio, no fue posible calcular los índices asociados a cutanes, consistencia en seco, consistencia en húmedo y melanización.

Las propiedades normalizadas (rubificación, textura, estructura y pH) se suman y se dividen por el número de propiedades (4 en total) para obtener el índice de cada horizonte. Este índice se multiplica por el espesor del horizonte, para luego sumar estos productos de cada horizonte por perfil y así obtener el índice de desarrollo pedogenético de cada suelo.

Cuadro 2. Puntuación según Harden (1982) de propiedades del suelo para obtención de índice de desarrollo pedogenético, donde X_o es el valor de la propiedad del horizonte correspondiente comparado con la misma propiedad en MP.

Rubefacción (X_r)								
<i>Hue</i>								
5Y	2.5Y	10YR	7.5YR	5YR	2.5YR	10R	5R	
			+10	+20	+30			
<i>Chroma</i>								
0	1	2	3	4	5	6	7	8
			+10	+20	+30			

$$X_r = 10 * [(hue \Delta X_o) + (chroma \Delta X_o)] \text{ húmedo}$$

Textura (X_t)	
<i>Textura</i>	Se añaden 10 puntos por cada línea que cruza en dirección a la arcilla en el triángulo textural
<i>Adhesividad</i>	Se añaden 10 puntos por cada incremento en la adhesividad so → ss → s → vs
<i>Plasticidad</i>	Se añaden 10 puntos por cada incremento en la plasticidad po → ps → p → vp

$$X_t = 10 * [(textura \Delta X_o) + (adhesividad \Delta X_o) + (plasticidad \Delta X_o)]$$

Estructura (X_s)					
	<i>Puntos</i>	5	10	20	30
<i>Clase</i>	<i>Grado</i>		1	2	3
	<i>Tipo</i>	pl	gr	pr	col

		sbk			
		abk			

$$X_s = \left[((grado + tipo) de 1^\circ) + \left(\frac{1}{2}\right) (grado + tipo) de 2^\circ \right]$$

pH (X_{pH})

Diferencia entre el pH del horizonte y el MP. Si en el horizonte designado como MP el $pH > \Delta X_o$, son cero puntos asignados.

$$X_{pH} = pH \Delta X_o$$

En adhesividad, so: no adhesivo; ss: ligeramente adhesivo; s: moderadamente adhesivo; vs: muy adhesivo. En plasticidad, po: no plástico, ps: ligeramente plástico; p: moderadamente plástico; vp: muy plástico. En estructura, grado 1: débil; 2: moderada; 3: fuerte; tipo, pl: laminar; gr: granular; sbk: bloques subangulares; abk: bloques angulares; pr: prismática; col: columnar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los suelos

Morfología de los suelos

Los suelos descritos en ambos sitios están influenciados por la variabilidad espacial que generan los cambios topográficos que, sumado al gradiente altitudinal, que a su vez influencia al clima, la vegetación y los organismos, generan suelos con distinto grado de desarrollo y propiedades a partir de un material parental muchas veces similar.

Lo Encañado.

Los sitios en Lo Encañado se ubican en el piso andino inferior (2100-2800 msnm) localizados en una vega (fondo de valle) de origen glaciar cubierta con vegetación densa azonal y homogénea de la familia de las Juncáceas (LE01, LE02, LE03 y LE07) con paredes escarpadas que dan origen a suelos coluviales (LE04, LE05) (Figura 10). Por el valle avanza un curso de agua en dirección SE que desemboca en la laguna Lo Encañado, siendo en esta zona en donde se genera una acumulación de sedimentos con fuerte olor a sulfuro (Figura 2).



Figura 2. Depósitos en desembocadura del río Lo Encañado con fuerte olor a sulfuros.

El valle se encuentra poco intervenido, sin embargo, se evidencian marcas de pastoreo animal que remueven al menos el primer horizonte en la huella (Figura 3). Además, en esta vega la profundidad del nivel freático da origen a zonas saturadas y zonas no saturadas en gran parte del año. La zona saturada posee el nivel freático superficial (Figura 4) o bien se encuentra a menos de 40 cm de profundidad; es en este lugar donde se localizan suelos orgánicos de más de 2 m de profundidad (sitio LE07). Los demás perfiles descritos en este lugar corresponden a suelos minerales ubicados en zonas no saturadas.



Figura 3. Formación vegetacional en vega andina en Lo Encañado, en el centro se observa huella de paso animal.



Figura 4. Nivel freático en superficie en valle Lo Encañado desde donde se describió el perfil LE07.

En Lo Encañado, se encuentran suelos completamente zonales (al igual que en Farellones) y azonales (correspondiente a la vega). Los suelos zonales (LE04, LE05) se ubican en posición de laderas relativamente estables pero sujetas a erosión constante, siguiendo la tendencia esperada en este tipo de ambiente, con una evolución pedogenética limitada (Luzio et al., 2010).

Por otro lado, se encuentran suelos azonales, con cobertura vegetal continua ubicados en el fondo de valle, con una depositación de sedimentos constante y acumulación de agua de fusión que depende de la hidrología local (aporte de agua subterránea proveniente de deshielo), prácticamente sin influencia de precipitaciones, siendo su relativa homogeneidad florística tipo pradera la que posibilita la mantención de su flora, a pesar de las condiciones ambientales heterogéneas a las que se ven enfrentados (Villagrán et al., 1983). Esta situación contribuye a condiciones de saturación, dando origen a suelos minerales profundos (LE01, LE02, LE03) y suelos orgánicos profundos (LE07).

Los suelos minerales en el fondo de valle de Lo Encañado (LE01, LE02, LE03), mantienen rasgos redoximórficos a lo largo del perfil que evidencian la variación del nivel freático estacional, siendo muy marcados en los suelos ubicados en ribera de río (LE01, LE02) presentándose desde los 70 cm de profundidad (Figura 5).



Figura 5. Rasgos redoximórficos en sitio LE02. A la izquierda, concentración de hierro revistiendo poros. A la derecha, matriz reducida con vaciamientos y concentraciones.

Farellones.

Los sitios ubicados en Farellones se ubican en el piso andino superior (MP01) y sobre el límite vegetacional (MP02, MP03, MP04) (Figura 10).

El piso andino superior (2800-3500 m snm) se caracteriza por una comunidad vegetal compuesta por *Azorella ruizii* G.M. Plunkett & A.N. Nicolas y *Berberis empetrifolia* Lam., siendo distintiva la existencia de cojines y baja presencia de arbustos (Fernández et al., 2019). Cabe mencionar que la cobertura vegetal tiende a disminuir a medida que se incrementa la altura, hasta llegar a una cobertura máxima del 5% aproximadamente. El otro 95% de la superficie corresponde a clastos de distintos tamaños, angulosos y con evidencia de crioclastia (Figura 6). Los sitios ubicados en esta sección son muy distintos, presentando desde horizontes con texturas gruesas muchas veces sin estructura (MP01) hasta horizontes arcillosos con estructura granular (MP02) (Figura 7).

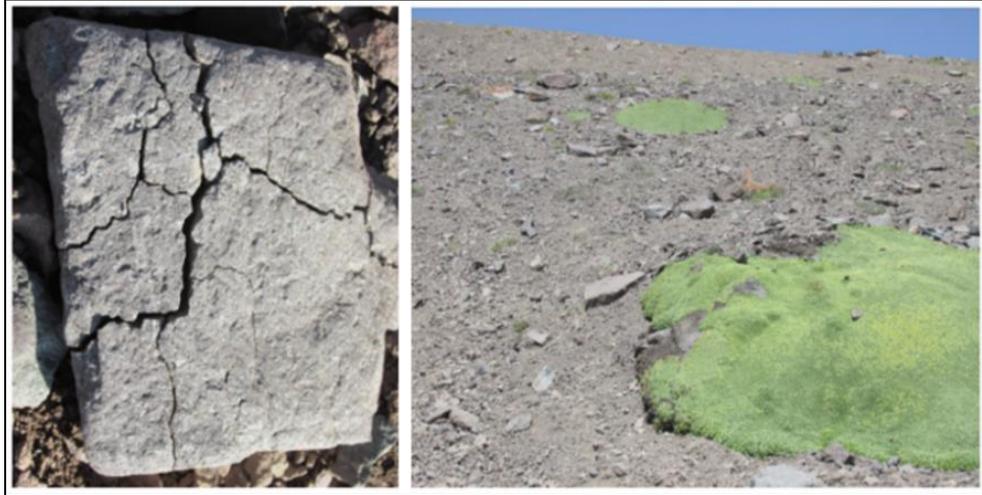


Figura 6. A la izquierda, meteorización física de roca. A la derecha, vegetación en forma de cojín (*Azorella* sp) característica del piso andino superior.



Figura 7. Rasgos del perfil del sitio MP02. A la izquierda, presencia de cutanes en horizonte Bt a los 73-103 cm. A la derecha, límite abrupto entre horizontes Bt₄ (122-138 cm) y B₃ (139-160+), en donde se observa claramente el cambio de estructura de cuña a granular.

Sobre los 3500 msnm se observan rasgos criogénicos en superficie, dados por polígonos (Figura 8) y presencia de cuñas de hielo que aumentan en su tamaño y nitidez a medida que se aumenta en altura, las cuales son evidencia de la criodesecación que se genera por la extracción de agua de los frentes de congelamiento (Bockheim, 2015).



Figura 8. Polígonos criogénicos formados por cuñas de hielo en sitios de muestreo MP03 (izquierda) y MP04 (derecha).

La vegetación es escasa, prácticamente inexistente (1%) estando la superficie cubierta por grava continua, cubierta por barniz (pavimentos de desierto). Bajo esta cubierta de grava se desarrolla un horizonte vesicular (Av) con estructura laminar de unos 2-6 cm de espesor (Figura 9). Esta secuencia pavimento del desierto-Av se ha descrito en otras zonas climáticas de tipo desérticas, en suelos Aridisoles (Figueira, 1984), además de zonas árticas y periglaciares, donde el pavimento del desierto se ha formado *in situ* y sobreyace a una capa enriquecida en limo muchas veces con porosidad vesicular (Bockheim, 2010; Bockheim et al., 2015).

Los sitios en esta sección (MP03, MP04), son suelos poco desarrollados (en comparación a los otros sitios) presentando estructura débil hasta los 16-20 cm y careciendo de ella en profundidad. En el sitio MP04 se observan láminas de carbonato desde los 11 cm en la superficie inferior de los clastos, hasta recubrirlos completamente en profundidad (89 cm). Además, este perfil destaca por tener cerca de 50% de limo en su horizonte Ck3 (49-63 cm), lo que podría tener origen en la depositación de polvo eólico (Bockheim et al., 2000).



Figura 9. Características de pavimento del desierto en sitio MP04. Arriba a la izquierda, peds de horizonte Av. Abajo a la izquierda, gravas cubiertas con barniz del desierto (coloración más oscura en superficie). A la derecha, corte transversal con secuencia grava-horizonte Av.

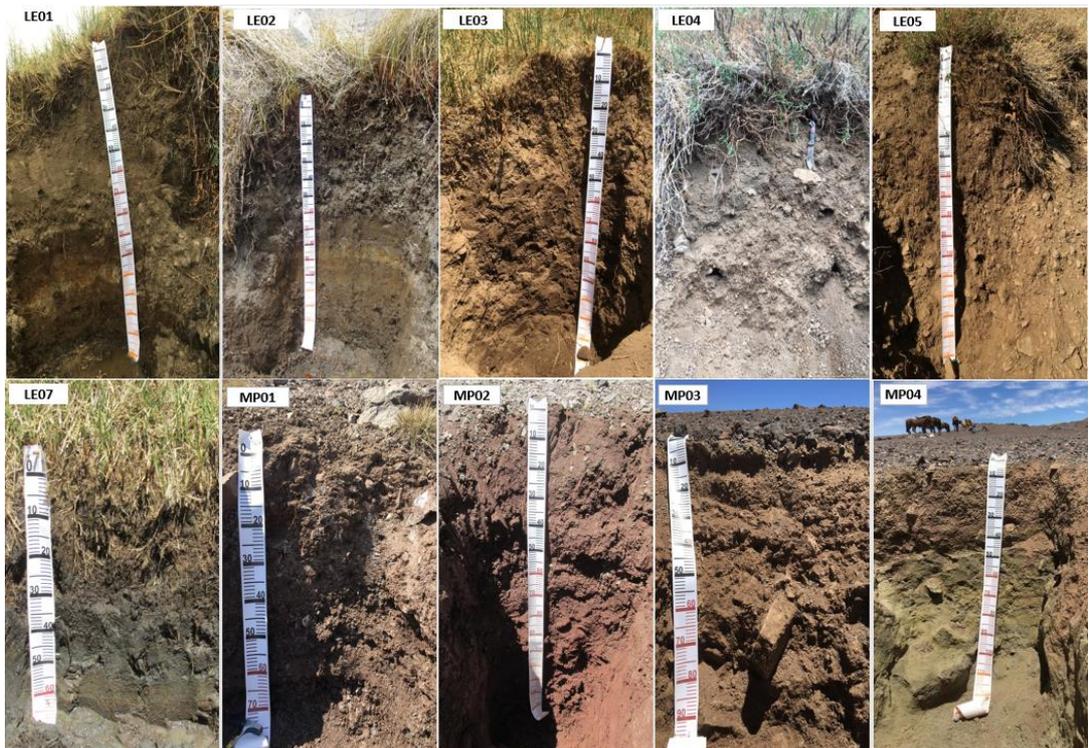


Figura 10. Perfiles de estudio. LE correspondiente a los sitios de Lo Encañado, MP correspondiente a los sitios ubicados en Farellones.

Posición geomórfica de los suelos

Los suelos se pueden clasificar según su posición en el relieve, identificando tres provincias geomórficas: depositacional, zona de erosión y zona persistente (Burns y

Tonkin, 2020) (Figura 11). Esta ubicación explica, junto con los otros FFS, el desarrollo del suelo y las diferencias entre sus propiedades.

Los sitios LE01, LE02, LE03, LE07 y MP02 son suelos deposicionales o de acumulación (Figura 4), por ende, son suelos más profundos, mientras que los sitios MP01, LE04 y LE05 están ubicados en laderas con pendientes escarpadas relativamente estables, aunque sujetas a erosión constante. Por lo anterior, presentan mayor porcentaje de fragmentos gruesos en comparación a los otros sitios, además de estar bien drenados. Estos suelos coluviales, a pesar de ocupar la misma posición de laderas estables en el valle, presentan diferencias en sus propiedades (color, estructura, materia orgánica) dependientes de la exposición y la vegetación asociada. El sitio LE04, con exposición norte, posee un horizonte cálcico en profundidad (135-190+ cm) en donde se observa claramente el recubrimiento de gravas con láminas de carbonatos, lo que lo hace en extremo diferente al resto de los perfiles, de exposición polar

Finalmente, los sitios MP03 y MP04 están localizados en una zona persistente, que se caracteriza por ser relativamente estable, por lo que se esperaría una evolución continua del suelo a medida que pasa el tiempo.

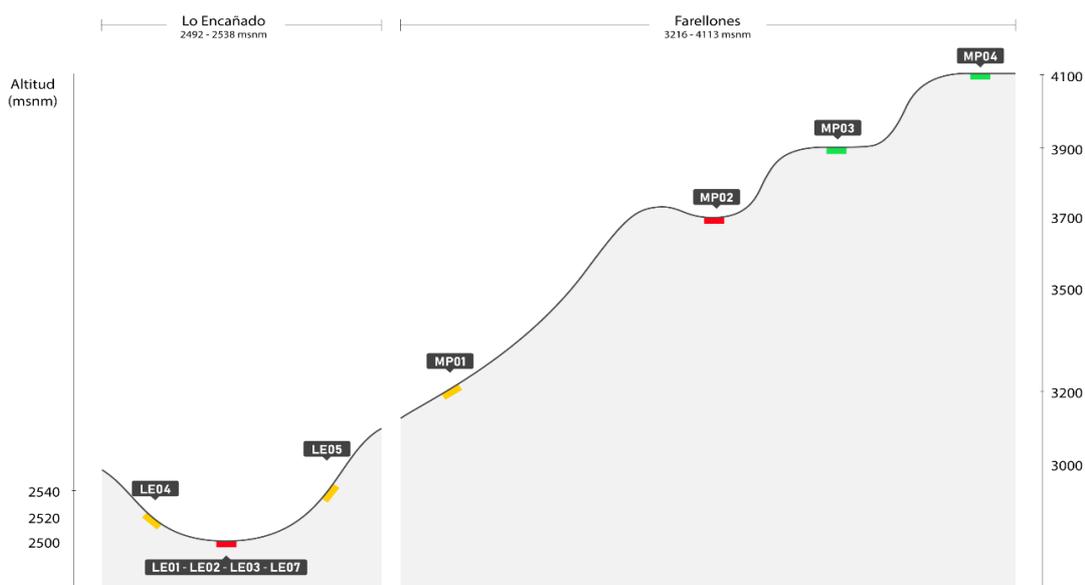


Figura 11. Sitios de muestreo según la posición geomórfica relativa en que se ubican. En rojo, suelos deposicionales; en amarillo, suelos en zonas de erosión; en verde, suelos ubicados en zona persistente.

Propiedades químicas y físicas de los suelos

Se examinaron 10 propiedades químicas correspondientes a pH, CE (dS/m), micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn) (mg/kg), además de N, P, K disponibles (mg/kg), y a

los que se les suma la materia orgánica MO (%). Los resultados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Análisis químicos realizados a los sitios de estudio (n=1).

Horizonte	Prof.	pH	CE	MO	Cu	Fe	Mn	Zn	N	P	K
	cm		dS/m	%							
								mg/kg			
LE 01	(2492 m snm)										
Oi	0-13	6,07	1,09	6,91	15,0	11,2	83,3	-	9,10	23,73	842,1
A	13-27	6,84	0,79	2,44	12,0	39,9	22,8	3,02	2,80	6,75	276,2
B ₁	27-42	6,80	1,37	3,04	13,7	54,8	25,2	3,27	2,80	13,20	247,8
B ₂	42-52	6,84	0,78	4,17	15,8	52,3	17,4	2,40	4,20	10,99	199,9
B _w	52-65	6,10	0,70	1,50	16,0	42,7	36,9	0,00	9,09	9,19	183,5
BC ₁	65-76	6,66	0,69	1,47	11,9	46,5	38,7	2,69	1,40	4,80	138,6
B _{g1}	76-82	6,54	0,44	1,84	15,0	37,4	46,7	2,12	0,70	5,98	136,1
BC ₂	82-87	6,53	0,81	2,33	18,1	36,6	25,8	1,15	4,20	3,98	163,7
B _{wg}	87-97	6,97	0,47	1,05	39,9	44,8	32,6	1,42	3,50	6,58	113,1
C _g	97-107	7,07	0,45	0,94	37,9	42,5	13,0	1,37	2,80	4,97	74,5
B _{g2}	107-120	6,93	0,66	2,74	41,6	82,2	32,9	1,47	1,40	4,97	181,5
B _{g3}	120-132	6,73	0,69	2,21	20,9	36,9	20,2	0,97	1,40	6,56	151,3
B _{se}	132-142+	7,09	1,11	2,48	21,4	121,1	225, 1	1,58	11,19	13,99	173,4
LE 02	(2492 m snm)										
Oi	0-10	5,89	0,50	12,65	12,2	99,6	72,2	15,99	11,19	42,78	1340,6
A	10-25	6,68	0,67	2,62	11,1	47,5	15,2	3,29	1,40	11,77	457,8
C ₁	25-67	6,86	0,47	1,19	9,2	33,7	6,2	1,15	2,80	7,80	120,9
B _{g1}	67-85	6,85	0,94	2,93	37,4	87,4	29,6	2,14	5,60	7,80	166,2
BC _g	85-94	7,45	0,61	1,23	65,4	36,2	59,8	0,00	3,50	8,15	111,0
B _{g2}	94-102	6,90	0,53	0,82	17,4	37,7	19,0	2,35	6,29	13,16	127,9
B _{g3}	102-111	7,01	0,56	2,91	24,5	80,7	35,0	1,22	2,80	10,39	234,2
B _{g4}	111-121	6,78	0,62	2,62	18,7	80,5	39,4	1,22	2,10	8,20	198,0
B _{g5}	121-138	6,72	0,55	2,24	21,3	33,7	15,8	1,06	4,20	6,99	141,9
C ₂	138-150+	6,81	0,65	0,91	19,1	50,5	37,9	1,07	2,10	9,38	165,5
LE 03	(2512 m snm)										
Oi	0-16	6,71	1,02	14,52	16,1	6,9	50,6	4,25	15,39	33,72	521,6
B ₁	16-24	6,78	0,44	5,27	14,9	96,3	7,0	1,53	2,10	13,78	219,9
B _s	24-37	6,87	0,54	5,36	13,1	153,1	6,8	2,29	4,20	23,18	1026,1
B _w	37-59	7,06	0,57	4,26	11,6	48,4	13,8	2,36	4,20	29,59	255,9
B ₂	59-78	6,96	0,67	3,68	13,3	36,0	17,4	11,68	4,90	26,97	272,6
B ₃	78-99	6,87	0,49	5,21	12,8	70,6	9,3	3,14	2,80	14,54	210,3
B ₄	99-116	6,83	0,53	3,72	12,5	14,3	8,8	1,67	2,10	18,98	192,1
B ₅	116-126+	6,93	0,45	3,59	12,8	59,3	13,6	1,58	4,20	17,98	225,3

Cuadro 3. Continuación.

Horizonte	Prof.	pH	CE	MO	Cu	Fe	Mn	Zn	N	P	K
	cm		dS/m	%				mg/kg			
LE 04	(2514 m snm)										
Oe	0-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A	10-15	7,36	0,58	3,66	8,1	2,3	23,1	10,16	20,99	64,87	776,4
BC	15-33	7,19	0,34	2,08	11,2	8,9	3,9	1,18	5,60	33,55	345,8
CB ₁	33-58	7,26	0,41	1,60	10,0	7,3	3,1	0,86	2,80	20,74	374,5
CB ₂	58-82	6,54	0,31	1,97	12,0	8,0	4,5	2,09	0,70	15,75	340,3
B ₁	82-112	7,14	0,32	1,70	11,4	1,5	3,0	0,50	4,90	14,57	248,4
C ₁	112-135	7,27	0,35	3,02	15,6	20,3	4,9	2,58	2,80	17,98	229,6
Ck ₁	135-162	7,37	0,28	1,79	10,4	3,0	3,1	1,59	2,80	13,98	170,3
Ck ₂	162-190+	7,45	0,36	1,71	10,7	1,5	3,9	1,20	2,80	8,39	161,2
LE 05	(2538 m snm)										
Oe	0-8	6,72	0,75	7,55	10,4	33,5	19,1	2,96	13,28	26,48	214,9
A	8-38	6,49	0,38	3,00	8,9	24,5	2,7	0,36	4,90	19,91	485,1
Bw	38-58	6,50	0,31	2,47	9,2	20,5	1,5	0,41	3,50	11,79	313,0
BC ₁	58-82	6,32	0,38	2,51	8,6	18,0	20,5	0,45	2,80	14,49	255,6
BC ₂	82-100	6,38	0,36	2,75	8,8	42,6	1,5	0,21	2,80	12,13	171,0
BC ₃	100-120	6,38	0,30	2,43	9,6	15,2	1,1	0,49	1,40	9,53	137,9
C ₁	120-144	6,47	0,25	2,34	9,7	12,7	0,8	0,43	0,70	10,57	134,0
C ₂	144-157+	6,41	0,43	2,10	9,4	22,6	1,0	0,29	4,20	12,58	123,8
LE 07	(2503 m snm)										
Oi ₁	0-12	5,45	2,41	69,38	-	-	-	-	31,48	102,7 ₁	3552,1
Oi ₂	12-23	4,09	2,11	68,87	6,2	223,8	3,9	1,87	30,08	119,9 ₃	435,8
Oe ₁	23-38	3,92	1,71	64,48	5,9	134,1	9,4	0,74	25,19	109,1 ₈	353,2
Oe ₂	38-48	4,83	0,61	51,64	4,5	91,2	5,3	3,57	11,18	79,55	257,4
C ₁	48-60	5,46	0,46	1,88	22,2	63,0	22,7	9,12	11,19	8,79	120,0
C ₂	60-68	5,24	1,02	6,64	28,1	171,9	25,2	0,00	4,20	8,19	195,6
Oese	68-80+	5,01	0,69	57,13	-	-	-	-	9,79	104,9 ₁	207,0
MP 01	(3216 m snm)										
A	0-4	7,41	0,30	4,89	9,9	173,1	-	0,84	11,15	16,31	149,3
B	4-12	7,89	0,10	1,59	4,8	13,4	-	0,39	3,49	20,56	143,9
Bt ₁	12-31	8,14	0,37	1,92	5,8	6,9	-	0,27	9,79	35,39	147,2
Bt ₂	31-49	6,52	0,22	1,53	6,6	5,5	-	0,40	6,26	7,47	158,9
Bt ₃	49-60	7,72	0,23	1,61	6,5	5,7	-	0,36	7,69	6,78	131,0
Bt ₄	60-67	7,76	0,33	1,48	7,1	6,4	-	0,30	4,89	7,14	90,4
C ₁	67-104	6,34	0,15	1,67	6,6	5,5	-	0,32	6,30	3,77	91,8
BC	104-127	7,02	0,15	1,60	6,6	58,1	-	0,22	10,44	3,58	144,6
C ₂	127-136	7,91	0,18	1,75	6,7	66,4	-	0,26	2,79	3,58	116,7
C ₃	136-160	7,65	0,16	1,29	6,6	35,4	-	0,38	3,49	2,99	154,2

Cuadro 3. Continuación.

Horizonte	Prof.	pH	CE	MO	Cu	Fe	Mn	Zn	N	P	K
	cm		dS/m	%				mg/kg			
MP 02	(3706 m snm)										
	0-3										
Av	3-8	7,61	0,29	2,32	22,5	131,9	-	1,81	1,40	6,13	303,1
B ₁	8-25	7,31	0,20	1,86	12,2	103,7	-	1,23	5,59	4,39	328,9
B ₂	25-46	7,41	0,24	1,31	10,1	161,5	-	0,98	5,59	2,80	359,3
Bt ₁	46-73	7,85	0,27	1,36	9,5	101,0	-	1,44	3,49	1,59	317,2
Bt ₂	73-103	7,85	0,16	1,51	10,6	29,0	-	1,38	6,96	2,37	345,8
Bt ₃	103-122	7,72	0,16	1,48	18,9	9,3	-	1,15	6,99	1,98	450,3
Bt ₄	122-139	8,28	0,18	1,73	11,3	66,1	-	1,00	4,89	0,60	477,8
B ₃	139-160	7,89	0,23	1,95	12,2	6,8	-	2,09	2,09	0,20	493,4
MP 03	(3906 m snm)										
	0-4										
Av	4-6	7,61	0,35	0,92	6,7	69,8	-	0,70	6,99	7,06	447,5
B ₁	6-13	7,68	0,25	1,11	6,7	62,5	-	0,64	4,89	4,33	519,5
B ₂	13-21	7,27	0,28	1,30	6,9	65,9	-	0,57	4,86	5,75	689,7
B ₃	21-47	6,91	0,40	0,86	5,1	32,7	-	0,24	4,90	2,58	585,0
B ₄	47-58	6,95	0,21	0,92	4,9	21,8	-	0,18	2,10	1,80	611,6
B ₅	58-67	7,61	0,18	1,11	5,1	10,0	-	0,13	6,98	2,58	662,3
BC ₁	67-86	6,84	0,43	1,27	6,2	21,9	-	0,40	2,10	1,99	663,1
BC ₂	86-95	6,85	0,24	0,93	5,2	25,9	-	0,23	9,07	2,19	548,4
MP 04	(4113 m snm)										
	0-5										
Av	5-11	7,15	0,33	0,74	10,0	39,5	-	0,57	11,90	2,98	352,3
Bk	11-16	8,29	0,20	1,01	9,3	37,5	-	0,42	6,23	3,37	290,3
Ck ₁	16-30	6,57	0,29	1,61	8,7	36,2	-	0,37	8,34	2,20	321,1
Ck ₂	30-40	7,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ck ₃	40-49	7,54	0,27	1,21	10,8	81,7	-	0,33	4,16	1,79	311,4
Ck ₄	49-63	7,35	0,27	1,04	11,2	88,4	-	0,37	6,98	1,39	274,6
Ck ₅	63-76	7,49	0,28	0,96	8,8	64,9	-	0,29	9,71	1,59	265,8
Ck ₆	76-81	7,56	0,36	1,13	8,6	67,3	-	0,35	9,79	0,59	282,2
Cjj	81-89	8,23	0,31	1,23	8,8	57,4	-	0,53	9,04	0,20	297,0
C	89-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

El pH, en general, posee valores muy similares (~7) a excepción del sitio LE07. Sin embargo, se evidencia una tendencia ligera en los sitios de Farellones a ser más básicos (Cuadro 3). En particular el sitio LE05 posee el valor más bajo de pH (considerando todo el perfil), distribuido de manera casi homogénea en profundidad (~6,4), mientras que el sitio MP02 es el más alcalino (considerando todo el perfil), con un valor máximo de pH en la profundidad 122-139 de 8,28. Por su parte, el sitio LE07 es un suelo ácido, con un valor mínimo de pH de 3,92 a una profundidad de 23-38 cm (Cuadro 3). Llama además la atención que los dos suelos coluviales de Lo Encañado (LE04, LE05), a pesar de ubicarse en la misma posición en el relieve, poseen valores de pH distintos, siendo el LE05, de exposición polar, ligeramente más ácido que el sitio en exposición contraria, lo

que puede deberse a su mayor porcentaje de MO y su mayor porcentaje de porosidad gruesa (33% versus 26% aproximadamente a lo largo de todo el perfil) que favorece un mayor flujo de agua vertical y que trae como consecuencia la lixiviación de bases.

La conductividad eléctrica (CE), en general, es mayor en los sitios de Lo Encañado (LE), siendo el sitio LE07, dada su condición de saturación, el que posee los mayores valores ($\sim 2,3 \text{ dS m}^{-1}$ en horizontes superficiales). Además, los sitios LE01 y LE02 (siguientes valores mayores), al estar más cercanos a la desembocadura del río a la laguna Lo Encañado, favorecen la acumulación de sales en el perfil, dado que el movimiento del agua se ralentiza por su nivel de saturación.

Por otra parte, la tendencia general (a excepción del LE07), indica que la MO disminuye a medida que se incrementa la altitud, debido a la menor producción de biomasa, la que se encuentra limitada por las condiciones climáticas; sin embargo, existen 2 sitios (LE03 y LE05) que poseen un valor por metro cuadrado superior al promedio (Figura 12).

Además, llama la atención que el sitio MP01 tenga un contenido de MO similar a LE01 (27,1 y 26,2 kg/m^2 respectivamente), a pesar de estar a 724 m de diferencia de altura, con condiciones de drenaje contrastantes. Por un lado, el sitio LE01 corresponde a un suelo de tipo azonal, con cobertura vegetal continua, la condición de saturación que poseen estos suelos durante gran parte del año promueve la lenta descomposición de la MO, debido a la falta de oxígeno (Segnini et al., 2010); por otro lado, en el sitio MP01, que tiene una baja cobertura vegetal y por ende un menor aporte de MO, se dan condiciones de bajas temperaturas y menor humedad que en LE01, lo que disminuye las tasas de descomposición de restos vegetales, teniendo como consecuencia una progresiva acumulación de la MO (Sánchez et al., 2005). Los sitios LE04 y LE05, a pesar de que su ubicación corresponde a la misma zona geomórfica, su aspecto contrario determina que aquel con exposición polar (LE05) tenga mayor contenido de MO, dada las condiciones de humedad que favorecen la mayor presencia de vegetación (Figura 12).

En el sitio LE07, dada su posición y condiciones de saturación permanente, la MO saturada de agua se descompone muy lento debido a la falta de oxígeno, en donde se ve reducida la tasa de mineralización del suelo (Segnini et al., 2010), lo que tiene como consecuencia valores $>50\%$ hasta los 48 cm de profundidad. Este alto contenido de MO, resistencia a la mineralización y condiciones climáticas de baja temperatura, prolongan la persistencia de esta MO, sobre todo por la reducción de la tasa de actividad microbiana y fauna del suelo (Poulenard y Podwojewski, 2006).

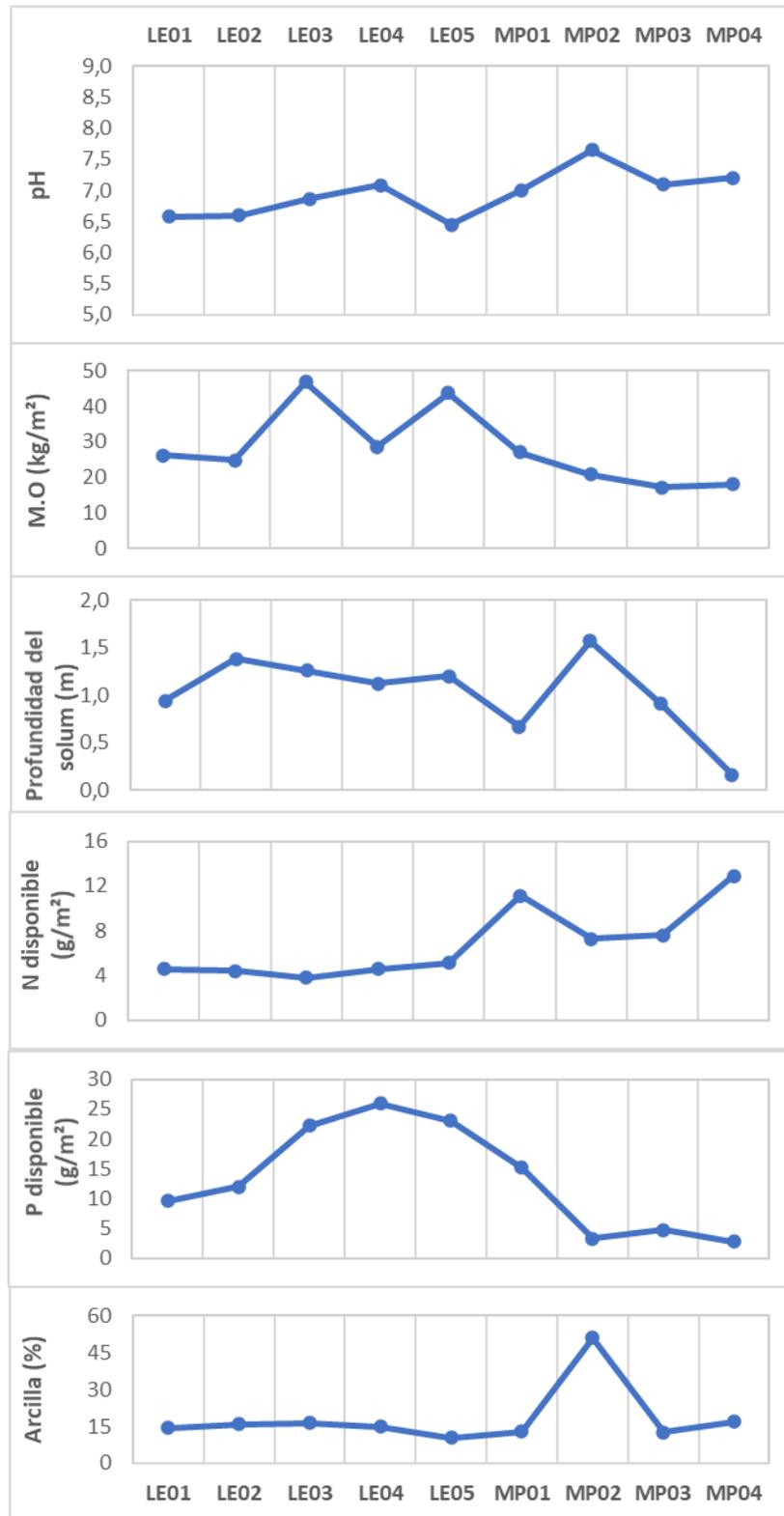


Figura 12. Variación de pH, materia orgánica (MO), profundidad del solum, N disponible, P disponible y porcentaje de arcilla en los sitios de estudio (excluido LE07), desde izquierda a derecha según altitud (n=1). M.O, N y P disponibles son expresados en unidades de masa/superficie para hacer comparables los sitios de estudio.

La profundidad del *solum*, a modo general, tiende a disminuir a medida que se incrementa en la altitud (Figura 12), con excepción del sitio (MP02) que mantiene sus horizontes B sobre los 150 cm de profundidad, esto debido a su posición geomórfica.

Por su parte, los micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn) se comportan, generalmente, en directa relación con el contenido de MO y el contenido de arcilla, relación que se ha descrito en suelos de Argentina (Buffa y Ratto, 2005; Roca et al., 2007). La mayor presencia de micronutrientes se da en horizontes superficiales de acumulación de MO, o bien en horizontes subsuperficiales con mayor contenido de ella, aunque también se observa un incremento de nutrientes en horizontes subsuperficiales en suelos con mayor porcentaje de arcilla (por ejemplo, distribución de Cu y Zn en sitio MP02, de texturas arcillosas en todos sus horizontes subsuperficiales).

El nitrógeno disponible va aumentando a medida que se incrementa la altura, notándose una excepción en el sitio MP01, que posee un valor de $11,1 \text{ g/m}^2$, similar al sitio MP04 ($12,9 \text{ g/m}^2$) siendo el valor más alto de los sitios estudiados (sin considerar sitio LE07), marcándose una diferencia notoria con los sitios más cercanos.

El P disponible, considerando este transecto, posee su valor máximo en altitudes medias, disminuyendo hacia los extremos, estando los menores valores en los sitios más elevados (MP02, MP03, MP04) (Figura 12).

A modo general, las texturas tienden a ser gruesas en todos los sitios estudiados (a excepción del perfil MP02), tal como se presenta en el Cuadro 4. El porcentaje de arcilla, en los sitios de Lo Encañado, tiende a disminuir ligeramente con la altura debido al arrastre de aquellas partículas más finas por erosión (Casanova et al., 2007). Sin embargo, se debe considerar que los perfiles de mayor elevación en este sitio, corresponden a aquellos ubicados en laderas, otorgando una menor estabilidad para el desarrollo del suelo, que además, dada su posición en el relieve, posee menor capacidad de almacenamiento de agua en el perfil, favoreciendo la escorrentía por sobre los procesos de infiltración, que podría tener como consecuencia una menor tasa de meteorización que los otros suelos en este sitio (Nassif y Wilson, 1975; Carrasco, 2020).

En la misma línea, los suelos en posición de laderas (MP01, LE04, LE05) poseen texturas más gruesas que los demás sitios, rondando un valor de arena del 70%, además de tener un mayor porcentaje de fragmentos gruesos en todo el perfil (Cuadro 4), lo que se relaciona directamente a su baja retención de agua (Cuadro 5).

En los suelos de Farellones, la tendencia general es al aumento de la concentración de arcilla con el incremento de altitud, con excepción del MP02, que presenta el máximo porcentaje entre todos los sitios de muestreo. Este último, posee altos porcentajes de arcilla en todo el perfil, incrementando en profundidad, con niveles de 33,8% en el horizonte de 3-8 cm hasta un valor máximo de 70,6% a los 139-160 cm, lo que tiene

directa relación con procesos criogénicos que favorecen esta textura y estructura (granular) en la zona de transición entre el permafrost y la capa activa (Kovda y Lebedeva, 2014).

Por otra parte, la translocación de arcilla se evidencia en forma de cutanes en los sitios MP01 y MP02, ambos con horizonte argílico, estando el de mayor espesor en el último sitio (MP02) que destaca por sus texturas muy finas en todo el perfil (Cuadro 4). Esta textura fina, le confiere, además, una alta capacidad de retención de agua (Cuadro 5).

Cuadro 4. Propiedades físicas de los suelos del estudio (n=1).

Horizonte	Profundidad	a	L	A	Da	W ₃₃	W ₁₅₀₀	F.g
	cm		%		Mg/m ³		%	
LE 01	(2492 m snm)							
Oi	0-13	62,5	25,4	12,2	1,08*	22,6*	12,7*	7,7
A	13-27	75,6	13,2	11,2	1,51	16,8	16,7	41,9
B1	27-42	39,1	44,6	16,2	1,19*	33,3*	16,9*	15,3
B2	42-52	30,8	54,1	15,1	1,11*	37,2*	18,4*	32,5
Bw	52-65	79,8	11,1	9,1	1,39*	14,6*	9,6*	49,2
BC1	65-76	88,0	6,0	6,0	1,30*	10,9*	8,2*	67,3
Bg1	76-82	75,6	13,1	11,3	1,47	25,2	9,6	60,1
BC2	82-87	37,4	45,9	16,7	1,03	23,6	15,6	24,4
Bwg	87-97	44,0	33,2	22,8	1,30	27,6	14,5	5,2
Cg	97-107	86,7	7,1	6,3	1,31	9,4	6,1	4,8
Bg2	107-120	14,9	58,1	27,0	1,16	47,1	20,2	0,9
Bg3	120-132	32,6	47,9	19,6	1,24	40,1	22,7	17,6
Bse	132-142+	52,2	34,6	13,2	-	27,3*	14,6*	49,3
LE 02	(2492 m snm)							
Oi	0 -10	-	-	-	0,77*	-	-	19,3
A	10 -25	78,9	13,1	8,0	1,23*	15,1*	9,8	32,7
C1	25 - 67	90,8	0,7	8,5	1,83	11,9	9,1	79,2
Bg1	67 -85	20,8	56,3	22,9	1,18	38,4	22,3	2,1
BCg	85 -94	54,9	32,9	12,2	1,34	30,2	9,6	0,8
Bg2	94 - 102	51,9	33,8	14,3	1,18	35,3	15,0	0,1
Bg3	102 - 111	19,4	51,3	29,3	1,15	47,2	19,9	10,8
Bg4	111 - 121	50,7	28,7	20,5	1,35	33,2	17,8	43,3
Bg5	121 - 138	54,9	30,6	14,5	1,22	32,4	15,6	27,6
C2	138 - 150+	74,2	12,5	13,3	1,38	15,0	11,9	55,5
LE 03	(2512 m snm)							
Oi	0-16	44,4	39,1	16,5	0,53*	30,9*	15,9	15,2
B1	16-24	57,3	28,5	14,2	1,06*	24,9*	13,7	46,2
Bs	24-37	57,5	30,4	12,1	1,04*	24,8*	13,6	42,4
Bw	37-59	49,8	27,3	22,9	0,98	26,8	10,9	44,4
B2	59-78	52,9	32,7	14,3	1,20	19,6	17,3	43,7
B3	78-99	46,1	33,2	20,7	1,05*	30,2	15,7	49,3

B4	99-116	54,4	31,4	14,2	1,14*	26,3	14,2	51,7
B5	116-126+	51,0	32,6	16,3	1,13*	27,8	14,8	52,5

Horizonte	Profundidad	a	L	A	Da	W ₃₃	W ₁₅₀₀	F,g
	cm		%			Mg/m ³	%	
LE 04	(2514 m snm)							
Oe	0-10							
A	10-15	-	-	-	0,35	31,1	21,0	24,7
BC	15-33	76,7	8,6	14,7	1,76	15,5	10,5	45,4
CB1	33-58	80,7	13,2	6,1	1,82	14,2*	9,5	61,7
CB2	58-82	66,0	17,0	17,0	1,50	20,9*	12,1	62,3
B1	82-112	79,7	10,1	10,1	0,89	16,9	10,2	69,2
C1	112-135	52,3	23,7	24,0	1,49	22,8	13,7	60,8
Ck1	135-162	69,9	13,2	16,8	1,73	13,1	9,6	70,5
Ck2	162-190+	77,1	8,1	14,8	1,44	16,9	7,6	65,7
LE 05	(2538 m snm)							
Oe	0-8	74,8	17,2	8,1	0,94*	-	-	58,0
A	8-38	75,6	11,3	13,1	1,90	15,9	13,0	42,5
Bw	38-58	80,6	9,7	9,7	1,77	18,1	11,6	54,9
BC1	58-82	75,9	15,8	8,3	1,86	13,5	11,8	55,9
BC2	82-100	70,5	17,8	11,7	1,67	13,8	10,6	59,8
BC3	100-120	73,5	16,3	10,2	1,71	14,1	13,9	62,3
C1	120-144	67,3	22,5	10,2	1,60	13,2	12,8	59,5
C2	144-157+	73,5	14,8	11,7	1,77	18,7	12,3	59,3
LE 07	(2503 m snm)							
Oi1	0-12	-	-	-	-	-	-	44,5
Oi2	12-23	-	-	-	0,09	38,7	20,7	12,4
Oe1	23-38	-	-	-	0,12	43,8	19,9	6,7
Oe2	38-48	-	-	-	0,21	30,0	14,2	0,3
C1	48-60	50,4	37,5	12,2	0,79	45,6	12,9	0,1
C2	60-68	26,7	48,9	24,4	0,63	70,0	21,8	0,1
Oese	68-80+	-	-	-	0,10	38,5	21,2	0,3
MP 01	(3216 m snm)							
A	0-4	68,2	20,9	11,0	1,65	18,6	10,6	36,0
B	4-12	59,4	23,9	16,6	1,67	19,3	14,3	42,1
Bt1	12-31	55,9	29,3	14,8	1,30	19,9	15,2	65,9
Bt2	31-49	68,4	18,2	13,4	1,60	19,3	13,5	65,5
Bt3	49-60	72,1	12,6	15,3	1,62	7,3	6,4	85,2
Bt4	60-67	66,4	19,8	13,7	1,56	14,2	7,3	80,4
C1	67-104	78,9	10,4	10,6	1,55	8,0	5,8	81,6
BC	104-127	77,5	12,3	10,2	1,54	11,1*	9,8*	77,4
C2	127-136	74,1	15,7	10,2	1,62	9,4	6,01	81,7
C3	136-160	73,4	14,3	12,3	-	-	-	75,5

Horizonte	Profundidad	a	L	A	Da	W ₃₃	W ₁₅₀₀	F.g
	cm		%		Mg/m ³		%	
MP 02	(3706 m snm)							
	0-3				Pavimento continuo			
Av	3-8				1,35	26,0*	20,3*	30,7
B1	8-25	41,2	25,0	33,8	1,53	31,1	23,7	37,5
B2	25-46	28,1	28,5	43,3	1,47	33,9	29,6	28,2
Bt1	46-73	24,3	30,3	45,4	1,32	26,9	19,3	52,5
Bt2	73-103	34,4	25,2	40,4	1,34	38,1	29,5	3,8
Bt3	103-122	18,4	33,5	48,2	1,23	43,5	33,5	2,8
Bt4	122-139	6,7	36,3	57,0	1,20	45,3	36,7	0,1
B3	139-160	0,3	30,3	69,4	-	42,3	31,1	1,4
MP 03	(3906 m snm)							
	0-4				Pavimento continuo			
Av	4-6	71,6	16,4	12,0	1,71	15,4	9,7	49,5
B1	6-13	58,3	24,0	17,7	1,71	16,4	13,8	50,6
B2	13-21	42,5	29,4	28,1	1,62	16,9	15,1	36,5
B3	21-47	67,5	18,1	14,4	1,58	16,4	13,0	60,7
B4	47-58	71,0	21,1	8,0	1,62	17,3	14,5	48,7
B5	58-67	68,0	25,4	6,6	1,64	20,3	14,4	58,3
BC1	67-86	68,9	24,3	6,8	1,70	20,7	14,5	50,7
BC2	86-95	74,5	17,9	7,5	1,70	18,4	12,6	49,8
MP 04	(4113 m snm)							
	0-5				Pavimento continuo			
Av	5-11	63,3	21,4	15,3	1,85	16,5	11,3	62,6
Bk	11-16	64,0	17,1	18,9	1,76	13,6	11,9	63,5
Ck1	16-30	66,4	17,3	16,3	1,66	11,2	10,4	73,7
Ck2	30-40	-	-	-	-	-	-	-
Ck3	40-49	39,9	35,2	24,9	1,31	17,5	16,5	45,2
Ck4	49-63	33,5	47,9	18,6	1,58	29,2	22,3	28,5
Ck5	63-76	45,9	38,8	15,3	1,54	23,5	17,5	25,3
Ck6	76-81	52,8	34,1	13,1	1,51	24,1	15,9	20,8
Cjj	81-89	43,6	43,1	13,3	1,45	27,0	17,4	40,6
C	89-95	-	-	-	-	-	-	-

a, arena; L, limo; A, arcilla; Da, densidad aparente; W₃₃ y W₁₅₀₀, contenido gravimétrico de agua a 33 y 1500 kPa; Fg, fragmentos gruesos (> 2 mm); *, valores estimados con RETC (van Genuchten et al., 1991).

Si se comparan ambas zonas de muestreo (Lo Encañado y Farellones), la densidad aparente (Da) tiende a ser menor en los sitios de Lo Encañado, a raíz de los mayores contenidos de MO que presentan los perfiles en ese sitio. En general en los sitios de Lo Encañado los valores de Da son similares (~1,2 Mg/m³), sin embargo, el perfil LE03 posee una tendencia a tener los valores más bajos (~1,0 Mg/m³) debido a su mayor porcentaje de MO. A pesar que LE05 presenta un contenido de MO similar a LE03 (~45 kg/m²) posee una mayor Da ya que su textura es más gruesa. Por otra parte, en Farellones también se ve un comportamiento similar en la Da, teniendo un valor de ~ 1,6 Mg/m³, a

excepción del MP02, cuyos valores disminuyen en profundidad (Cuadro 4) debido a su alto porcentaje de arcilla.

El agua disponible ($W_{33}-W_{1500}$) varía entre los sitios de estudio entre valores de 0,26 mm/cm y 2,13 mm/cm (Cuadro 5), estando el mayor valor en el LE07 dado su alto contenido de materia orgánica. Entre los suelos minerales, la capacidad de retención de agua es consecuencia de un factor combinado entre la posición geomórfica que favorece un mayor desarrollo del suelo en términos de estructura, textura, y descomposición y humificación de la materia orgánica, influenciado por condiciones climáticas que condicionan la meteorización del material parental. Los sitios con mayor agua disponible son LE03> LE01>LE02, con valores muy similares (~1,12 mm/cm), lo que se explicaría debido a que se encuentran en la misma posición geomórfica depositacional, además de, presentar una estructura similar. Los suelos en posición de erosión (LE04, MP01, LE05) debido a que su desarrollo se encuentra limitado por el desprendimiento constante de partículas de suelo, la capacidad de almacenar agua se ve disminuida, ya que son suelos más bien sueltos con grado de estructuración mayoritariamente débil, texturas más gruesas que el resto de los perfiles y mayor porcentaje de fragmentos gruesos. Finalmente, los suelos ubicados en zona persistente (MP03, MP04) al no tener grado de estructura en gran parte del perfil (de tipo masiva y grano simple) y bajo porcentaje de MO (~1,08 %) tienden a una baja capacidad de retención de agua.

Cuadro 5. Agua disponible ($W_{33}-W_{1500}$) en suelos de estudio (n= 1).

Sitio	Profundidad del suelo		Agua disponible	
	cm	mm	mm	mm/cm
LE01	142	163,71		1,15
LE02	150	155,19		1,03
LE03	126	150,18		1,19
LE04	190	125,29		0,66
LE05	157	41,36		0,26
LE07	80	170,09		2,13
MP01	136	46,88		0,34
MP02	160	128,43		0,80
MP03	95	38,63		0,41
MP04	89	38,00		0,42

Índice de Harden

El nivel de desarrollo de los suelos indica que el índice (Figura 13) se encuentra íntimamente relacionado con la posición geomórfica que tienen cada uno de ellos. Los suelos con mayor desarrollo son aquellos que se ubican en zonas depositacionales (LE03>LE01>MP02>LE02) lo que podría estar relacionado directamente con la disponibilidad de agua en el perfil, debido a que la precipitación efectiva es mayor en zonas con pendiente relativamente plana (Nassif y Wilson, 1975; Egli et al., 2006; Carrasco, 2020). Sin embargo, el sitio MP01, a pesar de ubicarse en una zona de erosión constante y tener mayor porcentaje de fragmentos gruesos (fracción >2 mm) posee un desarrollo similar al sitio LE03. Los sitios LE04 y LE05 poseen un grado de desarrollo similar dada su posición y ubicación, mientras que el sitio MP04 posee un mayor grado de desarrollo que su par en la misma zona geomórfica (MP03).

El sitio MP02, al ser deposicional y al estar sujeto activamente a procesos criogénicos, posee una estructura granular, lo que pondera en gran medida su alto nivel de desarrollo (Figura 13). Su textura es característica de la capa activa (capa de suelo que se somete a deshielo y congelación anuales), en donde se genera una compresión y reordenamiento de fragmentos gruesos por procesos de desecamiento; esta secuencia “congelación-deshielo” es aquella que controlaría en gran medida la tasa de formación de este suelo (Tarnocai y Bockheim, 2011; Bockheim, 2015).

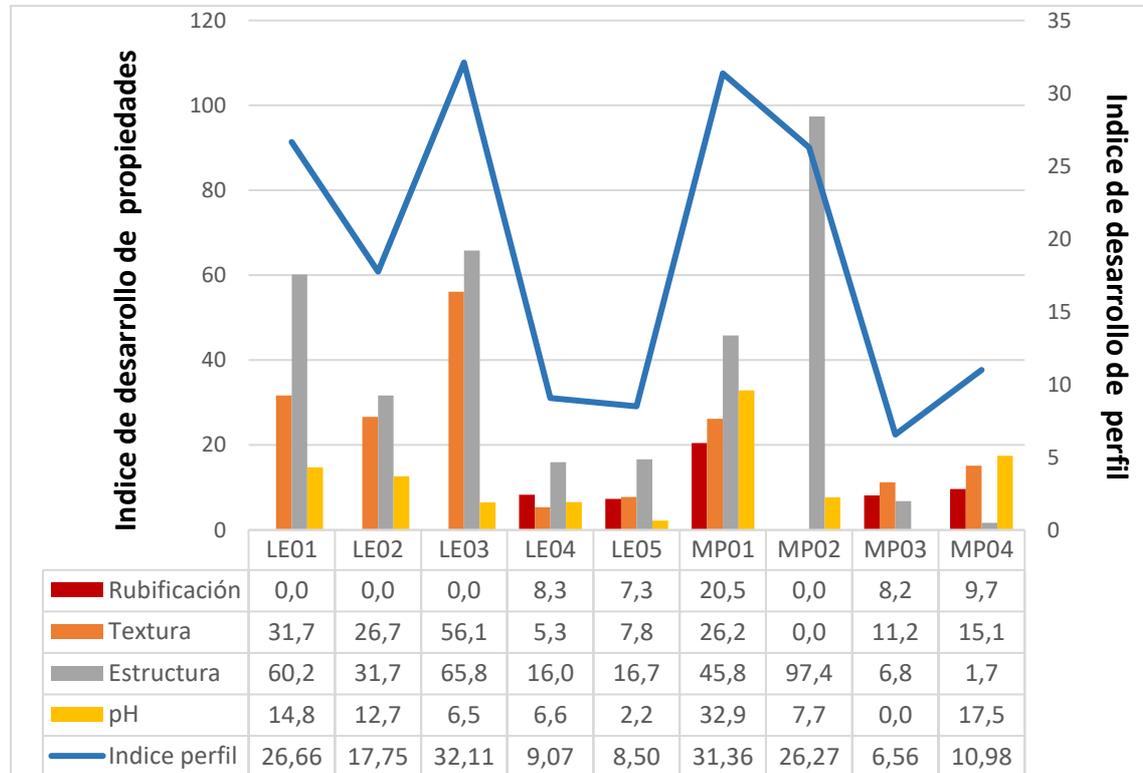


Figura 13. Índices de desarrollo de propiedades (barras) e índice de desarrollo de perfil (línea azul) de los suelos en estudio.

Es sabido que, existen características ambientales que se correlacionan positiva o negativamente con la altura, las cuales estarían relacionadas directamente con los tipos de suelos encontrados en cada cota. Por ejemplo, la temperatura y la precipitación (correlación negativa y positiva respectivamente) limitan en sus expresiones extremas el desarrollo del suelo, existiendo así un mayor desarrollo en altitudes medias (Dahlgren et al., 1997). Además, junto con el monto de precipitaciones, es necesario analizar la precipitación efectiva que queda determinada por la topografía; es así como los suelos en posición de ladera, que se ven afectados por erosión constante, presentan un menor desarrollo, relacionado además (de modo general) al menor ingreso de precipitación al perfil (Nassif y Wilson, 1975; Carrasco, 2020).

Dicho lo anterior y si bien es cierto, el índice de desarrollo de Harden da una aproximación del grado de desarrollo de los suelos, se debe tener en consideración aquellas propiedades que ponderan más o menos al resultado final para poder hacer una correcta interpretación de él. Por un lado, por ejemplo, el sitio MP01 posee un desarrollo relativamente homogéneo de las propiedades evaluadas, teniendo, además, el mayor índice de rubificación, textura y pH (lo que se traduce en el alto índice de desarrollo de

perfil), esto indicaría condiciones de formación favorables para el desarrollo de suelo determinadas principalmente por la zona climática en donde se ubica independiente su posición geomórfica, la que no favorece suelos estables. Mientras que, por otro lado, el sitio MP02 posee un nivel de desarrollo similar al MP01, dado principalmente por el índice de estructura (Figura 13) la cual está influenciada también por características climáticas que favorecen procesos criogénicos, además de la posición en zonas de acumulación.

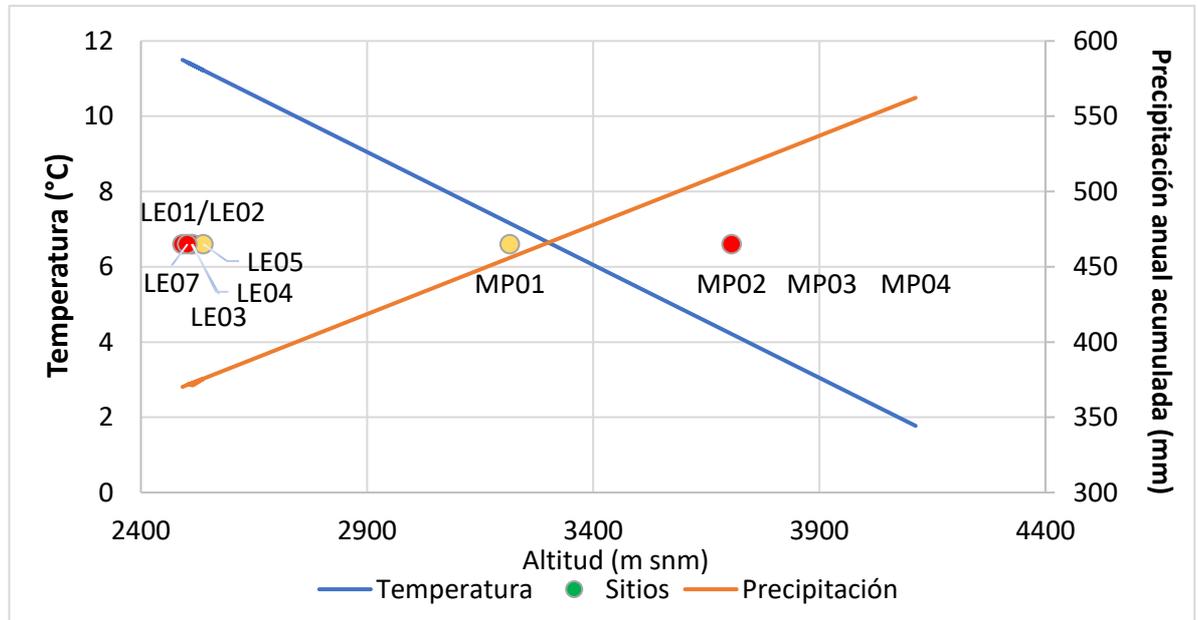


Figura 14. Características climáticas (precipitación acumulada y temperatura media anual) en sitios de estudio según altitud. En rojo, suelos depositacionales; en amarillo, suelos en zonas de erosión; en verde, suelos ubicados en zona persistente.

Clasificación taxonómica de los suelos

La clasificación taxonómica de los suelos es claramente una consecuencia de los FFS, principalmente aquellos que son activos (clima y organismos) que se encuentran presentes e interaccionan con los factores pasivos (MP, relieve y tiempo). Es así como los suelos de Lo Encañado, al estar situados en una vega andina con constante aporte vegetacional y un clima apropiado (temperatura y agua disponible) para el desarrollo del suelo, presentan suelos minerales que corresponden a Mollisoles, a excepción de LE07, que dada su naturaleza es un Histosol (Cuadro 6); aunque existen diferencias notables entre los suelos en este sitio en ciertas propiedades (MO, profundidad del *solum*, P disponible, entre otras) a pesar de la distancia relativamente corta que los separa (1 km aproximadamente). Todos los suelos minerales de Lo Encañado poseen horizontes móllicos; además, aquellos que se ubican en posición depositacional (LE01, LE02, LE03), poseen bajo estos horizontes móllicos un horizonte cámbico, dado principalmente por la variación de color (value y croma) en comparación horizontes suprayacentes (Figura 15).

En Farellones, los sitios ubicados a menor altura (MP01 y MP02) poseen un horizonte argílico de más de 50 cm de espesor (Figura 15). Estos suelos, corresponden al orden de

Alfisoles, siendo variados en su grado de desarrollo, presentando, por un lado, horizontes con texturas gruesas muchas veces sin estructura, hasta horizontes arcillosos con estructura granular. Por su parte, los suelos sobre los 3900 msnm poseen un menor grado de desarrollo (Figura 15) que los ubicados en los pisos vegetacionales inferiores, ya que no logran expresar los rasgos descritos para los otros grupos de suelo. Estos suelos (MP03 y MP04) corresponden a Entisol e Inceptisol, respectivamente, este último con la presencia de un horizonte cálcico a los 5-30 cm (Figura 15).

Cuadro 4. Clasificación taxonómica de los suelos (Soil Survey Staff, 2014).

Sitios	Clasificación taxonómica	Horizontes de diagnóstico
LE01	Cumulic Haploxeroll	Móllico, Cámbico
LE02	Cumulic Haploxeroll	Móllico, Cámbico
LE03	Oxyaquic Haploxeroll	Móllico, Cámbico
LE04	Typic Calcixeroll	Móllico
LE05	Typic Haploxeroll	Móllico
LE07	Typic Sulfihemist	Hístico
MP01	Typic Haploxeralfs	Argílico
MP02	Xerollic Haplocryalfs	Argílico
MP03	Typic Cryorthents	
MP04	Typic Calcicryepts	Cálcico

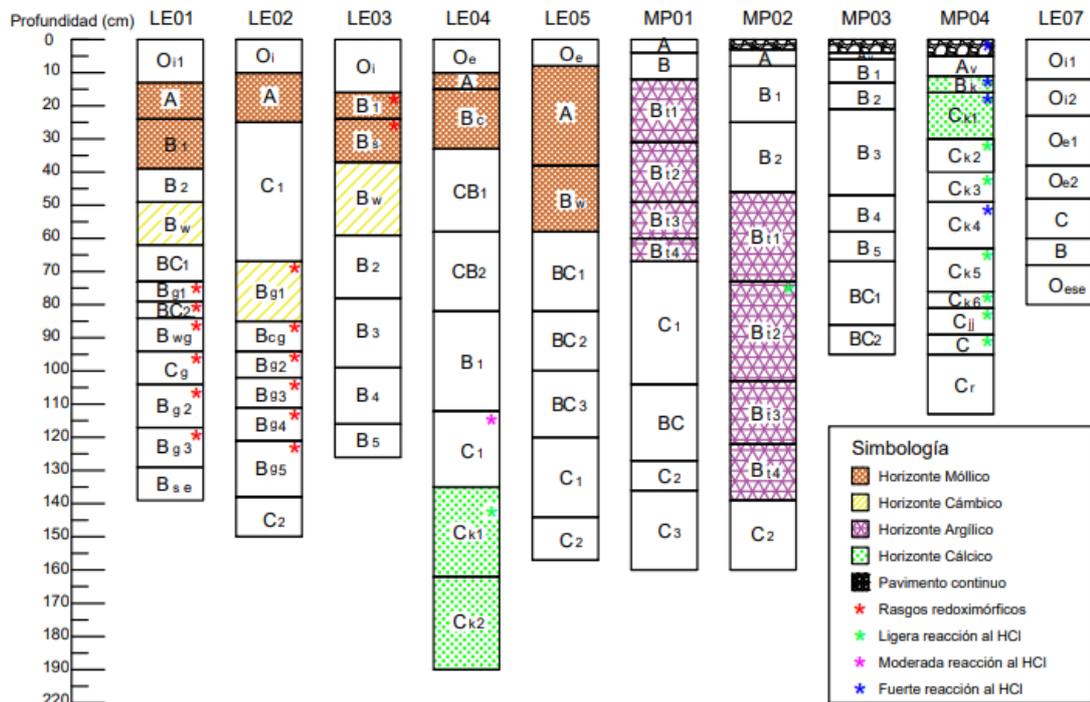


Figura 15. Perfiles y horizontes genéticos con designación de horizontes diagnóstico

Para realizar la clasificación taxonómica se debe considerar que, en términos generales, los suelos estudiados bajo los 3216 msnm presentan un régimen de temperatura xérico, mientras que, por sobre esa altitud el régimen es cryico lo que determina el suborden de cada uno de los suelos. Además, como subgrupo, en Lo Encañado existen dos suelos (LE01, LE02) en posición de acumulación con pendiente menor a 25% que otorga la categoría de Cumulic; otro suelo, también en fondo de valle (LE03), que posee

condiciones de saturación en algunas épocas del año y con evidencia de ello a partir de rasgos redoximórficos, que otorga la categorización de Oxyaquic. Mientras que, en Farellones a nivel de subgrupo, existen suelos con régimen de humedad xérico, en posición de acumulación (MP02) del subgrupo Xerollic y otros con régimen ustico (MP04).

Dicho lo anterior, queda en evidencia que, existen factores de formación de suelo que toman mayor o menor relevancia dependiendo dónde estén ubicados los suelos, ya sea considerando su posición en relieve como también por las características climáticas a las cuales se encuentran enfrentados, sin embargo, no es posible independizar cada uno de sus aportes, ya que la combinación de ellos es la que a fin de cuentas permite suelos con características definidas.

CONCLUSIONES

El desarrollo de los suelos está influenciado principalmente por la posición geomórfica (topografía) en la que se encuentran ubicados, existiendo así suelos que, a pesar de presentar temperaturas muy bajas y vegetación prácticamente inexistente sobre ellos, poseen un alto nivel de desarrollo. Es así como los suelos ubicados en posición de acumulación (depositacional) en general, son más profundos que los ubicados en otras posiciones y presentan un mayor desarrollo (estructuras fuertes, texturas más finas, mayor plasticidad y adhesividad) principalmente por la disponibilidad de agua en el perfil; por el contrario, en aquellos suelos ubicados en posición de erosión constante, dado el arrastre de material al que se encuentran sujetos, el grado de desarrollo en general es menor. Por último, los suelos ubicados en zonas persistentes (que corresponden a aquellos de mayor altura, entre 3900 y 4100 msnm) a pesar de tener una cierta estabilidad topográfica, las condiciones climáticas extremas a las que se encuentran sujetos no permiten una evolución pedogenética relevante que dé respuesta a su posición geomórfica.

Entonces, a pesar de la ubicación de los suelos, las condiciones climáticas juegan un rol también fundamental. Es así como existen suelos (3200 msnm) que, a pesar de encontrarse en una ladera expuesta a erosión constante, al ubicarse en una zona con disponibilidad de agua y temperaturas medias para el transecto, poseen un nivel de desarrollo similar a los suelos de acumulación. Al mismo tiempo, a cierta cota, considerando el gradiente altitudinal relacionado a la temperatura (que disminuye) y precipitación (que aumenta), existen procesos criogénicos que permiten y toman un rol relevante e imprescindible en la meteorización del suelo, y en consecuencia la evolución de este. Es así como en zonas de acumulación a 3900 msnm se pueden encontrar suelos profundos, de clase textural arcillosa y estructura granular debido al avance de frentes de congelación (zona de transición entre el permafrost y la capa activa).

El Índice de Harden, como aproximación al desarrollo de los suelos, resulta útil ya que recoge información de las propiedades de los suelos en comparación al material precursor de este (material parental). Sin embargo, es necesario para su correcta interpretación, considerar la ponderación que otorga cada una de las propiedades consideradas, ya que por ejemplo, un alto nivel de desarrollo puede deberse solo al aporte de una propiedad, como es el caso del sitio MP02 (suelo depositacional con estructura granular) en donde su estructura granular es la que determina su alto nivel de desarrollo, mientras que existen otros suelos, como lo es el sitio MP01 (suelo en ladera estable) en donde las propiedades evaluadas en su conjunto (rubificación, textura, pH y estructura) conjugan en un índice similar al MP02 mencionado anteriormente.

Finalmente, existen suelos en la Cordillera de Los Andes con alto nivel de desarrollo pedogenético. En el piso andino inferior, representado por los suelos de Lo Encañado, debido a la vegetación existente y su patrón de hidrología local, se desarrolla una vega andina, en donde se encuentran suelos zonales y azonales del Orden Mollisol e Histosol. En el piso andino superior se desarrollan suelos del Orden Alfisol que, a pesar de pertenecer al mismo Orden, van de texturas gruesas con estructura de bloques

subangulares a texturas muy finas con estructura granular. Por último, sobre la línea vegetativa, se encuentran suelos de menor desarrollo, del Orden de Entisol e Inceptisol.

LITERATURA CITADA

- Adhikari, K., and A.E. Hartemink. 2016. Linking soils to ecosystem services — A global review. *Geoderma* 262: 101–111.
- Bach, K., M. Schawe, S. Beck, G. Gerold, and S.R. Gradstein. 2003. Vegetation, soil and climate in different altitudinal belts in montane cloud forests of the Yungas, Bolivia: first results. *Ecología en Bolivia* 38: 3-14.
- Bockheim J.G. 2010. Evolution of desert pavements and the vesicular layer in solis of the Transantarctic Mountains. *Geomorphology* 118: 433-443
- Bockheim, J.G. 2015. *Cryopedology*. Springer International Publishing, Madison, WI, USA.
- Bockheim, J.G., and D. Koerner. 1997. Pedogenesis in Alpine Ecosystems of the Eastern Uinta Mountains, Utah, USA. *Arctic and Alpine Research* 29(2): 164-172.
- Bockheim, J.G., J.S. Munroe, D. Douglass, y D. Koerner. 2000. Soil development along an elevational gradient in the southeastern Uinta Mountains, Utah, USA. *Catena* 39(3): 169–185.
- Bockheim J.G., A.V. Lupachev, H.-P. Blume, M.Bölter, F.N.B. Simas and M. McLeod. 2015. Distribution of soil taxa in Antarctica: A preliminary analisis. *Geoderma* 245-246: 104-111
- Buffa, E.V., y S.E. Ratto. 2005. Disponibilidad de cinc, cobre, hierro y manganeso extraíble con DTPA en suelos de Córdoba (Argentina) y variables edáficas que la condicionan. *Ciencia del Suelo* 23 (2): 107-114.
- Burns, S.F., and P.J. Tonkin. 2020. Soil–geomorphic models and the spatial distribution and development of alpine soils. pp. 25–43 In: Thorn, C.E. (ed.), *Space and Time in Geomorphology*. 1st ed. Routledge.
- Carrasco, R. 2020. Modelización de la escorrentía y de la infiltración en laderas naturales. Tesis Máster. Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Barcelona, España. 63 h.
- Casanova, M., J. Haberland, O. Seguel, y W. Luzio. 2007. Efecto del gradiente y aspecto de la pendiente en la erosion de laderas de secano de Chile central. pp: 99-101. In: *Proceeding (CD) XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo (León- México)*.
- Cavieres, L.A., A. Peñaloza, and M. Kalin Arroyo. 2000. Altitudinal vegetation belts in the high-Andes of central Chile (33°S). *Revista Chilena de Historia Natural* 73(2): 331-344
- Cruz Madariaga, G. 2015. Ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Serm. et Bizarri): Antecedentes ecológicos para la conservación de las comunidades en el Alto Cachapoal. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Dahlgren, R.A., J.L. Boettinger, G.L. Huntington, and R.G. Amundson. 1997. Soil development along an elevational transect in the western Sierra Nevada, California. *Geoderma* 78(3–4): 207–236.
- Daily, G.C. 1997. *Nature's Services. Societal dependence on natural ecosystems*. Washington, USA.
- DGA. 2004. Cuenca del rio Maipo. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Disponible en: <https://mma.gov.cl/wp-content/uploads/2017/12/Maipo.pdf>.

- Dominati, E., M. Patterson, and A. Mackay. 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics* 69(9): 1858–1868.
- Dube, F., and N. Stolpe. 2016. SOM and biomass C stocks in degraded and undisturbed Andean and Coastal *Nothofagus* forests of southwestern South America. *Forests* 7(12): 320.
- Egli, M., D. Dahms, and K. Norton. 2014. Soil formation rates on silicate parent material in alpine environments: Different approaches—different results? *Geoderma* 213: 320–333.
- Egli, M., M. Wernli, C. Kneisel, and W. Haeberli. 2006. Melting glaciers and soil development in the proglacial area Morteratsch (Swiss Alps): I. Soil type chronosequence. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 38(4): 499–509.
- FAO. 2012. Diagnóstico Nacional de Montaña. Fortalecimiento de la gestión participativa para el desarrollo sostenible de los Andes. Food and Agriculture Organization. Informe Chile. Santiago, Chile.
- Fernández Murillo, M., J. Cuevas, y A. Maldonado. 2019. Análisis de la lluvia polínica actual en un gradiente altitudinal en los Andes de Chile Central (33° S). *Gayana Botánica* 76(2): 220–236.
- Figueira, H. 1984. Horizonte vesicular: Morfología y génesis en un aridisol del norte de la patagonia. *Ciencia del Suelo* 2(1):121-129.
- Harden, J.W. 1982. A quantitative index of soil development from field descriptions: Examples from a chronosequence in central California. *Geoderma* 28(1): 1–28.
- Kovda, I., and M. Lebedeva. 2014. Modern and relict features in clayey cryogenic soils: Morphological and micromorphological identification. *Spanish Journal of Soil Science*. 3 (3): 130-147.
- Luzio, W., M. Casanova, y Ó. Seguel. 2010. Suelos de Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos, Santiago.
- Nassif, S.H., and E.M. Wilson. 1975. The influence of slope and rain intensity on runoff and infiltration / l'influence de l'inclinaison de terrain et de l'intensité de pluie sur l'écoulement et l'infiltration. *Hydrological Sciences Bulletin* 20(4): 539–553.
- Pérez, J. y H. Bown. 2015. Guía para la restauración de los ecosistemas andinos de Santiago. Corporación Nacional Forestal (CONAF), Santiago, Chile.
- Poulenard, J., and P. Podwojewski. 2006. Alpine soils. p. 75–79 In: *Encyclopedia of soil science*. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.: Nueva York, USA.
- Powlson, D.S., A.P. Whitmore, and K.W.T. Goulding. 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science* 62(1): 42–55.
- Regato, P., and R. Salman. 2008. Mediterranean Mountains in a Changing World: Guidelines for Developing Action Plans. IUCN. Málaga, España.
- Riebe, C.S., J.W. Kirchner, and R.C. Finkel. 2004. Sharp decrease in long-term chemical weathering rates along an altitudinal transect. *Earth and Planetary Science Letters* 218(3–4): 421–434.
- Roca, N., M.S. Pazos, y J. Bech. 2007. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO argentino. *Ciencia del Suelo* 25 (1): 31-42.
- Sadzawka, A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Serie La Platina n°16. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago-Chile.
- Sadzawka, A., M.A. Carrasco, R. Grez, y M. de la L. Mora. 2005. Métodos de análisis de compost. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago-Chile.

- Sadzawka, A., M.A. Carrasco, R. Grez, M. de la L. Mora, H. Flores y A. Neaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago-Chile.
- Sánchez B., M. Ruiz y M. Ríos. 2005. Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, Estado Aragua. *Agronomía Tropical* 55 (4): 507-534
- Sandoval, M., J. Döner, O. Seguel, J. Cuevas, y J. C. Rivera. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Chillán, Chile: Universidad de Concepción. 80p. (Departamento de Suelos y Recursos Naturales Universidad de Concepción. Publicación N°5). Chillán. Chile.
- Santibañez, F. 2017. Atlas agroclimático de Chile. Estado actual y tendencias del clima. Tomo III: Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocki, E.C. Benham, and Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Segnini, A., A. Posadas, R. Quiroz, D.M.B.P. Milori, S.C. Saab. 2010. Spectroscopic assessment of soil organic matter in wetlands from the High Andes. *Soil Science Society of America Journal* 74(6): 2246–2253.
- SERNAGEOMIN. 2003. Mapa Geológico de Chile: Versión Digital. Servicio Nacional de Geología y Minería. Disponible en: <http://www.ipgp.fr/~dechabal/Geol-millon.pdf>.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA -Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Tarnocai, C., and J. Bockheim. 2011. Cryosolic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification. *Canadian Journal of Soil Science* 91(5): 749–762.
- Van Genuchten, M.; F. Leij and S. Yates. 1991. The RETC code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils, Version 1.0. Riverside, California: U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS.
- Vergara, M., R. Charrier, F. Munizaga, S. Rivano, P. Sepulveda, R. Thiele, and R. Drake. 1988. Miocene volcanism in the central Chilean Andes (31°30'S–34°35'S). *Journal of South American Earth Sciences* 1(2): 199–209.
- Villagrán, C., M. Kalin Arroyo, y C. Marticorena. 1983. Efectos de la desertización en la distribución de la flora andina de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 56: 137–157.
- Wall, R., D. Sellés, and P. Gana. 1999. Área Til Til-Santiago, Región Metropolitana. Escala 1:100.000. Mapas geológicos No.11. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).

APÉNDICE 1: Descripciones en campo de los suelos estudiados

Horizonte	Profundidad (cm)	Límite	Color en seco	Color en húmedo	Textura	Estructura	Consistencia	Raíces	Poros	> 2 mm (%)
LE 01	(2492 m snm)	Cumulic Haploxeroll								
Oi	0-13			-	-	-	-	-	-	7,7
A	13-27	cs		7.5 YR 2.5/2	ls	3f sbk	sm pm	3vf 3f 1m	3vf 3f 1m	41,9
B1	27-42	cs		7.5 YR 3/2	sicl	3f sbk	sm ps	3vf 3f 2m 1co	3vf 1m	15,3
B2	42-52	cs		10YR 3/2	l	3m sbk	ss ps	3vf 3f	3vf 2f	32,5
Bw	52-65	cs		10 YR 4/3	ls	2f sbk	so po	3vf 3f 1m	3vf 3f	49,2
BC1	65-76	cw		7.5 YR 3/2	ls	2f sbk	so po	2vf 2f 1m	2vf 2f	67,3
Bg1	76-82	cs		10YR 4/2	sil	2f sbk	sm ps	2vf 2f	2vf 2f	60,1
BC2	82-87	cs		7.5 YR 3/4	ls	2f sbk	so po	2vf 2f	1vf 2f	24,4
Bwg	87-97	cs		7.5 YR 4/6 (90%) 7.5 YR 5/1	sil	1f sbk	sv ps	1vf 2f	2vf 2f 2m	5,2
Cg	97-107	aw		7.5 YR 5/6 (50%) 5YR 5/8	s	sg	so po	1m	2f 3m	4,8
Bg2	107-120	cs		10YR 4/2 (90%) 7.5 YR 4/6	sicl	1f sbk	sv pm	2vf 1f	1vf 1f 1m	0,9
Bg3	120-132	cs		7.5 YR 2.5/1 (80%) 5YR 4/6	sil	1f sbk	sm ps	1vf 2f 1m	1m	17,6
Bse	132-142+	-		10BG 2.5/1	sil	-	sv pm	-	-	49,3
LE 02	(2492 m snm)	Cumulic Haploxeroll								
Oi	0-10	cs		-	-	-	-	-	-	19,3
A	10-25	cs		7.5 YR 3/2	l	1f sbk	ss ps	3f 2m	3vf 3f 3m	32,7
C1	25-67	as			sk	-				79,2
Bg1	67-85	as		7.5 YR 4/1 (90%) 5YR 5/8	sil	2f sbk	ss ps	3f	3vf 3f	2,1
BCg	85-94	as		7.5YR 5/1 (70%) 7.5 YR 6/6 7.5YR 4.6	sl	1f sbk	so po	3f	3vf 2f	0,8
Bg2	94-102	cs		7.5 YR 3/4 (90%) 7.5 YR 4/1	l	1f sbk	ss ps	3f	3vf 3f	0,1
Bg3	102-111	cs		7.5 YR 4/4 (70%) 7.5 YR 4/1	sil	1f sbk	sm pm	3vf 3f 1m	2f	10,8

A	8-38	cs		7.5YR 2.5/2	slg	1f sbk	so ps	3vf 3f 3m 3co	3vf 3f 3m 3m	42,5
Bw	38-58	cs		7.5YR 2.5/2	slvg	1f sbk	so ps	3vf 3f 3m	3vf 3f 2m	54,9
BC1	58-82	cs		7.5YR 2.5/3	slvg	sg	-	3vf 3f 3m	3vf 3f 3m	55,9
BC2	82-100	cs		10YR 2/2	leg	sg	-	3vf 3f 2m	3vf 2f	59,8
BC3	100-120	cs		10YR 2/3	sleg	sg	-	3vf 3f	3vf 2f	62,3
C1	120-144	cs		7.5YR 2.5/2	eg	sg	-	2f		59,5
C2	144-157+			7.5YR 2.5/2	lvg	sg	-	2f	3vf 3f	59,3
Horizonte	Profundidad (cm)	Límite	Color en seco	Color en húmedo	Textura	Estructura	Consistencia	Raíces	Poros	> 2 mm (%)
LE 07	(2503 m snm)	Typic Sulfihemist								
Oi1	0-12	cs		10YR 2/2	fibric (90%)	-	-	-	-	44,5
Oi2	12-23	cs		7.5YR 3/2	fibric (70%)	-	-	-	-	12,4
Oe1	23-38	cs		7.5YR 3/3	hemic (35%)	-	-	-	-	6,7
Oe2	38-48	al		10YR 4/2	hemic (18%)	-	-	-	-	0,3
C1	48-60	al		N 3/1	sl	-	-	-	-	0,1
C2	60-68	al		2.5 Y 4/1	sic	-	-	-	-	0,1
Oese	68-80+			7.5YR 2.5/3	hemic (20%)	-	-	-	-	0,3
MP 01	(3216 m snm)	Typic Haploxeralfs								
A	0-4	cs	10 YR 5/2	10 YR 3/2	clg	3vf sbk	sm ps	2f	3vf 3f 3m	36,0
B	4-12	cs		7.5 YR 2,5/2	cg	3f sbk	sm pm	3vf 3f	3vf 3f 1m	42,1
Bt1	12-31	cs		7.5 YR 3/2	c	3f sbk	sv pv	1vf 2f	3vf 3f 3m	65,9
Bt2	31-49	cs		7.5 YR 3/2	sclg	2f sbk	sm ps	1f	3vf 3f 1m	65,5
Bt3	49-60	cs		7.5 YR 3/2	lg	sg	ss ps	-	2vf 3f 2m 1co	85,2
Bt4	60-67	cs		7.5 YR 3/2	clg	3f sbk	sm ps	-	2vf 1m	80,4
C1	67-104	cw				-	-	-	3co	81,6
BC	104-127	cs		7.5 YR 3/2	slg	2m sbk	so ps	-	3vf 3f 2m	77,4
C2	127-136	cs		10 YR 2/1		sg	-	-	-	81,7
C3	136-160			10 YR 3/1		-	sm ps	-	3vf 3f	75,5
MP 02	(3706 m snm)	Xerollic Haplocryalfs								

	0-3					Pavimento continuo				
Av	3-8	cs		5 YR 3/2	c	1vf sbk	sv pv	1vf	3vf 3f 3m	30,7
B1	8-25	cs		5 YR 3/3	c	1f sbk	sv pv	1vf	3vf 3f	37,5
B2	25-46	cs		2,5 YR 3/3	c	3vf gr	sv pv	3vf	3vf 3f 1m	28,2
Bt1	46-73	cs		2,5 YR 3/3	c	1f sbk	sv pv	1vf	3vf 3f 2m	52,5
Bt2	73-103	gs		2,5 YR 3/4	sic	1vf gr	sv pv	1vf	2vf 2f 1m	3,8
Bt3	103-122	cs		2,5 YR 3/4 (90%) 2,5 YR 4/6 (10%)	c	3co wg	sv pv	1vf	3vf 3f 2m	2,8
Bt4	122-139	cs		2,5 YR 3/4	c	3vf sbk	sv pv	-	2vf 2f 2m	0,1
B3	139-160			2,5 YR 3/4	sic	2vf gr	sv pv	-	3vf 3f	1,4
MP 03	(3906 m snm)	Typic Cryorthents								
	0-4	as				Pavimento continuo				
Av	4-6	cs	10 YR 1/3	10 YR 3/4	siclg	1f pl	-	-	3vf 3f	49,5
B1	6-13	cs	10 YR 5/2	10 YR 3/4	lg	1vf gr	sm ps	-	3vf 3f 2m	50,6
B2	13-21	cs	10 YR 5/3	10 YR 3/3	clg	2f wg	ss ps	-	3vf 3f 2m	36,5
B3	21-47	cs		10 YR 3/3	sicl	m	sm ps	-	3vf 3f	60,7
B4	47-58	cs		10 YR 3/4	cl	m	so ps	-	3vf 3f	48,7
B5	58-67	cs		10 YR 3/3	lg	m	ss pm	-	2vf 3f 1m	58,3
BC1	67-86	cs		10 YR 3/3	lsg	m	so ps	-	3vf 3f 2m	50,7
BC2	86-95			7.5 YR 2,5/2	ls	m	so ps	-	3vf 3f	49,8
MP 04	(4113 m snm)	Typic Calcicryepts								
	0-5					Pavimento continuo				
Av	5-11	cs	10 YR 5/2	10 YR 3/3	silg	sg	sm ps	-	3vf 3f 3m	62,7
Bk	11-16	cs		10 YR 3/3	silg	1f sbk	sm ps	-	-	63,5
Ck1	16-30	cs		10 YR 3/3		sg		-	-	73,7
Ck2	30-40	cs		10 YR 3/2		sg		-	-	
Ck3	40-49	as		7,5 YR 3/3	sil	sg	ss ps	-	3vf 2f	45,2
Ck4	49-63	cs		5 Y 3/2	sil	m	ss pm	-	2vf 1f 1m	28,5
Ck5	63-76	cs		5 Y 4/3	sil	m	ss pm	-	3vf 1f	

Ck6	76-81	5 Y 4/2	sl	m	so ps	-	3vf 3f 2m	20,8
Cjj	81-89	5 Y 4/1 5 Y 5/4	sil	m	ss pm	-	3vf 2f	40,6
C	89-95	5 Y 4/2	si	sg	-	-	-	-

Abreviaciones

Límite: a=abrupto; c=claro; g=gradual; d=difuso; s=suave; w=ondulado; i=irregular

Textura: s=arena; si=limo; l=franco; c=clay; co=grueso; g=grava; k=pedregoso; v=muy; e=extremadamente

Estructura: 1=débil; 2=moderado; 3=fuerte; sg=grano simple; m=masivo; vf=muy fino; f=fino; m=medio; c=grueso; gr=granular; pr=prismática; abk=bloques angulares; sbk= bloques subangulares

Consistencia (húmeda): so=no adhesivo; ss=ligeramente adhesivo; sm= moderadamente adhesivo; sv= muy adhesivo; po= no plástico; ps= ligeramente plástico; pm= moderadamente plástico

Raíces: 1=pocas; 2=comunes; 3=muchos; vf= muy finas; f-finis; m=medias; co=gruesas

Poros: 1=pocos; 2=comunes; 3=muchos; vf= muy finos; f-finis; m=medios; co=gruesos

APENDICE 2. Descripción de sitios formato CIREN

LE01

El suelo descrito es miembro de los Cumulic Haploxeroll (Mollisols). Corresponde a un suelo de origen fluvial ubicado en la terraza del río, profundo y suavemente inclinado. Presenta un horizonte superficial con material fibrico asociada a *Juncos sp.*, que cubre densamente la superficie. Desde los 76 cm hacia la profundidad del perfil se evidencian rasgos redox, hasta un horizonte saturado y reducido totalmente (132-142+ cm) con fuerte olor a sulfuro. A lo largo del perfil se observan claramente los depósitos fluviales dados por momentos de remanso (depósito sedimentario fino) y flujos activos (pedregosidad).

Características físicas y morfológicas del pedón

Profundidad
(cm)

0 -13 Oi	Horizonte formado por una capa de restos de raíces y tallos escasamente descompuestos.
13 – 27 A	Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2); franco arenosa; bloques subangulares finos fuertes, moderadamente plástico y moderadamente adhesivo; raíces muy finas, finas abundantes; poros muy finos y finos abundantes, medios escasos; límite lineal claro.
27-42 B1	Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); franco arcillo limoso; bloques subangulares finos fuertes; ligeramente plástico y moderadamente adhesivo; raíces muy finas y finas abundantes, medias comunes, gruesas pocas; poros muy finos, finos abundantes, medios pocos; límite lineal claro.
42-52 B2	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2); franco; bloques subangulares medios fuertes; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces muy finas y finas abundantes; poros muy finos abundantes, finos comunes; límite lineal claro.
52-65 Bw	Pardo a pardo oscuro (10 YR 4/3); franco arenoso; bloques subangulares finos moderados; no plástico y no adhesivo; raíces muy finas y finas abundantes, medias escasas; poros muy finos y finos abundantes; límite lineal claro.
65-76 BC1	Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); franco arenoso; bloques subangulares finos moderados; no plástico, no adhesivo; raíces muy finas y finas comunes, medias escasas; poros muy finos y finos comunes; presencia de lombrices; ligeramente pedregoso (15%); límite ondulado claro.
76-82 Bg1	Pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) (50%), pardo amarillento oscuro (7.5 YR 4/4) (50%); franco limoso; bloques subangulares finos moderados; ligeramente plástico y adhesivo; raíces muy finas y finas comunes; poros muy finos y finos comunes; límite lineal claro.

- 82-87
BC2 Pardo oscuro (7.5 YR 3/4); franco arenoso; bloques subangulares finos moderados; no plástico, no adhesivo; raíces muy finas y finas comunes; poros muy finos escasos, finos comunes; limite lineal claro.
- 87-97
Bwg Pardo fuerte (7.5 YR 4/6) (90%), gris (7.5 YR 5/1); franco limoso; bloques subangulares finos débiles; muy adhesivo y ligeramente plástico; raíces muy finas escasas, finas comunes; poros muy finos, finos y medios comunes; limite lineal claro.
- 97-107
Cg Rojo amarillento (5 YR 5/8) (50%), pardo fuerte (7.5 YR 5/6) (50%); arenoso; grano simple; no plástico, no adhesivo; raíces medias escasas; poros finos comunes, medios abundantes; limite ondulado abrupto.
- 107-120
Bg2 Pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) (60%), pardo fuerte (7.5 YR 4/6); franco arcillo limoso; bloques subangulares finos débiles; plástico y muy adhesivo; raíces muy finas comunes, finas escasas; poros muy finos, finos y medios escasos; limite lineal claro.
- 120-132
Bg3 Negro (7.5 YR 2.5/1) (80%), rojo amarillento (5YR 4/6) (20%); franco limoso; bloques subangulares finos débiles; ligeramente plástico y adhesivo; raíces muy finas escasas, finas comunes, medias escasas; poros medios escasos; limite lineal claro.
- 132-142+
Bse Negro verdoso (10 BG 2.5/1); franco limoso; moderadamente plástico y muy adhesivo. Horizonte saturado con fuerte olor a sulfuros.



Figura 16. LE01

Ubicación

Terraza fluvial en vega cubierta de pajonal, poco intervenida

Coordenadas: 33°40'3,6''S 70°08'12,49''O

Altura: 2492 m snm

Exposición: NO

Propiedades físicas, químicas y físico-químicas del suelo

PROFUNDIDAD cm	0-13	13-27	27-42	42-52	52-65	65-76	76-82	82-87	87-97	97-107	107-120	120-132	132-142+
DISTRIBUCIÓN PARTÍCULAS POR TAMAÑO %													
0,05-2	62,5	75,6	39,1	30,8	79,8	88,0	75,6	37,4	44,0	86,7	14,9	32,6	52,2
0,002-0,05	25,4	13,2	44,6	54,1	11,1	6,0	13,1	45,9	33,2	7,1	58,1	47,9	34,6
< 0,002	12,2	11,2	16,2	15,1	9,1	6,0	11,3	16,7	22,8	6,3	27,0	19,6	13,2
TEXTURA	Fa	Fa	F	FI	aF	a	Fa	F	F	aF	FAI	F	Fa
DENSIDAD APARENTE g/cm³		1,51					1,47	1,03	1,30	1,31	1,16	1,24	
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm %		16,80					25,00	23,62	27,60	9,43	47,13	40,05	
HUMEDAD RETENIDA 15 atm %		16,73					9,61	19,32	14,48	6,10	20,24	18,11	
HUMEDAD APROVECHABLE %													
MATERIA ORGÁNICA %	6,91	2,44	3,04	4,17	1,5	1,47	1,84	2,33	1,05	0,94	2,74	2,21	2,48
pH H₂O	6,07	6,84	6,80	6,84	6,10	6,66	6,54	6,53	6,97	7,07	6,93	6,73	7,09
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m a 25°C)	1,09	0,79	1,37	0,78	0,70	0,69	0,44	0,81	0,47	0,45	0,66	0,69	1,11
Cu mg/kg	14,98	11,98	13,72	15,78	16,02	11,89	15,01	18,08	39,95	37,91	41,57	20,90	21,37
Fe mg/kg	11,24	39,94	54,76	52,26	42,70	46,45	37,38	36,61	44,78	42,46	82,20	36,94	121,08
Mn mg/kg	83,28	22,78	25,22	17,40	36,88	38,68	46,68	25,83	32,56	13,00	32,90	20,24	225,07
Zn mg/kg	0,00	3,02	3,27	2,40	0,00	2,69	2,12	1,15	1,42	1,37	1,47	0,97	1,58
N mg/kg	9,10	2,80	2,80	4,20	9,09	1,40	0,70	4,20	3,50	2,80	1,40	1,40	11,19
P mg/kg	23,73	6,75	13,20	10,99	9,19	4,80	5,98	3,98	6,58	4,97	4,97	6,56	13,99
K mg/kg	842,08	276,24	247,81	199,88	183,54	138,60	136,12	163,67	113,11	74,51	181,51	151,35	173,38
HCO₃(-) mmol/L	2,24	5,76	8,66	2,60	1,17	1,83	1,38	0,90	0,48	0,90	2,38	1,88	4,16

LE02

El suelo descrito es miembro de los Cumulic Haploxeroll (Mollisols). Corresponde a un suelo de origen fluvial ubicado en la terraza del río, profundo y suavemente inclinado. Presenta un horizonte superficial con material fibrico asociada a *Juncus sp.*, que cubre densamente la superficie. Desde los 67 cm hacia la profundidad del perfil se evidencian rasgos redox. A lo largo del perfil se observan claramente los depósitos fluviales dados por momentos de remanso (depósito sedimentario fino) y flujos activos (pedregosidad).



Figura 17. Paisaje asociado a sitio

Características físicas y morfológicas del pedón

Profundidad
(cm)

- | | |
|--------------|---|
| 0 -10
Oi | Horizonte formado por una capa de restos de raíces y tallos escasamente descompuestos. |
| 10 – 25
A | Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); franco; bloques subangulares finos débiles, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces finas abundantes, medias comunes; poros muy finos, finos y medios abundantes; límite lineal claro. |

- 25-67
C1 Estrata de piedras (80%) en matriz arenosa. Raíces finas abundantes. Limite lineal abrupto.
- 67-85
Bg1 Gris oscuro (7.5 YR 4/1) (90%), rojo amarillento (5YR 5/8) (10%); franco limoso; bloques subangulares finos moderados; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces finas abundantes; poros muy finos y finos abundantes; presencia de rasgos redox alrededor de los poros; limite lineal abrupto.
- 85-94
BCg Gris (7.5 YR 5/1) (70%), Y (7.5YR 6/6) (20%), Z (7.5YR 4/6) (10%); areno francoso; bloques subangulares finos débiles; no plástico y no adhesivo; raíces finas abundantes; poros muy finos abundantes, finos comunes; limite lineal abrupto.
- 94-102
Bg2 Pardo oscuro (7.5 YR 3/4) (90%), gris oscuro (7.5 YR 4/1) (10%); franco; bloques subangulares finos débiles; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; raíces finas abundantes; poros muy finos y finos abundantes; limite lineal claro.
- 102-111
Bg3 Pardo amarillento oscuro (7.5 YR 4/4) (70%), gris oscuro (7.5 YR 4/1) (30%); franco limoso; bloques subangulares finos débiles; plástico, moderadamente adhesivo; raíces muy finas y finas abundantes, medias escasas; poros finos comunes; zona oxidada en poros; limite lineal claro.
- 111-121
Bg4 Pardo amarillento oscuro (7.5 YR 4/4) (70%), gris oscuro (7.5 YR 4/1) (30%); franco arcillo limoso; bloques subangulares finos débiles; muy plástico, moderadamente adhesivo; raíces finas abundantes, medias escasas; poros finos abundantes; presencia de gravas finas 10%; limite lineal claro.
- 121-138
Bg5 Gris oscuro (7.5 YR 4/1) (90%), pardo amarillento oscuro (7.5 YR 4/4) (10%); franco arenoso; bloques subangulares finos débiles; ligeramente adhesivo, ligeramente plástico; raíces finas abundantes; poros finos abundantes, medios escasos; zonas de raíces reducidas; limite lineal claro.
- 138-150+
C2 Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); areno francoso; grano simple; ligeramente plástico, no adhesivo; raíces finas abundantes; presencia de gravas finas 30%



Figura 18. LE02

Ubicación

Terraza fluvial en vega cubierta de pajonal, poco intervenida

Coordenadas: 33°40'1,94''S 70°08'12,68''O

Altura: 2492 m snm

Exposición: SE

Propiedades físicas, químicas y físico-químicas del suelo

PROFUNDIDAD cm	0-10	10-25	25-67	67-85	85-94	94-102	102-111	111-121	121-138	138-150+
DISTRIBUCIÓN PARTÍCULAS POR TAMAÑO %										
0,05-2		78,9	90,8	20,8	54,9	51,9	19,4	50,7	54,9	74,2
0,002-0,05		13,1	0,7	56,3	32,9	33,8	51,3	28,7	30,6	12,5
< 0,002		8,0	8,5	22,9	12,2	14,3	29,3	20,5	14,5	13,3
TEXTURA		aF	a	Fl	Fa	F	FAL	F	Fa	Fa
DENSIDAD APARENTE g/cm³			1,83	1,18	1,34	1,18	1,15	1,35	1,22	1,38
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm %			9,91	38,36	30,16	35,31	47,22	33,21	32,42	14,13
HUMEDAD RETENIDA 15 atm %			9,07	22,31	9,57	15,01	19,98	17,81	15,64	11,20
HUMEDAD APROVECHABLE %										
MATERIA ORGÁNICA %	12,65	2,62	1,19	2,93	1,23	0,82	2,91	2,62	2,24	0,91
pH H₂O	5,89	6,68	6,86	6,85	7,45	6,9	7,01	6,78	6,72	6,81
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m a 25°C)	0,50	0,67	0,47	0,94	0,61	0,53	0,56	0,62	0,55	0,65
Cu mg/kg	12,23	11,15	9,17	37,38	65,44	17,38	24,47	18,67	21,34	19,13
Fe mg/kg	99,64	47,45	33,65	87,43	36,15	37,67	80,72	80,51	33,65	50,46
Mn mg/kg	72,19	15,17	6,21	29,58	59,81	18,97	35,01	39,43	15,75	37,91
Zn mg/kg	15,99	3,29	1,15	2,14	0,00	2,35	1,22	1,22	1,06	1,07
N mg/kg	11,19	1,40	2,80	5,60	3,50	6,29	2,80	2,10	4,20	2,10
P mg/kg	42,78	11,77	7,80	7,80	8,15	13,16	10,39	8,20	6,99	9,38
K mg/kg	1340,58	457,84	120,95	166,21	111,00	127,94	234,17	198,03	141,85	165,53
HCO₃(-) mmol/L	3,43	2,40	1,05	3,56	0,82	1,04	1,10	2,70	1,44	2,83

LE03

El suelo descrito es miembro de los Oxyaquic Haploxeroll (Mollisols). Corresponde a un suelo mineral ubicado en la parte depositacional de un valle glacial, profundo y suavemente inclinado. Presenta un horizonte superficial con material fibrico, que cubre densamente la superficie asociada a *Juncus bufonius* L. y *Juncus sp.* Además, posee un horizonte subsuperficial a los 24-37 con evidencia de rasgos redox. En el horizonte 24-37 existe presencia de lámina de fierillo casi continua, débilmente cementada, de forma irregular.



Figura 19. Paisaje asociado a sitio

Características físicas y morfológicas del pedón

Profundidad
(cm)

0 -16 Oi	Horizonte formado por material compuesto de fibras y raíces ligeramente descompuesto.
16 – 24 B1	Pardo (7.5 YR 5/2) (95%), pardo fuerte (7.5 YR 5/8) (5%) en seco; pardo oscuro (7.5 YR 3/2) (95%), pardo fuerte (7.5 YR 4/6) (5%) en húmedo; franco arcillo limoso; bloques subangulares finos fuertes, moderadamente plástico y muy adhesivo; raíces muy finas y finas abundantes, medias comunes; poros muy finos y finos abundantes; presencia de rasgos redox; límite lineal claro.
24-37 Bs	Pardo (10 YR 5/3) (70%), pardo grisáceo (10 YR 5/1) (20%), pardo amarillento (10 YR 5/8) (10%) en seco; gris muy oscuro (10 YR 3/1) (70%), gris oscuro (10 YR 4/1) (20%), pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6) (10%) en húmedo; franco arcillo arenoso; bloques subangulares finos moderados; moderadamente plástico y moderadamente adhesivo; raíces muy finas, finas y medias comunes; presencia de rasgos redox; límite lineal claro.
37-59 Bw	Pardo oscuro (7.5 YR 3/3); franco arcillo arenoso; bloques subangulares finos moderados; moderadamente plástico y moderadamente adhesivo;

raíces muy finas y finas abundantes, medias comunes; poros muy finos y finos abundantes; limite lineal claro.

- 59-78
B2 Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/3); franco gravoso; bloques subangulares finos fuertes; moderadamente plástico y moderadamente adhesivo; raíces muy finas y finas abundantes, medias comunes; poros muy finos y finos abundantes; limite lineal claro.
- 78-99
B3 Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2); franco muy gravoso; bloques subangulares finos fuertes; moderadamente plástico y moderadamente adhesivo; raíces muy finas y finas comunes, medias escasas; poros muy finos y finos abundantes; ligeramente pedregoso (15%); limite lineal claro.
- 99-116
B4 Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); franco gravoso; bloques subangulares medios fuertes; moderadamente plástico y moderadamente adhesivo; raíces muy finas y finas comunes, medias escasas; poros muy finos y finos abundantes; limite lineal claro.
- 116-126+
B5 Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2); franco; bloques subangulares finos moderados; moderadamente plástico, muy adhesivo; raíces muy finas, finas y medias escasas; poros muy finos comunes, finos abundantes



Figura 20. LE03

Ubicación

Vega cubierta de pajonal, poco intervenida

Coordenadas: 33°39'28,22''S 70°08'50,36''O

Altura: 2512 m snm

Exposición: S

Propiedades físicas, químicas y físico-químicas del suelo

PROFUNDIDAD cm	0-16	16-24	24-37	37-59	59-78	78-99	99-116	116-126+
DISTRIBUCIÓN PARTÍCULAS POR TAMAÑO %								
0,05-2	44,4	57,3	57,5	49,8	52,9	46,1	54,4	51,0
0,002-0,05	39,1	28,5	30,4	27,3	32,7	33,2	31,4	32,6
< 0,002	16,5	14,2	12,1	22,9	14,3	20,7	14,2	16,3
	F	Fa	Fa	FAa	Fa	F	Fa	F
TEXTURA								
DENSIDAD APARENTE g/cm ³				0,98	1,20			
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm %				26,8	19,6			
HUMEDAD RETENIDA 15 atm %				10,9	17,3			
HUMEDAD APROVECHABLE %								
MATERIA ORGÁNICA %	14,52	5,27	5,36	4,26	3,68	5,21	3,72	3,59
pH H ₂ O	6,71	6,78	6,87	7,06	6,96	6,87	6,83	6,93
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m a 25°C)	1,02	0,44	0,54	0,57	0,67	0,49	0,53	0,45
Cu mg/kg	16,05	14,94	13,06	11,61	13,33	12,79	12,55	12,80
Fe mg/kg	6,86	96,32	153,06	48,39	35,97	70,62	14,29	59,28
Mn mg/kg	50,55	6,99	6,80	13,82	17,44	9,32	8,77	13,63
Zn mg/kg	4,25	1,53	2,29	2,36	11,68	3,14	1,67	1,58
N mg/kg	15,39	2,10	4,20	4,20	4,90	2,80	2,10	4,20
P mg/kg	33,72	13,78	23,18	29,59	26,97	14,54	18,98	17,98
K mg/kg	521,65	219,95	1026,14	255,91	272,59	210,28	192,09	225,32
HCO ₃ (-) mmol/L	5,22	2,18	0,03	1,40	1,73	1,35	1,16	0,90

LE04

El suelo descrito es miembro de los Typic Calcixeroll (Mollisols). Corresponde a un suelo coluvial ubicado en ladera de exposición Norte, profundo y moderadamente escarpado. La cobertura vegetal cubre un 60% de la superficie siendo la especie más representativa *Poa acinaciphylla* E. Desv. En los dos horizontes más profundos (135-162, 162-190+) se evidencian recubrimiento de las gravas con láminas de carbonatos.



Figura 21. Paisaje asociado al sitio de muestreo

Características físicas y morfológicas del pedón

Profundidad (cm)	
0 -10 Oe	Horizonte orgánico medianamente descompuesto formado principalmente por tallos y hojas.
10 - 15 A	Pardo muy oscuro (10 YR 2/2); límite lineal claro.
15-33 BC	Pardo oscuro (10 YR 3/3); franco arenoso muy gravoso (40%); bloques subangulares medios débiles; no adhesivo y ligeramente plástico; raíces finas escasas, medias comunes; poros finos abundantes, medios escasos; límite lineal claro.
33-58 CB1	Pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4); franco arenoso muy gravoso (60%); grano simple; raíces finas y medias comunes; poros finos y medios comunes; matriz con ligera reacción al HCl; límite lineal claro.
58-82 CB2	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2); franco arenoso extremadamente gravoso (70%); grano simple; raíces finas escasas; poros muy finos y finos comunes; límite lineal claro.
82-112 B1	Pardo a pardo oscuro (10 YR 4/3); franco arcillo limoso muy gravoso; bloques subangulares medios débiles; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces finas comunes; poros muy finos y finos abundantes; límite lineal claro.
112-135 C1	Pardo a pardo oscuro (10 YR 4/3); muy gravoso; grano simple; raíces finas, medias y gruesas escasas; poros finos y medios abundantes; presencia de clastos sedimentarios (roca carbonática) con reacción al HCl; límite lineal claro.
135-162 Ck1	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2); extremadamente gravoso; grano simple; raíces finas y medias comunes; poros muy finos comunes, finos y medios; matriz ligeramente efervescente al HCl y gravas recubiertas con láminas de carbonatos; límite lineal claro.
162-190+ Ck2	Pardo oscuro (10 YR 3/3); extremadamente gravoso; grano simple; raíces finas escasas; presencia de láminas de carbonatos recubriendo las gravas.



Figura 22. LE04

Ubicación

Ladera de exposición Norte

Coordenadas: 33°39'40,49''S 70°08'29,5''O

Altura: 2514 m snm

Exposición: N

Propiedades físicas, químicas y físico-químicas del suelo

PROFUNDIDAD cm	0-10	10-15	15-33	33-58	58-82	82-112	112-135	135-162	162-190+
DISTRIBUCIÓN PARTÍCULAS POR TAMAÑO %									
0,05-2			76,7	80,7	66,0	79,7	52,3	69,9	77,1
0,002-0,05			8,6	13,2	17,0	10,1	23,7	13,2	8,1
< 0,002			14,7	6,1	17,0	10,1	24,0	16,8	14,8
			Fa	aF	Fa	Fa	Faa	Fa	Fa
TEXTURA									
DENSIDAD APARENTE g/cm³		0,35	1,76	1,82	1,50	0,89	1,49	1,73	1,44
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm %		31,1	15,5	11,3	14,4	27,0	22,8	13,1	18,8
HUMEDAD RETENIDA 15 atm %		21,0	10,5	11,2	9,5	14,4	13,7	9,6	11,3
HUMEDAD APROVECHABLE %									
MATERIA ORGÁNICA %		36,64	2,08	1,60	1,97	1,70	3,02	1,79	1,71
pH H₂O		7,36	7,19	7,26	6,54	7,14	7,27	7,37	7,45
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m a 25°C)		0,58	0,34	0,41	0,31	0,32	0,35	0,28	0,36
Cu mg/kg		8,15	11,18	9,95	12,01	11,43	15,62	10,40	10,69
Fe mg/kg		2,34	8,89	7,30	8,03	1,47	20,30	3,01	1,47
Mn mg/kg		23,09	3,94	3,06	4,53	2,99	4,91	3,09	3,87
Zn mg/kg		10,16	1,18	0,86	2,09	0,50	2,58	1,59	1,20
N mg/kg		20,99	5,60	2,80	0,70	4,90	2,80	2,80	2,80
P mg/kg		64,87	33,55	20,74	15,75	14,57	17,98	13,98	8,39
K mg/kg		776,40	345,85	374,55	340,27	248,44	229,59	170,31	161,15
HCO₃(-) mmol/L		3,00	2,76	2,38	2,05	2,70	3,72	1,40	1,10

LE05

El suelo descrito es miembro de los Typic Haploxerolls (Mollisols). Corresponde a un suelo de origen coluvial ubicado en ladera de exposición Sur, profundo y muy escarpado. La cobertura vegetal cubre un 60% de la superficie siendo las especies representativas *Haplopappus sp.*, *Vicia sp.* y *Bromus berterianus* Colla.



Figura 23. Paisaje asociado a sitio de muestreo

4.1 Características físicas y morfológicas del pedón

Profundidad (cm)	
0 -8 Oe	Horizonte orgánico medianamente descompuesto formado principalmente por tallos y hojas.
8 – 38 A	Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2); franco arenoso gravoso; bloques subangulares finos débiles; ligeramente plástico, no adhesivo; raíces muy finas, finas y medias abundantes; poros muy finos y finos abundantes, medios comunes; límite lineal claro.
38 – 58 B	Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2); franco arenoso extremadamente gravoso; bloques subangulares finos débiles; ligeramente plástico, no adhesivo; raíces muy finas, finas y medias abundantes; poros muy finos y finos abundantes, medios comunes; límite lineal claro.
58 - 82 BC1	Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/3); franco arenoso extremadamente gravoso; grano simple; raíces muy finas, finas y medias abundantes; poros muy finos, finos y medios abundantes; límite lineal claro.
82 -100 BC2	Pardo muy oscuro (10 YR 2/2); franco extremadamente gravoso; grano simple; raíces muy finas y finas abundantes, medias comunes; poros muy finos abundantes y finos comunes; límite lineal claro.
100 -120 BC3	Pardo muy oscuro (10 YR 2/3); franco arenoso extremadamente gravoso; grano simple; raíces muy finas y finas abundantes; poros muy finos abundantes, finos comunes; límite lineal claro.

- 120 -144
C1 Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2); extremadamente gravoso; grano simple; raíces finas, comunes; limite lineal claro. Estrata de gravas (4-6 cm) 90%.
- 144 -157+
C2 Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2); franco muy gravoso; grano simple; raíces finas comunes; poros muy finos y finos abundantes.



Figura 24. LE05

Ubicación

Ladera de exposición Sur

Coordenadas: 33°39'30,57''S 70°08'26,00''O

Altura: 2538 m snm

Exposición: S

Propiedades físicas, químicas y físico-químicas del suelo

PROFUNDIDAD cm	0-8	8-38	38-58	58-82	82-100	100-120	120-144	144-157+
DISTRIBUCIÓN PARTÍCULAS POR TAMAÑO %								
0,05-2	74,8	75,6	80,6	75,9	70,5	73,5	67,3	73,5
0,002-0,05	17,2	11,3	9,7	15,8	17,8	16,3	22,5	14,8
< 0,002	8,1	13,1	9,7	8,3	11,7	10,2	10,2	11,7
	Fa	Fa	aF	Fa	Fa	Fa	Fa	Fa
TEXTURA								
DENSIDAD APARENTE g/cm³		1,90	1,77	1,86	1,67	1,71	1,60	1,77
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm %		15,92	18,14	13,54	13,76	14,10	13,22	18,73
HUMEDAD RETENIDA 15 atm %		13,01	11,56	11,83	10,62	13,98	12,76	12,32
HUMEDAD APROVECHABLE %								
MATERIA ORGÁNICA %	7,55	3,00	2,47	2,51	2,75	2,43	2,34	2,10
pH H₂O	6,72	6,49	6,50	6,32	6,38	6,38	6,47	6,41
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m a 25°C)	0,75	0,38	0,31	0,38	0,36	0,30	0,25	0,43
Cu mg/kg	10,42	8,89	9,21	8,61	8,81	9,65	9,73	9,37
Fe mg/kg	33,49	24,47	20,47	18,01	42,61	15,19	12,66	22,61
Mn mg/kg	19,07	2,71	1,55	20,45	1,45	1,10	0,85	1,02
Zn mg/kg	2,96	0,36	0,41	0,45	0,21	0,49	0,43	0,29
N mg/kg	13,28	4,90	3,50	2,80	2,80	1,40	0,70	4,20
P mg/kg	26,48	19,91	11,79	14,49	12,13	9,53	10,57	12,58
K mg/kg	214,94	485,09	312,97	255,65	170,96	137,93	134,04	123,75
HCO₃(-) mmol/L		1,70	1,66	1,12		0,72	0,88	0,82

LE07

El suelo descrito es miembro de los Typic Sulfihemist (Histosol). Corresponde a un suelo orgánico ubicado en el fondo de valle de origen glacial, en una vega andina, moderadamente profundo y suavemente inclinado. En la época de muestreo (primavera) el nivel freático se encontró a los 45 cm de profundidad. Cobertura vegetal densa principalmente de *Poa acinaciphylla* E.Desv.



Figura 25. Paisaje asociado a sitio de muestreo

4.1 Características físicas y morfológicas del pedón

Profundidad (cm)	
0 -12 Oi1	Pardo muy oscuro (10 YR 2/2); fibrico (90%); límite lineal claro.
12-23 Oi	Pardo muy oscuro (7.5 YR 3/2) fibrico (70%); límite lineal claro.
23-38 Oe1	Pardo oscuro (7.5 YR 3/3); hémico (35%); limite lineal claro.
38-48 Oe2	Pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2); hémico (18%); limite lineal abrupto.
48-60 C	Estrata de arena fina, gris muy oscuro (N3/1); franco arenoso; ligeramente plástico, no adhesivo; limite lineal abrupto.
60-68 B	Gris oscuro (2.5 Y 4/1); arcillo limosa; muy plástico, muy adhesivo; limite lineal abrupto.
68-80+ Oese	Material fibrico compuesto principalmente por tallos y raíces; pardo muy oscuro 7.5 YR 2.5/3. Hemic (20%)



Figura 26. LE07

Ubicación

Vega cubierta pasto denso, poco intervenida

Coordenadas: 33°39'36,20''S 70°08'26,15''O

Altura: 2503 m snm

Exposición: N

Propiedades físicas, químicas y físico-químicas del suelo

PROFUNDIDAD cm	0-12	12-23	23-38	38-48	48-60	60-68	68-80+
DISTRIBUCIÓN PARTÍCULAS POR TAMAÑO %							
0,05-2					50,4	26,7	
0,002-0,05					37,5	48,9	
< 0,002					12,2	24,4	
					F	F	
TEXTURA							
DENSIDAD APARENTE g/cm³		0,09	0,12	0,21	0,79	0,63	0,10
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm %		38,73	43,79	30,03	45,56	70,01	38,51
HUMEDAD RETENIDA 15 atm %		20,67	19,87	14,19	12,92	21,80	21,18
HUMEDAD APROVECHABLE %							
MATERIA ORGÁNICA %	69,38	68,87	64,48	51,64	1,88	6,64	57,13
pH H₂O	5,45	4,09	3,92	4,83	5,46	5,24	5,01
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m a 25°C)	2,41	2,11	1,71	0,61	0,46	1,02	0,69
Cu mg/kg		6,17	5,92	4,46	22,17	28,14	
Fe mg/kg		223,81	134,05	91,17	63,00	171,86	
Mn mg/kg		3,94	9,42	5,34	22,72	25,20	
Zn mg/kg		1,87	0,74	3,57	9,12	0,00	
N mg/kg	31,48	30,08	25,19	11,18	11,19	4,20	9,79
P mg/kg	102,71	119,93	109,18	79,55	8,79	8,19	104,91
K mg/kg	3552,07	435,79	353,24	257,38	119,98	195,63	207,00
HCO₃(-) mmol-/L						0,48	

MP01

El suelo descrito es miembro de los Typic Haploxeralfs. Corresponde a un suelo de origen coluvial ubicado en ladera de exposición SO, profundo y muy escarpado. En la superficie se observan clastos angulados de tamaño muy fino a muy gruesa, con vegetación escasa que recubre un 5%. Las plantas identificadas corresponden a *Pozoa coreacea* Lag., *Chaetantera sp.*, *Hordeum comosum* J.Presl., *Phacelia secunda* JF Gmel., *Perezia carthamoides* (D. Don) Hook & Arn., *Nassauvia cummingi* Hook & Arn. y *Taraxacum officinale* (L.) Weber. En el perfil se observan evidencias de iluviación de arcilla (cutanes) entre los 12-67 cm. Presencia de horizonte argílico.



Figura 27. Paisaje asociado a sitio de muestreo

Características físicas y morfológicas del pedón

Profundidad (cm)	
0 -4 A	Pardo grisáceo (10 YR 5/2) en seco, pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; franco arcillo gravoso; bloques subangulares muy finos fuertes; ligeramente plástico, moderadamente adhesivo; raíces finas comunes; poros muy finos, finos y medios abundantes; limite lineal claro.
4 – 12 B	Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2); arcillo gravoso; bloques subangulares finos fuertes; moderadamente plástico, moderadamente adhesivo; raíces muy finas y finas abundantes; poros muy finos y finos abundantes, medios escasos; limite lineal claro.
12 - 31 Bt1	Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); arcilloso; bloques subangulares finos fuertes; muy plástico, muy adhesivo; raíces muy finas escasas, finas comunes; poros muy finos, finos y medios abundantes; presencia de cutanes débiles discontinuos sobre la cara de los clastos y agregados; límite lineal claro.
31 - 49 Bt2	Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); franco arcillo arenoso gravoso; bloques subangulares finos moderados; ligeramente plástico, adhesivo; raíces finas escasas; poros muy finos y finos abundantes, medios escasos; cutanes débiles recubriendo los clastos; límite lineal claro.
49 -60 Bt3	Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); franco gravoso; grano simple; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; poros muy finos comunes, finos abundantes, medios comunes, gruesos escasos; cutanes moderados comunes sobre clastos; limite lineal claro.
60-67 Bt4	Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); franco arcillo gravoso; bloques subangulares finos fuertes; ligeramente plástico y adhesivo; poros muy finos comunes, medios escasos; cutanes fuertes en agregados y clastos (7.5 YR 2.5/2); limite lineal claro.
67-104 C1	Estrata de gravas (80%) con poros gruesos abundantes; limite ondulado claro.
104-127 BC	Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); franco areno gravoso; bloques subangulares medios moderados; ligeramente plástico, no adhesivo; poros muy finos y finos abundantes, medios comunes; límite lineal claro.
127-136 C2	Negro (10 YR 2/1); estrata de grava media a fina (80%) con matriz de arena gruesa y clastos meteorizados; grano simple; poros muy finos y finos abundantes, medios comunes; limite lineal claro.
136-160+ C3	Gris muy oscuro (10 YR 3/1); matriz de grava media a gruesa (70%), con matriz franca ligeramente plástica y adhesiva con poros muy finos y finos abundantes y medios abundantes.



Figura 28. MP01

Ubicación

Ladera de exposición SO.

Coordenadas: 33°19'16,98''S 70°16'50,01''O

Altura: 3216 m snm

Exposición: SE

Propiedades físicas, químicas y físico-químicas del suelo

PROFUNDIDAD cm	0-4	4-12	12-31	31-49	49-60	60-67	67-104	104-127	127-136	136-160+
DISTRIBUCIÓN PARTÍCULAS POR TAMAÑO %										
0,05-2	68,2	59,4	55,9	68,4	72,1	66,4	78,9	77,5	74,1	73,4
0,002-0,05	20,9	23,9	29,3	18,2	12,6	19,8	10,4	12,3	15,7	14,3
< 0,002	11,0	16,6	14,8	13,4	15,3	13,7	10,6	10,2	10,2	12,3
TEXTURA	Fa	Fa	Fa	Fa	Fa	Fa	Fa	Fa	Fa	Fa
DENSIDAD APARENTE g/cm³	1,65	1,67	1,30	1,60	1,62	1,56	1,55	1,54	1,62	
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm %	18,60	19,25	19,93	19,32	7,31	14,22	8,00		9,39	
HUMEDAD RETENIDA 15 atm %	10,62	14,27	15,17	13,47	6,40	7,28	5,80		6,01	
HUMEDAD APROVECHABLE %										
MATERIA ORGÁNICA %	4,89	1,59	1,92	1,53	1,61	1,48	1,67	1,60	1,75	1,29
pH H₂O	7,41	7,89	8,14	6,52	7,72	7,76	6,34	7,02	7,91	7,65
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m a 25°C)	0,30	0,10	0,37	0,22	0,23	0,33	0,15	0,15	0,18	0,16
Cu mg/kg	9,88	4,82	5,75	6,61	6,54	7,11	6,63	6,55	6,68	6,60
Fe mg/kg	173,13	13,44	6,93	5,54	5,67	6,45	5,46	58,15	66,36	35,38
Mn mg/kg										
Zn mg/kg	0,84	0,39	0,27	0,40	0,36	0,30	0,32	0,22	0,26	0,38
N mg/kg	11,15	3,49	9,79	6,26	7,69	4,89	6,30	10,44	2,79	3,49
P mg/kg	16,31	20,56	35,39	7,47	6,78	7,14	3,77	3,58	3,58	2,99
K mg/kg	149,31	143,93	147,16	158,90	131,05	90,36	91,79	144,64	116,73	154,21
HCO₃(-) mmol/L	0,18	0,18	0,43	0,28	0,15	0,33	0,50	0,20	0,35	0,25

MP02

El suelo descrito es miembro de los Xerollic Haplocryalfs. Corresponde a un suelo de origen coluvial ubicado en fondo de un circo glacial, profundo y plano. En la superficie se observan

clastos laminares con presencia de líquenes en sus caras, además de, bloques erráticos movilizados por glaciación y ladera activa en dirección Norte. La vegetación distribuida de manera uniforme cubre alrededor de un 10% de la superficie. Las plantas identificadas corresponden a *Senecio crithmoides* Hook & Arn., *Hordeum comosum* J.Presl., *Calandrinia caespitosa* Gillies ex Arn., *Nototriche* sp. En el perfil se observan evidencias de iluviación de arcilla (cutanes) entre los 46-139 cm.



Figura 29. Paisaje asociado a sitio de muestreo

Características físicas y morfológicas del pedón

Profundidad
(cm)

0 -3	Pavimento continuo de gravas angulares que van desde finas hasta bloques de 20 cm
3 – 8 A	Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/2); arcilloso; bloques subangulares muy finos débiles que rompen a estructura granular fina débil; muy plástico, muy adhesivo; raíces muy finas escasas; poros muy finos, finos y medios abundantes; horizonte vesicular, con gravas finas (5%); límite lineal claro.
8-25 B1	Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/3); arcilloso; bloques subangulares finos débiles que rompen a estructura granular muy finos fuertes; muy plástico, muy adhesivo; raíces muy finas escasas; poros muy finos y finos abundantes; presencia de gravas finas (5%); límite lineal abrupto.
25-46 B2	Pardo rojizo oscuro (2.5 YR 3/3); arcilloso; granular muy fina fuerte; muy plástico, muy adhesivo; raíces muy finas abundantes; poros muy finos y finos abundantes, medios escasos; presencia de gravas finas (10%); límite lineal claro.
46-73 Bt1	Pardo rojizo oscuro (2.5 YR 3/3); arcilloso; bloques subangulares finos débiles que rompen a granular muy fino débil; muy plástico, muy adhesivo; raíces muy finas escasas; poros muy finos y finos abundantes, medios comunes; cutanes débiles en la cara de los clastos; grava fina (30%); límite lineal claro.

- 73-103
Bt2
Pardo rojizo oscuro (2.5 YR 3/4); arcillo limosa; bloques subangulares finos moderados que rompen a granular muy fina débil; muy plástico, muy adhesivo; raíces muy finas escasas; poros muy finos y finos comunes, medios escasos; cutanes débiles en la cara de los agregados; muy ligera reacción al HCl; limite lineal gradual.
- 103-122
Bt3
Pardo rojizo oscuro (2.5 YR 3/4) matriz, rojo (2.5 YR 4/6) cutanes; arcilloso; cuñas gruesas fuertes que rompen a granular muy fina débil; muy plástico, muy adhesivo; raíces muy finas escasas; poros muy finos y finos abundantes, medios comunes; cutanes débiles en cara de los agregados; limite lineal claro.
- 122-139
Bt4
Pardo rojizo oscuro (2.5 YR 3/4); arcilloso; bloques subangulares muy finos fuertes y presencia de laminaciones de cuñas producidas por hielo, muy finas fuertes recubiertas con cutanes; muy plástico, muy adhesivo; poros muy finos, finos y medio comunes; limite lineal claro.
- 139-160+
B3
Pardo rojizo oscuro (2.5 YR 3/4); arcillo limoso; granular muy fina moderada, presencia de micro laminaciones escasas producidas por cuñas de hielo horizontales; muy plástico, muy adhesivo; poros muy finos y finos abundantes; presencia de gravas finas y medias (5%).

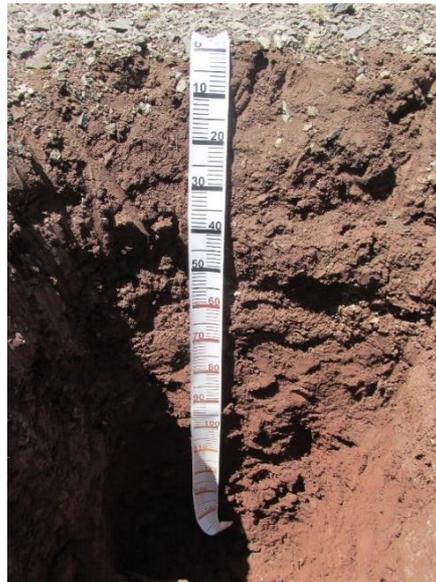


Figura 30.MP02

Ubicación

Fondo depositacional de circo glacial

Coordenadas: 33°16'29,97''S 70°15'17,99''O

Altura: 3706 m snm

Propiedades físicas, químicas y físico-químicas del suelo

PROFUNDIDAD cm	0-3	3-8	8-25	25-46	46-73	73-103	103-122	122-139	139-160+
DISTRIBUCIÓN PARTÍCULAS POR TAMAÑO %									
0,05-2		41,2	28,1	24,3	34,4	18,4	6,7	0,3	0,6
0,002-0,05		25,0	28,5	30,3	25,2	33,5	36,3	30,3	28,8
< 0,002		33,8	43,3	45,4	40,4	48,2	57,0	69,4	70,6
TEXTURA		FA	A	A	A	A	A	A	A
DENSIDAD APARENTE g/cm³		1,35	1,53	1,47	1,32	1,34	1,23	1,20	
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm %			31,07	33,95	26,87	38,12	43,49	45,34	42,34
HUMEDAD RETENIDA 15 atm %			23,68	29,57	19,27	29,49	33,47	36,71	31,07
HUMEDAD APROVECHABLE %									
MATERIA ORGÁNICA %		2,32	1,86	1,31	1,36	1,51	1,48	1,73	1,95
pH H₂O		7,61	7,31	7,41	7,85	7,85	7,72	8,28	7,89
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m a 25°C)		0,29	0,20	0,24	0,27	0,16	0,16	0,18	0,23
Cu mg/kg		22,53	12,19	10,15	9,45	10,60	18,92	11,26	12,24
Fe mg/kg		131,93	103,65	161,47	100,99	29,02	9,31	66,15	6,78
Mn mg/kg									
Zn mg/kg		1,81	1,23	0,98	1,44	1,38	1,15	1,00	2,09
N mg/kg		1,40	5,59	5,59	3,49	6,96	6,99	4,89	2,09
P mg/kg		6,13	4,39	2,80	1,59	2,37	1,98	0,60	0,20
K mg/kg		303,07	328,89	359,31	317,18	345,82	450,30	477,81	493,43
HCO₃(-) mmol/L		0,53	0,55	0,55	0,50	0,50	0,35	0,90	0,35

MP03

El suelo descrito es miembro de los Typic Cryorthents. Corresponde a un suelo de origen coluvial ubicado en ladera relativamente estable con grava continua de tamaño entre 3-5 cm y 10-20 cm, profundo y fuertemente inclinado. La vegetación presente cubre un 1% de superficie. Presencia de polígonos criogénicos de geometría romboidal y barniz en rocas que denota tiempo de formación. Existencia de horizonte cámbico.

Entre los polígonos, las cuñas son de 10 cm de profundidad, mientras que, el espaciamento entre grietas (en perfil): 22, 30 y 33 cm.

Medidas de polígonos (haciendo una cruz) (cm):

80 x 80 80 x 65 65 x 60 90 x 14 120 x 75 65 x 55 80 x 220 150 x 80 70 x 70 80 x 70



Figura 31. Paisaje asociado a sitio de muestreo

Características físicas y morfológicas del pedón

Profundidad (cm)	
0 -4	Pavimento continuo de gravas con tamaño muy fino hasta los 10 cm. Rocas con barniz desarrollado formando polígonos de tamaño muy finas en superficie correspondientes a grietas formadas por cuñas de hielo.
4-6 Av	Pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4); franco arcillo limoso gravoso; laminar gruesa moderada que desagrega a bloques subangulares finos débiles; poros muy finos y finos abundantes; limite lineal claro.
6-13 B1	Pardo grisáceo (10 YR 5/2) en seco, pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4) en húmedo; franco gravoso; granular muy fino débil; ligeramente plástico, moderadamente adhesivo; poros muy finos y finos abundantes, medios comunes; 50% grava; limite lineal claro.
13-21 B2	Pardo (10 YR 5/3) en seco, pardo oscuro (10 YR 3/3); franco arcillo gravosa; cuñas finas moderadas; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; poros muy finos y finos abundantes, medios comunes; 40% de gravas; limite lineal claro.
21-47 B3	Pardo oscuro (10 YR 3/3); franco arcillo limoso; masivo; ligeramente plástico, moderadamente adhesivo; poros muy finos y finos abundantes; límite lineal claro.
47-58 B4	Pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4); franco arcilloso extremadamente gravoso (40%); masivo; ligeramente plástico, no adhesivo; poros muy finos y finos abundantes; limite lineal claro.
58-67 B5	Pardo oscuro (10 YR 3/3); franco gravoso (25%); masivo; moderadamente plástico, ligeramente adhesivo; poros muy finos comunes, finos abundantes, medios escasos; limite lineal claro.
67-86 BC1	Pardo oscuro (10 YR 3/3); franco areno gravoso (40%); masivo; ligeramente plástico, no adhesivo; poros muy finos y finos abundantes, medios comunes; limite lineal claro.
86-95+ BC2	Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2); franco arenoso; masivo; ligeramente plástico, no adhesivo; poros muy finos y finos abundantes; gravas 20%.



Figura 32. MP03

Ubicación

Ladera relativamente estable

Coordenadas: 33°18'23,00''S 70°15'57,99''O

Altura: 3906 m snm

Exposición: SE

Propiedades físicas, químicas y físico-químicas del suelo

PROFUNDIDAD cm	0-4	4-6	6-13	13-21	21-47	47-58	58-67	67-86	86-95+
DISTRIBUCIÓN PARTÍCULAS POR TAMAÑO %									
0,05-2		71,6	58,3	42,5	67,5	71,0	68,0	68,9	74,5
0,002-0,05		16,4	24,0	29,4	18,1	21,1	25,4	24,3	17,9
< 0,002		12,0	17,7	28,1	14,4	8,0	6,6	6,8	7,5
TEXTURA		Fa							
DENSIDAD APARENTE g/cm³		1,71	1,71	1,62	1,58	1,62	1,64	1,70	1,70
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm %		15,35	16,42	16,97	16,43	17,25	20,31	20,74	18,35
HUMEDAD RETENIDA 15 atm %		9,70	13,76	15,08	13,02	14,49	14,44	14,54	12,63
HUMEDAD APROVECHABLE %									
MATERIA ORGÁNICA %		0,92	1,11	1,30	0,86	0,92	1,11	1,27	0,93
pH H₂O		7,61	7,68	7,27	6,91	6,95	7,61	6,84	6,85
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m a 25°C)		0,35	0,25	0,28	0,40	0,21	0,18	0,43	0,24
Cu mg/kg		6,69	6,68	6,89	5,08	4,91	5,12	6,24	5,17
Fe mg/kg		69,77	62,48	65,93	32,67	21,78	10,00	21,93	25,90
Mn mg/kg									
Zn mg/kg		0,70	0,64	0,57	0,24	0,18	0,13	0,40	0,23
N mg/kg		6,99	4,89	4,86	4,90	2,10	6,98	2,10	9,07
P mg/kg		7,06	4,33	5,75	2,58	1,80	2,58	1,99	2,19
K mg/kg		447,46	519,54	689,71	584,98	611,56	662,33	663,09	548,37
HCO₃(-) mmol/L		0,08	0,20	0,35	0,35	0,20	0,35	0,70	0,40

MP04

El suelo descrito es miembro de los Typic Calcicryepts, de origen residual con grava continua de 5mm a 15 cm en superficie, profundo y moderadamente inclinado. Presencia de polígonos criogénicos de geometría romboidal. La vegetación es escasa, cubriendo un <1% de la superficie y correspondiendo a una única especie *Nototriche compacta* (A. Gray). En el perfil existe la presencia de una cuña de hielo de 10 cm de ancho por 20 cm de profundidad.

Medición de polígonos (m):

3.9 x 3.3 4.8 x 6.7 2.4 x 2.0 2.6 x 2.8 3.3 x 5.2 2.1 x 3.1 2.2 x 2.5 3.5 x 2.2 1.6 x 1.7

2.3 x 3.2



Figura 33. Paisaje asociado a sitio de muestreo

Características físicas y morfológicas del pedón

Profundidad
(cm)

0 -5	Horizonte de grava continua (3-10 mm) con láminas de carbonato en la base de ellas con muy fuerte reacción al HCl.
5 – 11 Av	Pardo grisáceo (10 YR 5/2) en seco, pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; franco limoso gravoso; laminar débil; ligeramente plástico, moderadamente adhesivo; poros muy finos, finos y medios abundantes; límite lineal claro.
11-16 Bk	Pardo oscuro (10 YR 3/3); franco limoso gravoso (50%); bloques subangulares finos débiles; ligeramente plástico, moderadamente adhesivo; poros muy finos, finos y medios abundantes; matriz ligeramente efervescente al HCl, presencia de láminas de carbonato en la superficie inferior de los clastos extremadamente efervescente; límite lineal claro.
16-30 Ck1	Pardo oscuro (10 YR 3/3); grava 90%; grano simple; poros muy finos, finos y medios abundantes, gruesos escasos; matriz ligeramente

- efervescente al HCl, láminas de carbonato en superficie inferior de los clastos extremadamente efervescente al HCl; límite lineal claro.
- 30-40
Ck2 Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2); grava 80%; grano simple; poros muy finos y finos abundantes, medios escasos; matriz muy ligeramente efervescente al HCl, presencia de láminas débiles de carbonatos en todas las caras de los clastos moderadamente efervescente; límite lineal claro.
- 40-49
Ck3 Pardo oscuro (7.5 YR 3/3); franco limoso; masivo; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; poros muy finos abundantes, finos comunes; grava 30%; oliva grisáceo (5Y 5/2); limoso; grano simple; moderadamente plástico, ligeramente adhesivo; poros muy finos escasos; grava <5%; matriz ligeramente efervescente al HCl; límite lineal quebrado.
- 49-63
Ck4 Oliva oscuro grisáceo (5 Y 3/2); franco limoso; masivo; moderadamente plástico, ligeramente adhesivo; poros muy finos comunes, finos escasos, medios escasos; grava <5%; superficie inferior de los clastos extremadamente efervescente en reacción al HCl; límite lineal claro.
- 63-76
Ck5 Oliva (5 Y 4/3); franco limoso; masivo; moderadamente plástico, ligeramente adhesivo; poros muy finos abundantes, finos escasos; grava 10%; matriz muy ligeramente efervescente en reacción al HCl, extremadamente efervescente en todas las caras de los clastos; límite lineal claro.
- 76-81
Ck6 Oliva grisáceo (5Y 4/2); franco arenoso; masivo; ligeramente plástico, no adhesivo; poros muy finos y finos abundantes, medios comunes; matriz muy ligeramente efervescente en reacción al HCl, cara superficial de los clastos muy ligeramente efervescente, cara inferior de ellos extremadamente efervescente; límite lineal claro.
- 81-89
Cjj Gris oscuro (5Y 4/1); franco limoso; masivo; moderadamente plástico, ligeramente adhesivo; poros muy finos comunes, medios escasos; grava 40%; matriz muy ligeramente efervescente en reacción al HCl, cara superior de las gravas ligeramente efervescente, cara inferior ligeramente efervescente; límite quebrado.
- 89-95
C Oliva grisáceo (5Y 4/2); limoso; masivo; moderadamente plástico, ligeramente adhesivo; poros muy finos abundantes, finos comunes; grava 60%; matriz muy ligeramente efervescente en reacción al HCl; límite lineal claro.
- 95-113+
Cr Oliva oscuro grisáceo (5Y 3/2); grava 95%.



Figura 34. MP04

Ubicación

Ladera estable con exposición O.

Coordenadas: 33°16'53,01''S 70°14'19,86''O

Altura: 4113 m snm

Exposición: O

Propiedades físicas, químicas y físico-químicas del suelo

PROFUNDIDAD cm	0-5	5-11	11-16	16-30	40-49	49-63	63-76	76-81	81-89+
DISTRIBUCIÓN PARTÍCULAS POR TAMAÑO %									
0,05-2		63,3	64,0	66,4	39,9	33,5	45,9	52,8	43,6
0,002-0,05		21,4	17,1	17,3	35,2	47,9	38,8	34,1	43,1
< 0,002		15,3	18,9	16,3	24,9	18,6	15,3	13,1	13,3
TEXTURA		Fa	Fa	Fa	F	F	F	Fa	F
DENSIDAD APARENTE g/cm³		1,85	1,76	1,66	1,31	1,58	1,54	1,51	1,45
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm %		16,50	13,64	11,17	17,50	29,15	23,47	24,06	27,00
HUMEDAD RETENIDA 15 atm %		11,34	11,89	10,43	16,51	22,33	17,55	15,86	17,43
HUMEDAD APROVECHABLE %									
MATERIA ORGÁNICA %		0,74	1,01	1,61	1,21	1,04	0,96	1,13	1,23
pH H₂O		7,15	8,29	6,57	7,54	7,35	7,49	7,56	8,23
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m a 25°C)		0,33	0,20	0,29	0,27	0,27	0,28	0,36	0,31
Cu mg/kg		10,02	9,28	8,75	10,75	11,19	8,84	8,61	8,84
Fe mg/kg		39,47	37,54	36,17	81,66	88,35	64,93	67,34	57,36
Mn mg/kg									
Zn mg/kg		0,57	0,42	0,37	0,33	0,37	0,29	0,35	0,53
N mg/kg		11,90	6,23	8,34	4,16	6,98	9,71	9,79	9,04
P mg/kg		2,98	3,37	2,20	1,79	1,39	1,59	0,59	0,20
K mg/kg		352,31	290,32	321,08	311,42	274,60	265,78	282,25	297,01
HCO₃(-) mmol/L		0,45	0,60	0,85	1,03	0,35	0,80	1,00	0,85

APENDICE 3. Caracterización del sistema poroso

A continuación, se presenta la caracterización del espacio poroso (%) según horizontes en los suelos estudiados, identificando los poros de drenaje rápido (PDR), poros de drenaje lento (PDL), poros de agua útil (PAU) y poros de agua inútil (PAI). Cabe mencionar que debido a la disponibilidad de muestra para realizar la curva característica es que no fue posible obtener estos resultados para todos los horizontes.



