

Suelos volcánicos de la provincia del Chubut

Ludmila A. La Manna¹⁻² - Carlos G. Buduba¹⁻³ - Jorge A. Irisarri⁴

¹ Centro de Estudios Ambientales Integrados, Facultad de Ingeniería,

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

² CONICET

³ EEAf INTA Esquel

⁴ Universidad Nacional del Comahue

Autor de contacto: llamanna@unpata.edu.ar

Resumen

Los suelos volcánicos de la provincia del Chubut evidencian cambios oeste-este en el régimen de humedad edáfico (údic-xérico) y en la génesis de arcillas (alofano-imogolita-haloisita), generando un gradiente Andisoles-Molisoles ándicos-Molisoles. Existe una gran variabilidad edáfica a pequeña escala, relacionada con la posición en el paisaje, la profundidad y granulometría de los depósitos volcánicos y las características del material subyacente (*i.e.*, rocas, depósitos glaciares, coluviales o aluviales). Si bien predominan suelos profundos y bien drenados, son frecuentes las limitantes en profundidad y/o drenaje.

Las cenizas de los suelos de la provincia son de naturaleza mesosilícica. Los perfiles volcánicos, típicamente sueltos, muestran secuencias A/Bw/C o A/AC/C. Predominan las texturas medias y gruesas (franco limosas a areno francas); los suelos son porosos (densidad aparente $< 0,9 \text{ g cm}^{-3}$) y con alta capacidad de retención de agua. Los contenidos de materia orgánica (MO) son altos, y varían de acuerdo al régimen de humedad (údic: MO > 15%; xérico: MO = 5-12%) y al uso de la tierra. Los suelos alofánicos presentan pH ligeramente ácido, altos valores de CIC ($> 100 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) y nutrientes (N, Mg, Ca), y bajos valores de P disponible, debido a la alta retención de aniones. Hacia el este, donde la arcilla predominante es haloisita, disminuyen la MO y la CIC y los pH se incrementan. Los suelos volcánicos de Chubut, que sostienen la actividad forestal de la provincia y gran parte de la actividad agrícola ganadera, son extremadamente erosionables cuando pierden la cobertura vegetal.

Palabras clave

Ceniza; pumita; alofano; Andisol; Patagonia; erosión.

Volcanic soils of Chubut province, Patagonia, Argentina

Extended abstract

The edaphic-bio-climatic gradient, typical from Patagonian Andean Region, can also be noticed in Chubut province, where mean annual precipitation varies from 3,000 to 300 mm along ca. 90 km. Volcanic soils, from holocenic ashes and pumicites, show west-east changes in soil moisture regime (udic - xeric - aridic) and in clay genesis (allophane - imogolite - halloysite), developing a soil gradient: Andisols - Andic Mollisols - Mollisols. At a detailed scale, a great edaphic variability exists, associated with the position in the landscape, the depth and granulometry of the volcanic ashes and the characteristics of the subjacent material. Since ashes are distributed by western winds, topography (*i.e.*, aspect, slope degree, convexity) controls the depth of the deposits, and thus, the effective depth for downward roots to develop. Although moderately deep and well-drained soils predominate, limitations in depth and or drainage are common. These limitations are given by the material on which the ash has been deposited: rocks carved by the glaciers, glacialfluvial, glacialacustrine, colluvial or alluvial deposits. For example, in profiles where ash is intermingled with alluvial materials, or where ash is

on a clayey glacial deposit, it is common to find redoximorphic features near to the surface. On the other hand, profiles on steep slopes where ash was deposited on andesite rock, usually are shallow soils.

Volcanic ashes in Chubut province are of mesosilicic nature, with dominance of slightly altered volcanic glass. Mineralogical studies show slightly weathered ashes and periodic additions of fresh ashes in the soils. Volcanic profiles, light and easily excavated, show a scarce horizons development and A/Bw/C or A/AC/C are the most common sequences. Soil colours correspond to 10YR hue; A horizons are dark toward the west, with value and chroma lower than 3 and 2, respectively, becoming lighter towards the east. A horizons are usually granular structured and subsurface horizons are non-structured (*i.e.*, massive or loose). Although soil textures can widely vary in short distances, medium and coarse textures dominate (silty loam to loamy sand).

As usual in Andisols, given their large surface area and the stable aggregation between organic matter and non-crystalline minerals, soils result in high porosity and low bulk densities ($< 0.9 \text{ g cm}^{-3}$). Soils also show high water retention capacity, which varies according to texture and dominant clays, showing silty loam allophanic soils the highest values.

Soils under udic moisture regime show high soil chemical fertility, with high organic matter contents ($> 15\%$), moderately to slightly acid H_2O pH, KCl pH values near to H_2O pH, high cation exchange capacity ($> 100 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) and appropriate levels of nutrients (N, Mg, Ca). Only P levels are low, due to the high anions retention, typical of these soils. Towards the east, organic matter contents and cation exchange capacity diminish, while pH and exchangeable cations increase. Under the xeric moisture regime, organic matter contents vary conditioned by land use, reaching values ca. 12% in preserved native forests, and ca. 6% in rangelands and exotic conifers plantations. In the semiarid sector, with steppe vegetation and where soil moisture regime corresponds to a xeric-aridic transition, volcanic deposits are restricted to certain positions in the landscape, highly protected from the winds. In this eastern limit of volcanic soils distribution, the dominant clays are crystalline (*i.e.*, halloysite), organic matter contents diminish (ca. 2%) and pH is slightly alkaline.

The volcanic soils from Chubut are extremely erodible when they lose the vegetation cover. In the subhumid sector (*i.e.*, xeric moisture regime), based on isotopic techniques, erosion rates as high as $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ are found. Since organic matter and mineral fraction are stably combined in volcanic soils, erosion does not involve individual particles, but rather highly stable microaggregates, enriched in fine particles. These volcanic, fertile and erodible soils support the forest activity in Chubut Province, and much of crops and cattle, thereby, land management should have special emphasis on soil conservation.

Key words | Ash; pumite; allophane; Andisols; erosion; Argentina.

UN POCO DE HISTORIA...

A lo largo de la Cordillera de los Andes se hallan numerosos volcanes, muchos de ellos aún hoy en actividad, vinculados a la dinámica de las placas litosféricas Sudamericana y Nazca. El material emitido por estos volcanes fue y es traído por los vientos, predominantemente del oeste, hacia la Argentina. Así, un manto de cenizas y arenas volcánicas ha cubierto el paisaje, luego de la retirada de los glaciares, y constituye el material original

predominante de los suelos de la Región Andino Patagónica (Apcarian & Irisarri, 1993). La influencia de la ceniza en los suelos va mucho más allá de la angosta región andina, tal como pudo verse en la reciente erupción del volcán Chaitén (Buduba *et al.*, 2008).

Dada la gran superficie específica de la ceniza volcánica, los procesos edafogenéticos pueden desarrollarse en un tiempo relativamente corto, de unas pocas centenas a miles de años, de acuerdo

a las condiciones ambientales y la naturaleza química de las tefras (Shoji *et al.*, 1993). Así, los suelos volcánicos que encontramos en la Región Andino Patagónica se desarrollaron a partir de cenizas holocénicas, con tan sólo unos 10.000 años de antigüedad (Auer, 1950). Todo vestigio anterior de suelos fue borrado por el accionar de los glaciares. Los materiales piroclásticos (*i.e.*, capas de ceniza, lapilli y pumita) se depositaron sobre el paisaje que dibujaron los glaciares, y forman una capa más o menos uniforme, ya sea sobre rocas labradas por los glaciares, depósitos glacifluviales, glacialustres, coluviales en zonas de laderas o fluviales en los valles (Colmet-Daage *et al.*, 1988).

El material volcánico es un “tesoro” en esta región, caracterizada por un clima mediterráneo, pues, la increíble capacidad de los suelos volcánicos para cargarse de agua en la época de lluvias (otoño-invierno) y liberarla cuando las plantas la necesitan (época de crecimiento: primavera-verano) permite el desarrollo del Bosque Andino Patagónico y las producciones agroforestales en secano. Si los suelos no fueran de origen volcánico, el paisaje y la vegetación de la cordillera serían muy diferentes. El edafólogo José Ferrer describió la presencia del bosque en la Región Andino Patagónica como un “*endemismo pedológico*” (Ferrer, 1998).

Dadas sus extraordinarias propiedades, los Andisoles, principal Orden de suelos desarrollado a partir de ceniza volcánica, si bien representan sólo el 1% de la superficie del planeta, sostienen cerca

del 10% de la población mundial, y un importante uso agrícola ganadero (Ping, 2000). En la provincia del Chubut, los suelos volcánicos no sólo sostienen la actividad forestal de la provincia, tanto el bosque natural como implantado y los servicios ecosistémicos asociados, sino también la mayor parte de la producción ganadera bovina, y cultivos intensivos y extensivos.

GRADIENTE EDAFO-BIO-CLIMÁTICO

La cordillera de los Andes conforma una barrera que ocasiona la elevación de las masas de nubes provenientes del Pacífico, generando precipitaciones abundantes en el límite con Chile, las cuales disminuyen abruptamente hacia el este. En el oeste de la provincia del Chubut, las precipitaciones medias anuales varían desde 3.000 a 300 mm en una distancia menor a 90 km (Fig. 1). Este gradiente de precipitación es irregular y tiene variaciones locales, relacionadas con la orografía y la existencia de valles transversales a la cordillera. Hacia el sur de la provincia, los valores máximos de precipitación disminuyen, y no superan los 1.200 mm anuales (Fig. 1). En ese sector, es menor también la preponderancia de suelos volcánicos. La Fig. 2, extraída del Mapa de Suelos de Argentina (Cruzate *et al.*, 2007), destaca en color verde aquellas asociaciones de suelos del Chubut donde en primer, segundo o tercer Orden de suelo predominante aparecen los Andepts (Soil Survey Staff, 1975), cuando aún no era considerado el Orden Andisols.

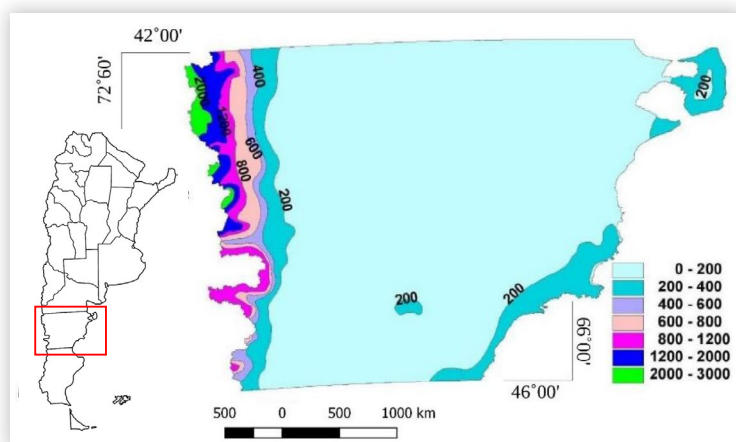


Figura 1. Mapa de precipitaciones medias anuales de la provincia del Chubut. Digitalizado por INTA. Fuente: Barros *et al.* (1979).

Figure 1. Mean annual precipitations in Chubut province. Digitized by INTA. Source: Barros *et al.* (1979).

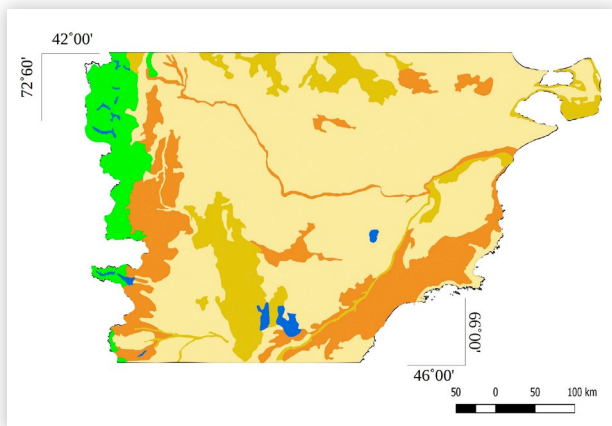


Figura 2. Suelos de la provincia del Chubut: ■ Área donde predominan suelos de origen volcánico; Área con predominancia de otros materiales originales: ■ Aridisoles; ■ Entisoles; ■ Molisoles. Extraído de Mapa de suelos de Argentina SAGyP – INTA (Cruzate *et al.*, 2007).

Figure 2. Soils of Chubut province: ■ Area where volcanic ash is the main parent material; Soils with other parent materials: ■ Aridisols; ■ Entisols; ■ Mollisols. Source: Mapa de suelos de Argentina SAGPyA - INTA (Cruzate *et al.*, 2007).

Los vientos del oeste determinan también la distribución de las cenizas. Las variaciones en el relieve, con laderas protegidas (orientación este), laderas expuestas a los vientos (orientación oeste), pendientes abruptas o someras, depresiones, convexidades, condicionan la profundidad de los depósitos, y así, la profundidad de los “suelos de ceniza” (Colmet-Daage *et al.*, 1995).

El gradiente pluviométrico influye en los procesos de pedogénesis, pues las condiciones esenciales para la formación de alofano (*i.e.*, mineral no cristalino) a partir de la ceniza volcánica, incluyen la presencia de sílice (Si) y aluminio (Al) en la solución del suelo, y la posibilidad de co-precipitación. Estas condiciones están fuertemente determinadas por el lavado del suelo, el ciclo del carbono y el pH, factores que a su vez están influenciados por las precipitaciones, el drenaje, la composición del material parental y el aporte de materia orgánica (Parfitt *et al.*, 1984; Dahlgren *et al.*, 2004). Así, el gradiente pluviométrico oeste-este, asociado a un gradiente de vegetación (bosque-ecotono-estepa), altera también el desarrollo de los suelos (Andisoles-Molisoles ándicos-Molisoles) (Colmet-Daage *et al.*, 1988), conformando un gradiente edafo-bio-climático.

En los ambientes más húmedos, con mayor lixiviación, se forma alofano (Parfitt *et al.*, 1984), sustancia no cristalina, fuertemente hidratada, porosa, con gran superficie específica y capacidad de retención hídrica. Hacia el ecotono, la ceniza volcánica deriva en imogolita (Colmet-Daage

et al., 1988), un aluminosilicato no cristalino con fuerte afinidad por el agua y moléculas orgánicas, aunque menor a la del alofano (Besoain, 1985). En estos ambientes xéricos, si el suelo es sometido a desecación, la imogolita puede deshidratarse hacia arcillas cristalinas, como la haloisita, un aluminosilicato 1:1 (Besoain, 1985; Parfitt & Wilson, 1985).

El gradiente edafoclimático evidenciado en la Región Andino Patagónica, tiene su correlato en Chubut. Relevamientos y mapeos de suelos realizados en distintos sectores del centro-norte de la provincia del Chubut (Laya 1969a, 1969b; Vallerrini & Marcolín, 1976; López *et al.*, 1992; Colmet-Daage *et al.*, 1993, 1995; Irisarri *et al.*, 1995, 2000; La Manna *et al.*, 2007, 2008), permiten distinguir cuatro zonas con diferencias edafoclimáticas, cuyo material parental preponderante es la ceniza o la arena volcánica (Fig. 3):

- A. Zona húmeda: con precipitaciones superiores a los 1.000 mm. Suelos con nulo o escaso déficit hídrico (régimen de humedad údico).
- B. Transición Zona húmeda - subhúmeda: con precipitaciones *ca.* 800-1.000 mm (régimen de humedad údico o xérico).
- C. Zona subhúmeda: con precipitaciones *ca.* 500-800 mm. Suelos con déficit hídrico estival (régimen de humedad xérico).
- D. Zona semiárida: con precipitaciones menores a 500 mm. Suelos con déficit hídrico estival (Transición régimen de humedad xérico-árido).



Figura 3. Gradiente edafoclimático en la provincia del Chubut. Se indican los grupos taxonómicos presentes en cada zona. Fotos de L. La Manna, D. Berwin & J. Rogel.

Figure 3. Edaphoclimatic gradient in Chubut province. Taxonomic groups found in each area are shown. Photos by L. La Manna, D. Berwin & J. Rogel.

El criterio diagnóstico para definir propiedades ándicas está dado por el contenido de aluminio (Al) y hierro (Fe) extraídos con oxalato de amonio ($Al_0 + \frac{1}{2} Fe_0$), la retención de fosfatos, la densidad aparente y el contenido de materia orgánica (Soil Survey Staff, 2014). El oxalato de amonio en medio ácido permite extraer todos los componentes “Al activo” y “Fe activo” y el Si asociado; esto incluye el alofano, la imogolita y los complejos húmicos (Fe-humus y Al-humus) (Mizota & van Reeuwijk, 1989). A diferencia de lo que ocurre en otras áreas volcánicas, en los suelos volcánicos de Chubut, el Al no se encuentra estabilizado en forma de complejos Al-humus, y los componentes activos son fundamentalmente el alofano y la imogolita (Colmet-Daage *et al.*, 1993). Los compuestos de Al y Fe activo pueden ser también estimados haciendo reaccionar el suelo con una solución de fluoruro de sodio (NaF). Dada la capacidad de los suelos para retener aniones, la adsorción del F^- libera OH^- a la solución, incrementando así el pH (Fieldes & Perrott, 1966). Estudios realizados en Chubut, que abarcaron estudios mineralógicos y análisis químicos, incluyendo la valoración de la

relación ($Al_0 + \frac{1}{2} Fe_0$) y la retención de fosfatos, demostraron que el pH NaF es un excelente indicador de la evolución de los suelos volcánicos (Colmet-Daage *et al.*, 1993, 1995), y la mayoría de los estudios edáficos de la provincia utilizan el pH NaF como indicador del grado de *alofanización*. Si el pH NaF medido a los 2' es mayor a $\sim 9,2$ indica la presencia de alofano, si sólo el pH NaF medido a los 60' resulta mayor a $\sim 9,2$ indica la presencia de imogolita; valores inferiores a 9,2 sugieren la presencia de haloisita, mineral cristalino (Irisarri, 2000). Así, si bien en la mayoría de los estudios no se han realizado la totalidad de las determinaciones analíticas que exige la Taxonomía de Suelos, los análisis realizados permiten una aproximación certera a la clasificación de los suelos.

El material original de estos suelos corresponde a cenizas volcánicas holocénicas no consolidadas, con tamaños menores a 2 mm, o bien a materiales volcánicos más gruesos (pumita o lapilli; 2-64 mm) (Schoeneberger *et al.*, 1998). Cuando el peso específico del material volcánico resulta inferior a 1, recibe el nombre de pumita (Schoeneberger *et al.*, 1998).

SUELOS VOLCÁNICOS DEL CHUBUT

A. Zona húmeda. Suelos con régimen de humedad údico.

El oeste de la Región Andino Patagónica de Chubut, corresponde a un paisaje montañoso, modelado principalmente por la acción glacial (ver Fig. 3). La ceniza volcánica constituye un manto relativamente homogéneo sobre el paisaje, y únicamente en las cimas de las montañas, con asomos rocosos y pendientes escarpadas, la ceniza no se ha conservado. La profundidad de los suelos varía fundamentalmente en función de la protección del material volcánico. En exposiciones protegidas (*i.e.*, este) o en microrrelieves resguardados, el depósito volcánico es de mayor espesor, determinando suelos profundos. Por el contrario, en sectores donde domina la orientación oeste, laderas expuestas al viento, los suelos son menos profundos.

El régimen de humedad údico está estrechamente relacionado con la presencia de alofano y su capacidad de retener el agua en la época de lluvias y liberarla ante el requerimiento de la vegetación (época de crecimiento, coincidente con la época seca).

En las zonas de faldeos, tanto con pendientes inclinadas (5-30%), como escarpadas (>30%), los suelos se desarrollaron a partir de ceniza o pumita, y presentan buen drenaje. La vegetación dominante corresponde a bosques densos de especies de *Nothofagus* y/o *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Ser. & Bizzarri (n.v. ciprés de la cordillera).

En el área de valle, en cambio, donde se conjugan materiales parentales volcánicos y aluviales,

los suelos suelen presentar drenajes impedidos, y la vegetación corresponde a gramíneas, arbustales o bosques ralos con maitén (*Maytenus boaria* Mol; maitén), ñire (*Nothofagus antarctica* (G. Forster) Oerst) o ciprés de la cordillera, o bien sauces naturalizados acompañando los cursos de agua.

Así, dentro del sector de régimen de humedad údico, pueden diferenciarse los sectores de faldeos y de valles:

A1. Suelos de régimen hídrico údico. Faldeos. Si bien hay variaciones en función de la microtopografía, el Orden de suelos dominante es Andisol, con preponderancia de Udivitrandes húmicos (Humic Udivitrands), Udivitrandes líticos (Lythic Udivitrands) y Hapludandes vítricos (Vitric Hapludands). La discriminación entre los Subórdenes Vitrandes y Udandes, la da el valor de punto de marchitez permanente; menor o mayor a 15%, respectivamente (Soil Survey Staff, 2014). Este umbral está fuertemente asociado con la textura del suelo (Frugoni, 2004).

La **Tabla 1** muestra perfiles representativos de los faldeos con régimen hídrico údico. En general no se observa un gran desarrollo de horizontes, y los perfiles típicos son secuencias A/Bw/C o bien A/AC/C. Los suelos de este sector son ricos en alofano, tal como sugieren los valores de pH NaF (Irisarri, 2000). El material original del perfil mostrado en la **Tabla 1A** correspondería a la capa pumícea I, caracterizada por un color gris blanquecino (Auer, 1950). Los suelos pueden presentar fragmentos gruesos en proporciones altamente variables.



Tabla 1. Perfiles representativos de suelos de régimen de humedad údico en flanco de montañas.

Table 1. Representative profiles of soils developed on hillsides under udic moisture regime.

Tabla 1A

Suelos de régimen údico	Flanco de montaña
Material original:	Pumita
Clasificación:	Udivitrand húmico
Perfil 14. Laguna Larga	
Ubicación: 42° 53' 24" S - 71° 36' 00" O	Altitud: 523 m s.n.m.
Pendiente: 6%	Orientación: NE
Geomorfología: Flanco montaña -tercio inferior	
Vegetación: Bosque de <i>Nothofagus dombeyi</i>	

Oi	0-3 cm	Hojas de coihue ligeramente descompuestas.
A	3-40 cm	Negro (10YR 2/1, h). Franco arenosa. Granular, moderada, gruesa. Raíces abundantes, medias, en toda el área. Reacción al NaF: positiva (fuerte, rápida). Límite difuso, plano.
ABw	40-60 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, h). Arenosa. Suelto. Raíces abundantes, medias y gruesas, en toda el área. Reacción al NaF: positiva (fuerte, rápida). Límite claro, plano.
Bw	60-85 cm	Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4, h). Arenosa. Suelto. Raíces abundantes, medias y gruesas, en toda el área. Reacción al NaF: positiva (fuerte, instantánea). Límite claro, plano.
C	85-120 cm +	Pardo amarillento claro (10YR 6/4). Arenosa. Suelto. Raíces comunes, medias, en toda el área. Reacción al NaF: positiva (fuerte, rápida).

DATOS ANALÍTICOS

	DA (g cm ⁻³)	HE (%)	pH agua	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	MO (%)	CIC	Ca	Mg (cmol _c kg ⁻¹)	Na	K
A	0,68	35	6,5	5,43	9,79	10,54	15	46	12,6	6,4	0,9	0,5
ABw		32,4	6,4	5,18	10,52	11,18	10					
Bw		30,1	6,41	5,24	10,26	10,94	7,5					
C		22,7	6,52	5,17	9,19	10,53	4,2					

Tabla 1B

**Suelos de régimen údico****Material original:****Clasificación:****Flanco de montaña****Ceniza volcánica****Udivitrand lítico**

Perfil D3_P1. Los Cipreses

Ubicación: 43° 11' 55" S - 71° 39' 03" O

Altitud: 428 m s.n.m.

Pendiente: 80%

Orientación: Norte (10°)

Geomorfología: Flanco montaña -tercio inferior

Vegetación: Bosque de *Austrocedrus chilensis*

Oi	0-2 cm	Restos de hojas de radal, ciprés y helechos, ligeramente descompuestas.
Oe	2-5 cm	Restos de hojas de radal, ciprés y helechos, moderadamente descompuestas.
A	5-15 cm	Negro (10YR 2/1, h). Franco limosa lajosa. Granular, débil, media. 30% de fragmentos gruesos, subangulares subprimoidales, laja. Raíces abundantes, medias, en toda el área. Reacción al NaF: positiva (fuerte, rápida). Límite claro, plano.
C1	15-40 cm	Negro (10YR 2/1, h). Franca lajosa. Granular, débil, media. 30% de fragmentos gruesos, subangulares subprimoidales, laja. Raíces abundantes, gruesas, en toda el área. Reacción al NaF: positiva (fuerte, rápida). Límite abrupto, plano.
2C2	40 cm +	Para-bloques. 90% de fragmentos gruesos, bloques, andesita.

DATOS ANALÍTICOS

	DA (g cm ⁻³)	HE (%)	pH agua	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	MO (%)	N (g kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	CIC	Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Na ⁺	K ⁺
A	0,66	51,41	6,10	5,72	9,74	10,27	24,05	7,23	1,82	118	25,25	6,50	0,81	0,92
C1		29,20	6,52	5,59	10,92	11,61	13,49							



Tabla 1C

Suelos de régimen údico	Flanco de montaña
Material original:	Ceniza volcánica
Clasificación:	Hapludand vítrico

Perfil A. Trevelin Ubicación: 43° 02' 04,4" S - 71° 28' 55,3" O
 Altitud: 633 m s.n.m. Pendiente: 14%
 Orientación: NE (56°) Geomorfología: Flanco montaña -tercio medio
 Vegetación: Bosque de *Austrocedrus chilensis*

Oi	0-1 cm	Semillas de ciprés y hojas de ciprés y laura ligeramente descompuestas.
Oe	1-3 cm	Semillas de ciprés y hojas de ciprés y laura moderadamente descompuestas.
A	3-23 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, h). Arena franca. Granular, moderada, fina. Raíces comunes, finas, en toda el área. Reacción al NaF: positiva (instantánea y fuerte). Límite claro, plano.
ABw	23-48 cm	Pardo (10YR 4/3, h). Arena franca. Bloques subangulares medios, débiles, que rompen a granular fina. Raíces abundantes, medias, en toda el área. Reacción al NaF: positiva (instantánea y moderada). Límite gradual, plano.
Bw	48-75 cm	Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4, h). Franca. Granular, débil, media. 10% de fragmentos gruesos, subangulares, subdiscoidales, grava gruesa. Raíces comunes, gruesas, en toda el área. Reacción al NaF: positiva (instantánea y moderada). Límite claro, ondulado.
C	75-110 cm +	Pardo amarillento (10YR 5/4, h). Franco arcillo arenosa extremadamente gravosa gruesa. Masivo. 70% de fragmentos gruesos, subangulares, grava gruesa. Raíces pocas, gruesas, en la parte superior del horizonte. Reacción al NaF: positiva (instantánea y suave).

DATOS ANALÍTICOS

	DA (g cm ⁻³)	HE (%)	pH agua	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	MO (%)	N (g kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	CIC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
											(cmol _c kg ⁻¹)			
A	0,68	25,40	6,53	5,65	10,00	10,55	12,75	2,03	6,3	152	8,75	5,25	0,84	0,28
ABw			6,45		9,99	10,89	5,50							
Bw			6,36		9,80	10,61	3,94							
C		16,25	6,53	4,10	8,07	8,16	1,73							

Perfiles extraídos de: La Manna *et al.* (2007) (perfil A) y La Manna (2005b) (perfiles B y C). h: color en húmedo, s: color en seco; DA: densidad aparente; HE: humedad equivalente; MO: materia orgánica; N: nitrógeno total; P: fósforo disponible; CIC: capacidad de intercambio catiónico; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; K: potasio.

Profiles from: La Manna *et al.* (2007) (profile A) and La Manna (2005b) (profiles B and C). Soil color: h (wet), s (dry); DA: bulk density; HE: water retained at 1 atm; MO: organic matter; N: total nitrogen; P: available phosphorus; CIC: cations exchange capacity; Ca: calcium; Mg: magnesium; Na: sodium; K: potassium.

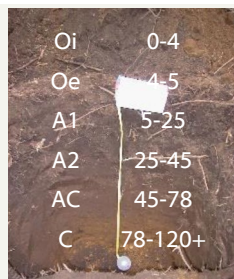
A2. Suelos de régimen hídrico údico. Valles.

Los suelos de valle, típicamente con pendientes suaves, menores a 5%, a diferencia de lo que ocurre en los faldeos, presentan una gran variedad de suelos, con marcadas diferencias en cortas distancias. En esta unidad se conjugan materiales parentales volcánicos y materiales aluviales con aporte de ceniza volcánica, y los suelos varían desde mal drenados a bien drenados, con presencia variable de fragmentos gruesos.

En estas áreas planas, existe una importante variación en el grado de alofanización de los suelos, dando lugar a la presencia de dos Órdenes distintos:

Andisoles y Molisoles. Los Andisoles evidenciaron la presencia de alofano a lo largo del perfil (*i.e.*, valores de pH NaF mayores a 9,2 (Tabla 2A, B, C, D), mientras que los Molisoles presentaron imogolita o bien haloisita (Irisarri, 2000) (Tabla 2E y F).

Las unidades taxonómicas que pueden encontrarse incluyen: Udivitrandes húmicos (Humic Udivitrands), Vitracuandes típicos (Typic Vitracuands), Udivitrandes ácuicos (Aquic Udivitrands), Hapludandes ácuicos (Aquic Hapludands), Hapludoles típicos (Typic Hapludolls) y Hapludoles líticos (Lithic Hapludolls) (Fig. 3, Tabla 2).

Tabla 2. Perfiles representativos de suelos de régimen de humedad údico en valles.**Table 2.** Representative profiles of soils developed in valleys under udic moisture regime.**Tabla 2A**

Material original: Aluvio mezclado con ceniza volcánica
Clasificación: Udivitrand húmico

Perfil E5-P1 - Burgos

Ubicación: 43° 9' 55,8" S - 71° 42' 18,4" O Altitud: 338 m s.n.m.

Pendiente: 5% Orientación: Sur (192°)

Geomorfología: Terraza Vegetación: Bosque de *Austrocedrus chilensis*

	Color	Textura	Frg. Gr. (%)	Redox	NaF
A1	10YR 2/1	F	0	-	+
A2	10YR 2/2	FI	0	-	+
AC	10YR 3/3	FA	0	-	+
C	10YR 4/2	Fa lajosa	20	-	+

	DA (g cm ⁻³)	HE (%)	pH agua	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	MO (%)
A1	0,58	39,18	6,74	5,82	9,34	9,84	19,13
A2	0,74	33,91	6,69	5,46	9,90	10,19	13,04
AC	0,89		6,33		10,69	11,12	10,07
C	1,22	22,80	6,33	4,82	11,08	11,43	3,15

Tabla 2B

Perfil 8B - Lago Verde

Ubicación: 42° 41' 24" S - 71° 42' 00" O

Pendiente: 2%

Geomorfología: Planicie

Altitud: 520 m s.n.m.

Orientación: N (335°)

Vegetación: Bosque de ñire, maitén, radal

Material original: Pumita
Clasificación: Udivitrand ácuico

	Prof.(cm)	Color	Textura	Frg. Gr. (%)	Redox	NaF
A	0-19	10YR 3/3	AF	0	-	+
AC	19-48	10YR 3/4	AF	0	-	+
C	48-70	10YR 4/4	AF	0	-	-

	DA (g cm ⁻³)	HE (%)	pH agua	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	MO (%)	CIC	Ca ²⁺ Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Na ⁺	K ⁺	
A	0,52	33,3	5,7	4,8	10,1	11,1	11,7	53	4,5	7,1	0,6	0,4
AC		21,8	5,9	5,0	10,3	11,1	6,6					
C		18,3	6,2	5,3	10,1	11,1	5,1					

Tabla 2C

Perfil 8 - Lago Verde

Ubicación: 42° 41' 24" S - 71° 42' 00" O

Pendiente: 0%

Geomorfología: Llanura de inundación

Altitud: 520 m s.n.m.

Orientación: -

Vegetación: Gramíneas

Material original: Ceniza volcánica
Clasificación: Vitracuand típico

	Prof. (cm)	Color	Textura	Frg. Gr. (%)	Redox	NaF
A	0-13	10YR 2/2	FA	0	-	-
C	13-80	10YR 3/2	AF	0	-	-
W	80+			0	+	

	DA (g cm ⁻³)	HE (%)	pH agua	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	MO (%)	CIC	Ca ²⁺ Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Na ⁺	K ⁺	
A	0,46	40,6	5,72	4,76	9,44	10,61	26,7	66	5,0	4,5	1,2	0,9
C		28,3	5,97	4,92	10,32	11,07	8,4					

Suelos volcánicos de la provincia del Chubut

Tabla 2D

Perfil E1-P2 – La Tapera		Material original: Ceniza volcánica					
Ubicación: 43° 10' 0,2" S - 71° 39' 13" O		Altitud: 317 m s.n.m.					
Pendiente: 2%		Orientación: SO (222°)					
Geomorfología: Llanura de inundación		Vegetación: Bosque de <i>Austrocedrus chilensis</i>					
	Prof. (cm)	Color	Textura	Frg. Gr. (%)	Redox	NaF	
Oi	0-2						
A	2-17	10YR 2/1	F	0	-	-	
AC	17-39	10YR 3/1	FI	0	-	+	
C	39-84+	10YR 3/3	Fal	0	+	+	
	DA (g cm⁻³)	HE (%)	pH agua	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	MO (%)
A	0,57	42,00	5,78	4,78	9,67	10,12	18,68
AC	0,67		6,27		10,76	11,18	14,75
C	0,61	44,08	5,92	4,74	10,82	11,22	8,62

Tabla 2E

Perfil 16 – La Portada		Material original: Depósito aluvial con aporte de ceniza											
Ubicación: 42° 56' 24" S - 71° 34' 48" O		Altitud: 568 m s.n.m.											
Pendiente: 2%		Geomorfología: Planicie											
Orientación: O (250°)		Vegetación: Gramíneas y arbustal nativo (ñire, retamo)											
	Prof. (cm)	Color	Textura	Frg. Gr. (%)	Redox	NaF							
O	0-1												
A	1-38	10YR 4/3	FI	5	-	-							
AC	38-54	10YR 4/4	FI	5	-	-							
C1	54-73	10YR 5/3	FI	10	-	-							
R	73+			100	+								
	DA (g cm⁻³)	HE (%)	pH agua	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	MO (%)	N (%)	CIC	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺	K⁺
A	1,03	24,5	6,26	4,94	9,22	9,70	6,4	0,36	18	9,5	7,4	0,6	0,3
AC		18,1	6,73	5,03	8,59	9,38	4,1						

Tabla 2F

Perfil 15 – La Portada		Material original: Depósito aluvial con aporte de ceniza										
Ubicación: 42° 55' 48" S - 71° 35' 24" O		Altitud: 555 m s.n.m.										
Pendiente: 1%		Geomorfología: Planicie										
Orientación: N (7°)		Vegetación: Maitén										
	Prof. (cm)	Color	Textura	Frg. Gr. (%)	Redox	NaF						
A	0-20	10YR 4/2	FIA	50	-	-						
C	20+			90	-							
	HE (%)	pH agua	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	MO (%)	N (%)	CIC	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺	K⁺
A	11,3	5,88	4,75	8,54	9,13	5,9	0,33	15	6,0	5,4	0,7	0,5

Perfiles extraídos de La Manna (2005b) (perfiles A y D) y La Manna *et al.* (2007) (perfiles B, C, E y F). Frg. Gr.: fragmentos gruesos; Redox: rasgos redoximórficos; NaF: reacción al fluoruro de sodio; DA: densidad aparente; HE: humedad equivalente; MO: materia orgánica; N: nitrógeno total; CIC: capacidad de intercambio catiónico; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; K: potasio.

Profiles from La Manna (2005b) (profiles A and D) and La Manna *et al.* (2007) (profiles B, C, E y F). Frg. Gr.: coarse fragments; Redox: redoximorphic features; NaF: sodium fluoride reaction; DA: bulk density; HE: water retained at 1 atm; MO: organic matter; N: total nitrogen; CIC: cations exchange capacity; Ca: calcium; Mg: magnesium; Na: sodium; K: potassium.

B. Transición Zona húmeda – subhúmeda. Régimen de humedad údico o xérico.

En esta zona de transición el paisaje que domina es de planicies y lomadas (Fig. 3). Los depósitos de ceniza volcánica se ubican típicamente sobre depósitos glaciarios. La profundidad a la que aparece la discontinuidad litológica, y las características texturales y de pedregosidad del material glaciario determinan una gran variedad de suelos, con frecuentes limitantes en el drenaje. En esta área de transición existe una gran variabilidad en el espesor del depósito de ceniza, siendo superior a 1 m en algunas zonas e inferior a 30 cm en otras. También es variable el grado de alofanización de la ceniza (ver Tabla 3) y el desarrollo del perfil, encontrándose desde suelos que presentan un horizonte Bw de 50 cm de espesor, hasta perfiles con una secuencia A/C (La Manna, 2005a).

Los suelos presentes en esta unidad incluyen Udivitrandes húmicos (Humic Udivitrands), Udivitrandes ácuicos (Aquic Udivitrands), Hapludandes ácuicos (Aquic Hapludands), Vitracuandes típicos (Typic Vitraquands), Hapludoles ándicos (Andic Hapludolls), Argiudoles ándicos (Andic Argiudolls), Hapludoles típicos (Typic Hapludolls), Hapludoles ácuicos (Aquic Hapludolls), Endoacuoles ácuicos (Aquandic Endoquolls) y Haploxeroles énticos (Entic Haploxerolls) (Irisarri *et al.*, 2000).

Algunos de estos taxones fueron ya representados en las otras unidades de suelos. La Tabla 3 muestra algunos perfiles representativos del área, que no suelen encontrarse en las otras unidades.

Tabla 3. Perfiles representativos de suelos de régimen de humedad transición údico-xérico, en paisaje de planicies y lomadas.

Table 3. Representative soil profiles of the transition udic-xeric moisture regime on plains and hills landscapes.

Tabla 3A

Suelos de régimen údico-xérico		Planicies y lomadas												
Material original:		Ceniza volcánica sobre depósitos glaciales												
Clasificación:		Hapludol ácuico												
Perfil A. C1.P1. Los Rifleros. Rowlands		Ubicación: 43° 12' 11,1" S - 71° 32' 30,2" O Altitud: 392 m s.n.m.												
Pendiente: 31%		Orientación: S-SO (196°)												
Geomorfología: Ladera de planicie glaciales		Vegetación: Bosque de <i>Austrocedrus chilensis</i>												
Oi	0-3 cm	Restos de hojas de ciprés y chaurilla ligeramente descompuestas.												
A	3-13 cm	Gris muy oscuro (10YR 3/1, h). Franco. Granular, fuerte, media a gruesa. Raíces abundantes, finas, en toda el área. Reacción al NaF: negativa. Límite claro, ondulado.												
AC	13-35 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, h). Franco limoso. Bloques subangulares débiles, medios, que rompen a granular. Raíces comunes, medias, en toda el área y pocas raíces muy gruesas en el piso del horizonte. Reacción al NaF: negativa. Límite gradual, ondulado.												
C1	35-50 cm	Gris oscuro (10YR 4/1, h). Franco arcilloso. Bloques subangulares, moderada, media. En el piso del horizonte hay un fragmento grueso, subangular, grava gruesa. Raíces pocas, gruesas, en toda el área. Reacción al NaF: negativa. Límite claro, ondulado.												
2C2	50-78 cm+	Pardo (10YR 5/3, h). Arcilloso. Bloques subangulares con tendencia a masivo, débil, gruesa. Raíces extremadamente pocas, medias, en la parte superior del horizonte. Abundantes rasgos redoximórficos, muy gruesos, precisos, concentraciones pardo amarillento oscuras (10YR 4/6), húmedas, irregulares (reacción al α, α -dipiridilo: positiva). Reacción al NaF: negativa.												
DATOS ANALÍTICOS														
	DA (g cm ⁻³)	HE (%)	pH agua	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	MO (%)	N (g kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	CIC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
											(cmol _c kg ⁻¹)			
A	0,93	26,69	6,49	4,49	8,49	8,89	11,09	2,63	12	132	13,63	9,25	0,84	0,67
AC		28,17	6,65	4,75	8,20	8,82	9,07							
C1	1,04		5,84		8,57	8,82	6,84							
2C2	1,47	26,05	5,71	4,06	8,07	8,62	3,84							

Tabla 3B

Suelos de régimen údico-xérico **Planicies y lomadas**
Material original: **Ceniza volcánica sobre depósitos glacifluviales**
Clasificación: **Argiudol ándico**

Perfil C3.P1. Los Rifleros. Berwin

Ubicación: 43° 12' 49" S - 71° 32' 46" O

Altitud: 490 m s.n.m.

Pendiente: 7%

Orientación: E-NE (75°)

Geomorfología: Ladera de planicie glacifluvial

Vegetación: Bosque de *Austrocedrus chilensis*

Oi	0-3 cm	Hojarasca de radal y ciprés ligeramente descompuesta.
A	3-20 cm	Gris muy oscuro (10YR 3/1, h). Franca. Bloques subangulares, moderada, media. Friable. Raíces comunes, gruesas, en toda el área. Masas y revestimientos oscuros de materia orgánica. Reacción al NaF: positiva (fuerte, rápida). Límite claro, ondulado.
C1	20-33 cm	Pardo oscuro (10YR 3/3, h). Franco arcillo limosa. Bloques subangulares, moderada, media. Friable. Raíces pocas, muy gruesas. Reacción al NaF: positiva (fuerte, rápida). Límite abrupto, plano.
2Bt	33-48 cm	Pardo (10YR 4/3, h). Franco arcillosa. Bloques subangulares, fuerte, gruesa. Firme. Raíces muy pocas, finas, entre agregados. Argilanes, marcados, comunes. Comunes rasgos redoximórficos, medios, precisos, masas y revestimientos superficiales pardos oscuros (7,5YR 4/4, h), irregulares. Reacción al NaF: negativa. Límite claro, plano.
2BC	48-63 cm	Pardo (10YR 4/3, h). Arcillosa. Bloques subangulares, fuerte, gruesa. Firme. Raíces muy pocas, finas, entre agregados. Argilanes, prominentes, abundantes. Abundantes rasgos redoximórficos, medios, precisos, masas y revestimientos superficiales pardos oscuros (7,5YR 4/4, h), irregulares. Reacción al NaF: negativa. Límite claro, plano.
2C2	63-100 cm+	Pardo (10YR 5/3, h). Arcillosa. Bloques subangulares, fuerte, gruesa. 5% de fragmentos gruesos, subangulares, grava media. Firme. Abundantes rasgos redoximórficos, medios, precisos, masas y revestimientos superficiales, pardos a pardo oscuros (7,5YR 4/3, h), irregulares. Reacción al NaF: negativa.

DATOS ANALÍTICOS

	DA (g cm ⁻³)	HE (%)	pH agua	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	MO (%)	N (g kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	CIC	Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Na ⁺	K ⁺
A	0,63	41,51	6,33	5,39	9,96	10,35	15,21	3,81	13	135	16,75	5,50	0,81	0,61
C1	0,77		5,70		10,21	10,70	9,70							
2Bt	1,09	30,36	5,48	4,14	9,31	9,61	5,98							
2BC			5,56	4,00	9,12	9,68	5,96							
2C2		32,80	5,46	3,50	8,38	9,42	4,73							

Tabla 3C

Suelos de régimen údico-xérico **Planicies y lomadas**
Material original: **Ceniza volcánica sobre depósitos glacifluviales**
Clasificación: **Haploxerol éntico**

Perfil 30 - L. El Cisne

Ubicación: 42° 23' 23,6" S - 71° 21' 36,4" O

Altitud: 710 m s.n.m.

Pendiente: 0%

Orientación: -

Geomorfología: Planicie glacifluvial

Vegetación: Plantación pino murrayana



Oi		Hojarasca de pino.
A	0-20 cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3, s). Franca arenosa. 70 - 90% de fragmentos gruesos. Grano suelto con tendencia a migajosa. Raíces muy abundantes. Límite neto y plano.
AC	20-34 cm	Pardo amarillento (10YR 5/4, s). Arenosa. 70 - 90% de fragmentos gruesos. Grano suelto. Raíces comunes. Límite neto y plano.
C	34-60 cm+	Pardo amarillento claro (10YR 6/4, s). Arenosa gruesa. 70 - 90% de fragmentos gruesos. Grano suelto.

Perfiles extraídos de: La Manna (2005b) (perfiles A y B) e Irisarri *et al.* (1995) (perfil C). h: color en húmedo; s: color en seco; DA: densidad aparente; HE: humedad equivalente; MO: materia orgánica; N: nitrógeno total; P: fósforo disponible - Bray; CIC: capacidad de intercambio catiónico; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; K: potasio.

Profiles from: La Manna (2005b) (profiles A and B) and Irisarri *et al.* (1995) (profile C). Soil color: h (wet), s (dry); DA: bulk density; HE: water retained at 1 atm; MO: organic matter; N: total nitrogen; P: available phosphorus by Bray; CIC: cations exchange capacity; Ca: calcium; Mg: magnesium; Na: sodium; K: potassium.

C. Zona subhúmeda. Suelos con déficit hídrico estival (régimen de humedad xérico).

Los suelos volcánicos con régimen de humedad xérico corresponden a un área subhúmeda, hacia el límite este de la Región Andino Patagónica, en donde se desarrolla una transición entre Andisoles y Molisoles ándicos. Los valores de pH NaF en los perfiles mostrados en la **Tabla 4** evidencian la presencia de suelos con imogolita (**Tabla 4A**), una transición imogolita-alofano (**Tabla 4D**) y suelos sin arcillas no cristalinas (**Tabla 4B**).

En la zona subhúmeda se conjugan distintas geomorfologías, incluyendo faldeos, fondos de valle y planicies glaciafluviales. La exposición, pendiente y microtopografía determinan la profundidad de los suelos, que mayormente varía entre 0,5 m y 1 m, aunque pueden encontrarse también suelos con mucha mayor profundidad.

La vegetación predominante es de pastizal, con distintos grados de arbustización, relacionado con el uso ganadero extensivo. Estos suelos sostienen también vegetación de bosques nativos, generalmente ralos, que se mantienen a modo de relictos en una matriz fuertemente antropizada (La Manna *et al.*, 2018a).

Las unidades taxonómicas que predominan son Vitrixerandes húmicos (Humic Vitrixerands), Vitrixerandes típicos (Typic Vitrixerands) y Haploxeroles vitrándicos (Vitrandic Haploxerolls). Sin embargo, hay grandes variaciones en el paisaje y han sido descriptos Udivitrands

húmicos (Humic Udivitrands), Haploxeroles típicos (Typic Haploxerolls), Haploxeroles énticos (Entic Haploxerolls) y Xerorthentes típicos (Typic Xerorthents) (Irisarri *et al.*, 1995, 2000). Algunos de estos taxones fueron ya representados en las otras unidades de suelos. La **Tabla 4** muestra perfiles representativos del área, que no suelen encontrarse en las otras unidades.

D. Zona semiárida. Suelos con déficit hídrico estival (régimen de humedad xérico o arídico).

En el sector semiárido (limitando con suelos del Orden Aridisoles), donde la vegetación es típica de estepa y ya prácticamente desaparece el bosque (**Fig. 3**), comienzan a dominar en los suelos otros materiales originales. Los depósitos de ceniza y arena volcánica que se han conservado están restringidos a ciertas posiciones del paisaje, muy protegidas de los vientos. Ya no se encuentran arcillas no cristalinas, y la arcilla dominante en los suelos volcánicos pasa a ser la haloisita (Colmet-Daage *et al.*, 1995).

En este sector fueron descriptos perfiles donde la ceniza volcánica, o bien la ceniza mezclada con material coluvial o aluvial, constituye el material original del suelo. Las unidades taxonómicas descriptas incluyen Xeropsamientos vitrándicos (Vitrandic Xeropsamments), Xerorthentes típicos (Typic Xerorthents), Haploxeroles énticos (Entic Haploxerolls) y Haploxeroles típicos (Typic Haploxerolls) (Irisarri *et al.*, 1995) (**Tabla 5**).

Tabla 4. Perfiles representativos de suelos de régimen de humedad xérico.**Table 4.** Profiles representative of xeric soil moisture regime.**Tabla 4A****Suelos de régimen xérico****Material original:****Ceniza volcánica****Clasificación:****Vitrixerand húmico**

Perfil 99 – Ea. El Cóndor

Ubicación: 43° 01' 50,5" S - 71° 19' 55,7" O

Altitud: 730 m s.n.m.

Pendiente: 10%

Orientación: SO

Geomorfología: Ladera

Vegetación: Neneo, coirón

A	0-12 cm	Pardo grisáceo (10YR 5/2, s) y gris muy oscuro (10YR 3/1, h). Arena franca. 40% de lapilli. Presencia de fragmentos gruesos de tamaño menor a 1 cm de diámetro. Migajosa con tendencia a grano suelto. Raíces muy abundantes. Límite neto y plano. Reacción al NaF: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 5 cm: 13 °C.
C1	12-76 cm	Pardo pálido (10YR 6/3, s) y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2, h). Arena franca. 30% de lapilli. 30% de fragmentos gruesos de tamaño menor a 1 cm de diámetro. Bloques subangulares, medios y finos, débiles con tendencia a grano suelto. Raíces muy abundantes. Límite neto y plano. Reacción al NaF: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 50 cm: 11,4 °C.
C2	76-92 cm	Pardo pálido (10YR 6/3, s) y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2, h). Arena franca. 20% de lapilli. 20% de fragmentos gruesos de tamaño menor a 2 cm de diámetro. Bloques angulares, medios, débiles con tendencia a masiva. Raíces muy abundantes. Límite neto y plano. Reacción al NaF: positiva (lenta y suave).
C3	92-99 cm	Gris parduzco claro (10YR 6/2, s) y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2, h). Franca arenosa. 20% de lapilli. 30% de fragmentos gruesos de tamaño igual a 4 cm de diámetro. Masiva. Raíces pocas. Límite brusco y plano.
C4	99-110 cm+	80% de fragmentos gruesos. Temperatura a los 100 cm: 10 °C.

DATOS ANALÍTICOS

	CC (%)	PMP (%)	pH pasta	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	Retención PO ₄ ³⁻ (%)
A	21,6	8,3	6,7	5,2	8,2	9,5	46
C1	21,1	10,4	7,0	5,2	9,3	9,6	57
C2	22,9	9,1	7,0	5,1	8,4	9,9	48
C3	19,3	9,2	7,0	5,1	8,0	9,1	47

**Tabla 4B****Suelos de régimen xérico****Material original:****Ceniza volcánica con coluvio****Clasificación:****Haploxerol vitrándico**

Perfil 237 - Camino a Suñiga

Ubicación: 43° 04' 43,6" S - 71° 18' 28,3" O

Altitud: 500 m s.n.m.

Pendiente: 80%

Orientación: Sur

Geomorfología: Ladera

Vegetación: Plantación roble europeo y *Pinus* sps.

A	0-33 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, s) y negro (10YR 2/1, h). Franca arenosa. 5% de fragmentos gruesos menores a 5 cm de diámetro. Masiva con tendencia a migajosa. Raíces muy abundantes. Límite neto y plano. Temperatura a los 5 cm: 13,9 °C. Reacción al NaF: negativa. Presencia de hifas de hongos.
C1	33-60 cm	Gris oscuro (10YR 4/1, s) y gris muy oscuro (10YR 3/1, h). Franca arenosa. 10% de fragmentos gruesos menores a 5 cm de diámetro. Masiva con tendencia a grano suelto. Raíces muy abundantes. Límite neto y plano. Temperatura a los 50 cm: 12,2 °C. Reacción al NaF: negativa. Presencia de hifas de hongos.
C2	60-95 cm+	Gris oscuro (10YR 4/1, s) y gris muy oscuro (10YR 3/1, h). Franca arenosa fina. 15% de fragmentos gruesos menores a 5 cm de diámetro. Masiva. Raíces muy abundantes. Temperatura a los 95 cm: 11,2 °C. Reacción al NaF: negativa.

DATOS ANALÍTICOS

	DA (g cm ⁻³)	pH agua	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	MO (%)
A	0,91	6,9	5,9	8,3	8,8	5,91
C1		6,9	5,7	8,2	8,4	
C2		7,0	5,4	8,0	8,3	

Tabla 4C

Suelos de régimen xérico

Material original: Ceniza volcánica sobre toba

Clasificación: Haploxerol típico



Perfil 152 - Pto. El Cajón
 Ubicación: 42° 27' 27,4" S - 71° 15' 39,3" O
 Altitud: 1.190 m s.n.m. Pendiente: 15%
 Orientación: Oeste Geomorfología: Ladera
 Vegetación: Coirón

A	0-20 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, s). Franca arenosa. Masiva con tendencia a bloques subangulares, finos. Raíces muy abundantes. Límite gradual y plano. Reacción al NaF: negativa. D. aparente: 0,85 g cm ⁻³
C1	20-30 cm	Pardo oscuro (10YR 3/3, s). Franca arenosa. Masiva. Raíces muy abundantes. Límite gradual y plano. Reacción al NaF: negativa.
2Bb	30-70 cm	Pardo grisáceo muy oscuro a pardo muy oscuro (10YR 2,5/2, s). Franca arcillosa. Prismas, grandes con tendencia a bloques, medios. Raíces comunes. Límite gradual y plano. Reacción al NaF: negativa. Temperatura a los 50 cm: 10,6 °C. D. aparente: 0,85 g cm ⁻³
2BCb	70-90 cm	Pardo fuerte (7,5YR 5/6, h). Franca arcillosa. 70% de fragmentos gruesos de 60 cm de diámetro. Masiva. Raíces pocas. Límite gradual y plano.
2C2	90-120 cm+	Roca alterada. Amarillo parduzco (10YR 6/6, h). Franca arcillosa. Masiva. Temperatura a los 100 cm: 10,7 °C. Reacción al NaF: negativa.

Tabla 4D

Suelos de régimen xérico**Material original:****Ceniza volcánica****Clasificación:****Xerorthent típico**

Perfil 151 - Pto. El Cajón

Ubicación: 42° 27' 25,7" S - 71° 15' 47,7" O

Altitud: 1.190 m s.n.m.

Pendiente: 16%

Geomorfología: Ladera baja

Orientación: Oeste (275°)

Vegetación: Acaena, coirón

A 0-30 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2, s) y pardo muy oscuro (10YR 2/2, h). Franca arenosa. Migajosa con tendencia a masiva. Friable en húmedo. Raíces muy abundantes. Límite gradual y plano. Reacción al NaF: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 10 cm: 2,7 °C.
C1 30-50 cm	Gris muy oscuro (10YR 3/1, s). Franca arenosa. Masiva con tendencia a grano suelto. Friable en húmedo. Raíces muy abundantes. Límite gradual y plano. Reacción al NaF: positiva (lenta y moderada). Temperatura a los 50 cm: 9,6 °C.
2Bb 50-90 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, s). Franca. Presencia de lapilli. Prismas, medios, moderados. Ligeramente duro en seco. Raíces comunes. Límite gradual y plano. Reacción al NaF: positiva (lenta y suave).
2C2 90-100 cm+	Pardo amarillento (10YR 5/4, s) y pardo amarillento oscuro (10YR 4/4, h). Franca. Ligeramente duro en seco. Raíces pocas. Reacción al NaF: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 100 cm: 8,3 °C.

DATOS ANALÍTICOS

	DA (g cm ⁻³)	CC (%)	PMP (%)	pH agua	pH KCl	pH NaF 2'	pH NaF 60'	Retención PO ₄ ³⁻ (%)
A	0,79	36,2	16,7	6,1	4,8	9,2	10,3	56
C1	0,74	37,5	19,4	6,2	4,9	8,9	10,6	48
2Bb	0,71	36,5	19,0	6,0	4,7	8,4	9,1	52
2C2	1,4	36,2	16,7	6,1	4,8	9,2	10,3	31

Perfiles extraídos de Irisarri *et al.* (1995) (perfiles A, C y D) e Irisarri *et al.* (2000) (perfil B). h: color en húmedo; s: color en seco; DA: densidad aparente; CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente; MO: materia orgánica; Retención PO₄³⁻: retención de fosfatos.

Profiles from: Irisarri *et al.* (1995) (profiles A, C and D) and Irisarri *et al.* (2000) (profile B). Soil color: h (wet), s (dry); DA: bulk density; CC: field capacity; PMP: permanent wilting point; MO: organic matter; Retención PO₄³⁻: phosphate retention.

Principales propiedades de los suelos volcánicos del Chubut

Morfología de los perfiles

En los suelos volcánicos de la provincia, en general, no se observa un gran desarrollo de horizontes, y los perfiles típicos son secuencias A/Bw/C o bien A/AC/C. El color de los suelos corresponde mayoritariamente al matiz (hue) 10YR, tanto en los horizontes superficiales como en profundidad. El horizonte A es típicamente de color oscuro, y hacia el oeste, los valores de luminosidad (value) e intensidad (chroma) resultan menores a 3 y 2, respectivamente (Tablas 1 y 2). Estos valores de luminosidad e intensidad indican colores oscuros, resultado del alto contenido

de materia orgánica (Wada, 1985). Asociado al gradiente edafo-climático, el color del horizonte superficial toma tonalidades más claras hacia el este de la distribución de los suelos volcánicos (Tablas 4 y 5).

Debajo del horizonte A, se observan frecuentemente colores pardo amarillento oscuros, asociados a los horizontes Bw. En algunas zonas es frecuente encontrar en profundidad colores más rojizos, incluso correspondientes al matiz 7,5YR, asociado a la coloración rojiza de la andesita (La Manna, 2005a).

Los suelos volcánicos son típicamente sueltos y fáciles de excavar. Esta característica se debe a su alta porosidad y a la baja cohesión de las arcillas no cris-

talinas (McDaniel *et al.*, 2012). En los horizontes A, donde las raíces y las hifas de los hongos generan un entramado, que facilita la estructuración del suelo, los agregados conforman típicamente estructuras granulares o migajosas. En los horizontes subsuperficiales, en cambio, estos suelos suelen no presentar una estructura definida, y conforman granos sueltos o son masivos (ver, por ejemplo, **Tablas 1A, 2A**).

Hacia el oeste, es frecuente encontrar suelos volcánicos enterrados, correspondientes a sucesivos eventos volcánicos, con diferencias texturales respecto al suelo suprayacente (López *et al.*, 1993).

Profundidad y drenaje

Las raíces de las plantas, ya sean árboles, arbustos o herbáceas, pueden penetrar sin mayor dificultad el material volcánico. Las grandes va-

riaciones en los suelos, las limitantes en profundidad y drenaje, están dadas por el material sobre el cual se depositó la ceniza. Así, en las zonas de faldeos, las pendientes pronunciadas y las exposiciones expuestas a los vientos, pueden determinar un depósito somero de ceniza que limita la profundidad efectiva (por ejemplo, el perfil de la **Tabla 1B**, en el cual la ceniza se depositó sobre roca andesítica). Por el contrario, los microrrelieves cóncavos y las exposiciones protegidas determinan suelos profundos (**Tabla 1A y C**).

En las zonas de valle, la presencia de material aluvial, sus características granulométricas y la profundidad de la freática en relación a los cursos de agua y capas impermeables, condicionan las características de los suelos. Así, pueden encontrarse depósitos de ceniza de diferente espesor, sobre material rocoso, dando lugar a un Hapludol lítico (Lythic Hapludoll) o bien a un Hapludol tí-

Tabla 5. Perfiles representativos de suelos de régimen de humedad transición xérico-árido.

Tabla 5. Profiles representative of the transition xeric-aridic soil moisture regime.

Tabla 5A


		Zona Semiárida									
		Material original:	Arena volcánica								
		Clasificación:	Xeropsament vitrándico								
		Perfil Camino a Gualjaina Ubicación: 42° 47' 47" S - 70° 50' 55" O Altitud: 800 m s.n.m. Pendiente: 10% Orientación: Este									
				Geomorfología: Ladera							
				Vegetación: Neneo, calafate, molle, coirón							
		A	0-30 cm	Pardo grisáceo (10YR 5/2, s). Arenosa. Bloques subangulares con tendencia a suelto. Raíces finas, comunes. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Reacción al HCl: negativa.							
AC	30-55 cm	Pardo (10YR 5/3, s). Arenosa. Bloques subangulares con tendencia a suelto. Raíces finas y medias. Reacción al FNa: positiva (muy lenta y suave). Reacción al HCl: negativa.									
C	55-100 cm+	Pardo amarillento (10YR 5/5, s). Arenosa. Grano suelto. Raíces finas y medias, escasas. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Reacción al HCl: negativa.									
DATOS ANALÍTICOS											
	DA (g cm ⁻³)	Frg. Gr. (%)	CC (%)	pH agua 1:2,5	pH Hid. 1:5	CE (μs cm ⁻¹)	pH FNa 2'	pH FNa 60'	MO (%)		
A	1,21	8	16,2	7,8	7,5	36	7,6	8,1	1,8		
AC		7	17,9	7,5	7,5	30	7,5	7,6	2,0		
C		9	17,4								

Tabla 5B



Zona Semiárida
Material original: Ceniza volcánica
Clasificación: Xerorthent típico

Perfil 182 - Ea. Suñiga
 Ubicación: 43° 02' 04,9 S - 71° 04' 43,4" O Altitud: 720 m s.n.m.
 Pendiente: 20% Geomorfología: Ladera
 Orientación: N-NE Vegetación: Neneo, coirón

A	0-26 cm	Pardo oscuro (10YR 3/3, h). Arena franca. 5% de fragmentos gruesos de tamaño menor a 1 cm de diámetro. Migajosa. Raíces comunes. Límite neto y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 6,2 °C
C1	26-70 cm	Pardo oscuro (10YR 3/3, h). Franca arenosa gruesa. 5% de fragmentos gruesos de tamaño igual o menor a 3 cm de diámetro. Raíces pocas. Límite neto y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 7,2 °C.
C2	70-113 cm+	Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4, h). Franca arenosa. 30% de fragmentos gruesos de tamaño igual o menor a 10 cm de diámetro. Bloques angulares, medios, moderados. Raíces muy pocas. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 100 cm: 9,5 °C.

Tabla 5C

Zona Semiárida
Material original: Ceniza volcánica y sedimentos glacifluviales
Clasificación: Haploxerol éntico



Perfil 91 - Ea. Suñiga
 Ubicación: 43° 10' 19,7" S - 71° 04' 51,1" O
 Altitud: 700 m s.n.m.
 Pendiente: 7% Geomorfología: Ladera
 Orientación: Oeste
 Vegetación: Plantación de pino ponderosa

Oi	0-4 cm	Raíces muy abundantes.
Oe	4-10 cm	Raíces muy abundantes. Límite neto y plano.
A	10-30 cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3, s) y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, h). Franca arenosa fina. 60% de fragmentos gruesos. Migajosa, fina, muy débil. Raíces muy abundantes. Límite neto y plano. Reacción al FNa: negativa.
C	30-70 cm+	Pardo grisáceo (10YR 5/2, s) y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2, h). Franca arenosa media. 60% de fragmentos gruesos. Bloques subangulares, finos, débiles con tendencia a masiva. Raíces muy abundantes. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 14,7 °C.

Perfiles extraídos de: Base de Datos de Suelos CEAI-FI-UNPSJB (perfil A) e Irisarri *et al.* (1995) (perfiles B y C). h: color en húmedo; s: color en seco; DA: densidad aparente; Frg. Gr.: fragmentos gruesos; CC: capacidad de campo; pH Hid.: pH hidrolítico (1:5); CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica. Profiles from: CEAI-FI-UNPSJB soil data base (profile A) and Irisarri *et al.* (1995) (profiles B and C). Soil color: h (wet), s (dry); DA: bulk density (g cm⁻³); Fr. Gr.: coarse fragments; CC: field capacity; pH Hid: pH water (1:5); CE: electric conductivity; MO: organic matter.

pico (Typic Hapludoll) (ver perfiles en **Tabla 2E** y **F**). Pueden encontrarse también materiales de texturas más finas, perfiles donde se entremezclan material aluvial y ceniza, y es frecuente encontrar condiciones ácuicas y gradaciones en las limitantes de drenaje (ver perfiles en **Tabla 2C** y **D**).

En el área de planicies y lomadas, modelada por la acción glaciaria, el drenaje de los suelos está fuertemente influenciado por la granulometría del material glaciario y la profundidad de la discontinuidad litológica (**Tabla 3**). El alto contenido de arcilla muchas veces constituye una limitante para el crecimiento en profundidad de las raíces. Los perfiles descriptos pueden presentar rasgos redoximórficos a distintas profundidades, que señalan la alternancia marcada de períodos de desecación y saturación con agua (**Tabla 3**). En este paisaje es frecuente encontrar también suelos desarrollados a partir del material glaciario, sin influencia de ceniza, los cuales no fueron considerados en este trabajo. Dichos suelos suelen presentar arcillas esmectitas y características vérticas (La Manna *et al.*, 2004).

En el sector subhúmedo la profundidad de los depósitos de ceniza y así, la profundidad efectiva de los suelos, varía en función de la posición en el paisaje y la topografía. Dominan texturas medias a gruesas, y los suelos son generalmente bien drenados (**Tabla 4**). Las limitaciones de drenaje están mayoritariamente restringidas a las planicies de inundación, donde predominan materiales aluviales. En la zona semiárida los “suelos de ceniza”, restringidos a posiciones particulares del paisaje, tienen variada profundidad y son bien drenados. La capacidad de retener agua y formar complejos con la materia orgánica, aunque es limitada dado que el suelo posee arcillas cristalinas, determina suelos más fértiles que los descriptos en la estepa circundante (Irisarri *et al.*, 1995).

En toda el área de suelos volcánicos de Chubut es variable la influencia de fragmentos gruesos en los perfiles, ya sean de origen glaciario, aluvial, o coluvial, y el volumen que ocupan en el perfil es determinante de la capacidad real del suelo para

el desarrollo de raíces y la disponibilidad de agua (Irisarri *et al.*, 2000).

Propiedades físicas

Textura

La granulometría del material original de los suelos bajo estudio está determinada por las características de la erupción volcánica y la distancia al volcán (Colmet-Daage *et al.*, 1988; Finocchiaro *et al.*, 2010, 2012). Si bien las texturas que predominan en Chubut son gruesas (franco arenosas a arenosas) (Irisarri *et al.*, 2000) o intermedias (franco limosas a franco arenosas) (La Manna *et al.*, 2018b), la granulometría puede variar ampliamente en muy poca distancia (La Manna *et al.*, 2018a). Las variaciones en la granulometría de los suelos de Chubut parecen no estar sólo relacionadas con la textura del material original, sino también con procesos de erosión de mediano y largo plazo. Así, existe un enriquecimiento, en el horizonte superficial, en fracciones finas, limo y arcilla, a lo largo de laderas degradadas (La Manna *et al.*, 2018a).

En los suelos volcánicos, donde la materia orgánica y la fracción mineral se combinan de manera muy estable, se forman microagregados del tamaño del limo o arena, difíciles de dispersar (Warkentin & Maeda, 1980; Wada, 1985; La Manna *et al.* 2016a). Estos microagregados se comportan como una partícula más gruesa que enmascara la granulometría verdadera del suelo (*i.e.*, pseudo-limos o pseudoarenas).

En los suelos de régimen hídrico údico, las texturas condicionan también la clasificación taxonómica de los Andisoles, permitiendo distinguir Udandes y Vitrandes (Frugoni, 2004) (**Tabla 1**). La textura incide en otras propiedades de los suelos volcánicos, como la formación de complejos con la materia orgánica, la capacidad de retener agua, y la facilidad para conformar arcillas no cristalinas (Besoain, 1985; McDaniel *et al.* 2012).

Porosidad

Los horizontes superficiales presentaron densidades aparentes muy bajas, mayoritariamente

con valores inferiores a $0,9 \text{ g cm}^{-3}$ (Tablas 1, 2, 3 y 4), que implican valores de porosidad superiores a 65%. La baja densidad aparente es uno de los criterios que utiliza el USDA para clasificar a los suelos como Andisoles (Soil Survey Staff, 2014). Los bajos valores hallados son el resultado de altos contenidos de materia orgánica y/o la presencia de aluminosilicatos no cristalinos, los cuales presentan baja densidad (Warkentin & Maeda, 1980). El alofano y la imogolita aparecen en el microscopio electrónico como nanopartículas de esferas huecas, y de túbulos huecos, respectivamente. El “ensamblaje” de esas esferas huecas y nanotúbulos en dominios agregados y progresivamente más grandes, determina una agregación muy estable, que resulta en baja densidad y alta porosidad (McDaniel *et al.*, 2012). En la zona semiárida, donde los contenidos de materia orgánica disminuyen y ya no se detectan aluminosilicatos no cristalinos, la densidad aparente se incrementa (ver Tabla 5A).

Retención hídrica

Una de las características distintivas de los suelos volcánicos es su gran capacidad de almacenar agua. Los valores de agua útil (*i.e.*, diferencia entre capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP)) de los suelos de la Región Andino Patagónica son mayores que los esperados para los suelos en general, por ejemplo, de acuerdo al modelo de Saxton & Rawls (2006) (La Manna *et al.*, 2018b). La capacidad de retención de agua en suelos volcánicos depende fundamentalmente de la textura y de la presencia o no de aluminosilicatos no cristalinos (Dahlgren *et al.*, 2004). Perfiles analizados en una transecta oeste-este, muestran valores de CC y PMP de 65 y 40%, en suelos alofánicos y de 45 y 20-30% en suelos con arcillas cristalinas (Colmet-Daage *et al.*, 1993).

Estudios en bosques de ciprés de la cordillera encontraron valores de retención hídrica significativamente más bajos en suelos de pumita que en suelos de ceniza (La Manna, 2005a). En los perfiles de régimen de humedad údico en los flancos de la montaña, detallados en la Tabla 1, se observa

que el horizonte A de textura franco limosa (Tabla 1B), alcanza un valor de humedad equivalente de 51%, siendo casi el doble que el registrado en los horizontes A de texturas franco arenosa y areno franca (Tabla 1A y C). Por otra parte, en los suelos de la transición údico-xérico, los valores de humedad equivalente varían fuertemente en horizontes A de textura franca, con valores entre 26 y 41%, de acuerdo a si presentan o no arcillas no cristalinas (Tabla 3A y B). Los perfiles de régimen xérico, con presencia de arcillas no cristalinas (Tabla 4A y D) presentan valores de CC superiores a los registrados en la zona semiárida, sin presencia de estas arcillas (Tabla 5A).

Erodabilidad

Ensayos de lluvia simulada evidenciaron que cuando el suelo queda desnudo, es altamente vulnerable a la erosión (La Manna *et al.*, 2016b). Las tasas de erosión potencial registradas en el área de ecotono de la Región Andino Patagónica, correspondiente a la zona semihúmeda con suelos de régimen xérico, son incluso muy superiores a las registradas en áreas de estepa degradada del este de la provincia (Rostagno, 1989). A diferencia de lo que ocurre en otros suelos, el proceso de erosión en suelos volcánicos no involucra a las partículas individuales, sino a microagregados de suelo, altamente estables, que pueden estar enriquecidos en partículas finas (Poulenard *et al.*, 2001; Rodríguez Rodríguez *et al.* 2002). Así, estudios a lo largo de laderas degradadas, evidenciaron un enriquecimiento en fracciones finas, limo y arcilla, hacia la base de la ladera (La Manna *et al.*, 2018a), coincidente con una remoción selectiva de partículas por erosión (Kwaad, 1977; Navas *et al.*, 2017).

Estudios recientes en el sector subhúmedo de Chubut, basados en técnicas radiométricas, permitieron estimar la pérdida de al menos 15 cm de suelo en los últimos 50 años en la mayoría de los sitios de estudio, incluyendo muestras tomadas en pastizal arbustizado, plantación de pinos exóticos en un área previamente degradada y bosquetes nativos abiertos y degradados (La Manna *et al.*,

2019). Este valor equivale a una tasa de erosión de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, muy superior a las tasas de formación de suelo en áreas protegidas por vegetación, que se estimó en valores cercanos a $1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, resultante tanto de la meteorización mineral como de la deposición de partículas (Tarabini *et al.*, 2019). Establecer tasas de erosión tolerables requiere un balance entre las tasas de formación y de pérdida de suelo (Verheijen *et al.*, 2009). La combinación de la alta erodabilidad de los suelos volcánicos y las malas prácticas de manejo y uso de la tierra, han generado pérdidas de suelo alarmantes en el área de ecotono de Chubut. La clave, como ocurre en otros suelos alrededor del mundo, es la cobertura del suelo (Geißler *et al.*, 2012; El Kateb *et al.*, 2013; Montenegro *et al.*, 2013). Así, cuando el suelo cuenta con la protección continua de un mantillo, tanto en áreas de bosque nativo, como en plantaciones de coníferas introducidas, las tasas de erosión potencial pasan a ser mínimas (Morales *et al.*, 2013; La Manna *et al.*, 2016b).

Mineralogía de los suelos

En áreas de suelos volcánicos la composición mineralógica suele ser muy variable, y puede cambiar de un volcán a otro, aún en cortas distancias y en un mismo volcán a través del tiempo (Colmet-Daage *et al.*, 1988). Cuanto más básica es la composición de la ceniza volcánica, más fácilmente se logra la síntesis de arcillas no cristalinas. La velocidad de formación del alofano y su cantidad están controladas por la composición mineral y por el tamaño de los materiales piroclásticos (Besoin, 1985). Dada la gran superficie específica de la ceniza volcánica, los procesos edafogenéticos pueden desarrollarse en un tiempo relativamente corto, de unas pocas centenas a miles de años, de acuerdo a las condiciones ambientales y a la naturaleza química de las tefras (Shoji *et al.*, 1993).

Estudios mineralógicos de la fracción arena coinciden en caracterizar la composición de las cenizas como de naturaleza mesosilícica (López *et al.*, 1992; Valenzuela *et al.*, 2002). Los minerales pesados (densidad $> 2,8 \text{ g cm}^{-3}$) representan en-

tre el 5 y el 10%, con predominancia de piroxenos. En tanto la fracción liviana, que representa entre el 90 y 95%, está mayoritariamente conformada por componentes no cristalinos, vidrio volcánico y pasta hialopilitica (Valenzuela *et al.*, 2002). De manera similar, el estudio de la ceniza reciente del volcán Chaitén, en muestras tomadas en distintas localidades de Chubut, determinó la presencia predominante de minerales no cristalinos; y cuarzo, cristobalita y plagioclasa como componentes minoritarios (Lapido, 2008). El vidrio volcánico suele ser el material preponderante en la fracción gruesa de los suelos volcánicos. El mismo se meteoriza relativamente rápido para producir una fracción coloidal fina (1-100 nm) dominada por minerales no cristalinos (*i.e.*, alofano, imogolita) (McDaniel *et al.*, 2012).

Los suelos volcánicos comúnmente reciben aportes de nuevo material, lo cual genera una “*pedogénesis ascendente*” (“*upbuilding pedogenesis*”) (McDaniel *et al.*, 2012). Esto es evidente en Chubut, tanto por las recientes erupciones de los volcanes Chaitén (2008) y Puyehue (2011), que dejaron su impronta en los suelos (Finochiaro *et al.*, 2012; Tarabini *et al.*, 2019), como por los altos contenidos de vidrio volcánico mínimamente alterado, que sugieren una meteorización ligera de la ceniza, continuamente modificada por la contribución de cenizas frescas (Valenzuela *et al.*, 2002).

La formación de arcillas no cristalinas está condicionada no sólo por la mineralogía, sino también por las precipitaciones y el drenaje (Besoin, 1985; Parfitt & Wilson, 1985). Así, el gradiente edafoclimático oeste-este característico de la Región Andino Patagónica (alofano -imogolita - haloisita; Andisoles-Molisoles ándicos-Molisoles) (Colmet-Daage *et al.*, 1988), se aprecia, en términos generales, también en la provincia del Chubut (Fig. 3).

La Fig. 4 muestra los valores de pH NaF a los 60 minutos y su interpretación de acuerdo a Irisarri (2000), abarcando un gradiente de precipitación de 1.200 mm, hacia el oeste, hasta 500 mm en el límite este. Cuando las precipitaciones son mayores a 1.000 mm aproximadamente, los suelos presentan minera-

les no cristalinos, con predominancia de alofano. Por el contrario, cuando las precipitaciones son inferiores a *ca.* 600 mm no hay evidencia de alofano. En la zona intermedia, en tanto, es muy variable el grado de alofanización de los suelos, y la formación de arcillas no cristalinas está fuertemente determinada por la posición en el paisaje, las características del material sobre el cual se depositó la ceniza (Tablas 2, 3 y 4), y la granulometría y mineralogía del material volcánico (Besoain, 1985).

En esta área intermedia el uso de la tierra también puede ser determinante de la presencia o no de arcillas no cristalinas, al menos en superficie. Cuando el suelo mineral queda expuesto a la desecación, los minerales no cristalinos pueden reorganizarse y evolucionar hacia la formación de minerales cristalinos como la haloisita (Parfitt & Wilson, 1985), reduciendo así la estabilización de la materia orgánica, e incrementando la mineralización y pérdida de carbono (Hernández *et al.*, 2012) y disminuyendo su capacidad de retención hídrica (Colmet-Daage *et al.*, 1995). Estudios realizados en Chubut evidenciaron que el reemplazo de bosque nativo en el área subhúmeda generó la pérdida de arcillas no cristalinas en superficie y la disminución de los contenidos de materia orgánica (La Manna *et al.*, 2018a). También se evidenció la pérdida de arcillas no cristalinas en superficie, como consecuencia de la desecación, en pastizales arbustizados con alta pre-

sión ganadera, cuyos suelos aún conservan arcillas no cristalinas en los horizontes subsuperficiales (Vogel & La Manna, 2018).

Propiedades químicas **Suelos de régimen de humedad údic y transición údic-xérico**

Una de las claves de la alta fertilidad de los Andisoles es la acumulación de materiales orgánicos de color oscuro, que puede llevar a la formación de epipedones melánicos (Soil Survey Staff, 2014). El término “*ando*” proviene del japonés, y significa “*suelo oscuro*” (Takahashi *et al.*, 1994). Existe una relación positiva entre el contenido de materia orgánica y el contenido de minerales no cristalinos (Wada, 1985). Esta asociación puede ser explicada por la gran superficie específica de los minerales no cristalinos, que favorece la estabilización de la materia orgánica, a través de un efecto positivo sobre los procesos de humificación (Calabi-Floody *et al.*, 2011), la protección del ataque microbiano (Buurman *et al.*, 2007) y la protección de metabolitos producidos en la descomposición (Hernández *et al.*, 2012).

Así, hacia la zona húmeda, donde predominan Andisoles y el régimen hídrico de los suelos es údic o bien una transición údic-xérico, los valores de materia orgánica en el horizonte superficial superan ge-

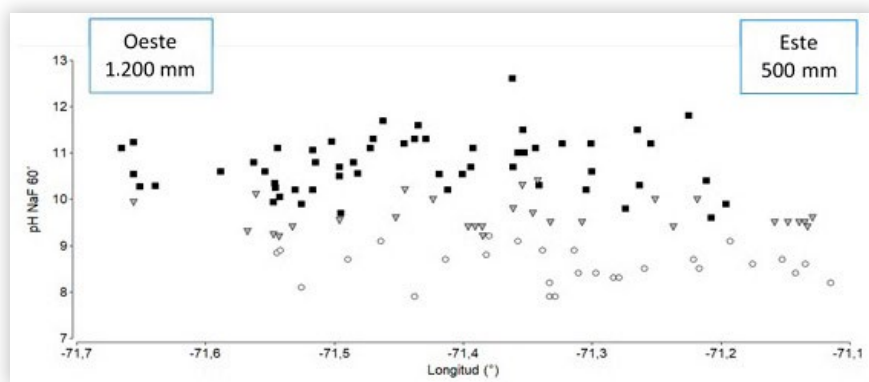


Figura 4. Valores de pH NaF a los 60 minutos en suelos volcánicos de Chubut en función de la ubicación geográfica, abarcando un intervalo de precipitación de 500 a 1.200 mm. Se distinguen suelos con alofano (cuadrado), imogolita (triángulo invertido) y haloisita (círculo), de acuerdo a Irisarri (2000). Datos extraídos de Base de Datos de Suelo del CEAI-FI-UNPSJB.

Figure 4. pH NaF values at 60 minutes for volcanic soils from Chubut province as function of geographical position, covering an annual precipitation range from 500 to 1,200 mm. Soils with allophane (square), imogolite (inverted triangle) and haloisite (circle), are identified, according to Irisarri (2000). Source: CEAI-FI-UNPSJB Soil database.

neralmente el 15% (Tablas 1, 2 y 3). La acumulación de materia orgánica en los suelos volcánicos determina también altas relaciones C/N, que resultan en la zona húmeda superiores a 20 (Morales & La Manna, 2011). En Andisoles de régimen údico de la provincia de Neuquén se encontraron relaciones C/N similares, con valores entre 16 y 20 (Broquen *et al.*, 2005).

Las especies forestales nativas de Patagonia presentan importantes diferencias en la calidad de la hojarasca y en las tasas de mineralización potencial de nitrógeno (Mazzarino *et al.*, 1998; Satti *et al.*, 2003), lo cual puede condicionar también la fertilidad química del suelo (Satti *et al.*, 2007; Diehl *et al.*, 2008).

La Tabla 6 muestra información sobre las propiedades químicas de los suelos del oeste de la provincia del Chubut, correspondientes a suelos volcánicos con presencia de arcillas no cristalinas (alofano). Los valores de materia orgánica, N y CIC son típicamente altos en estos suelos. La alta porosidad de los suelos volcánicos determina una gran superficie específica, y una alta capacidad de intercambio catiónico, que generalmente es superior a $50 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (McDaniel *et al.*, 2012). Los valores de pH en agua son ligeros a moderadamente ácidos (Tabla 6), y el pH potencial (pH KCl) es cercano al pH en agua (ver Tabla 1) (Colmet-Daage *et al.*, 1993). Los suelos alofánicos raramente

Tabla 6. Caracterización química de horizontes A de suelos volcánicos del oeste de la provincia del Chubut.

Table 6. Chemical characterization of the A horizon of volcanic soils from the west of Chubut province, Argentina.

	ZONA			
	Húmeda		Húmeda / Subhúmeda	
	RÉGIMEN DE HUMEDAD			
	Údico		Údico-Xérico	
	TOPOGRAFÍA			
	Flancos de montaña		Valles	Planicies y lomadas
	MATERIAL ORIGINARIO			
	Ceniza volcánica	Pumita	Ceniza volcánica y material aluvial	Ceniza volcánica
MO (%)	13,6 ± 3,2	12,6 ± 2,0	18,1 ± 2,7	16,3 ± 1,5
N (%)	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1
C/N	20,6 ± 1,7	27,3 ± 8,7	18,5 ± 3,1	19,4 ± 2,2
P Bray (mg kg^{-1})	7,0 ± 2,2	1,6 ± 0,3	4,6 ± 1,3	8,2 ± 1,9
S (mg kg^{-1})	111,0 ± 14	63,3 ± 6,5	99,9 ± 8,2	115,8 ± 4,3
Ca ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	13,6 ± 2,5	6,3 ± 2,1	16,6 ± 2,1	16,0 ± 0,9
Mg ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	4,9 ± 0,6	3,9 ± 1,3	6,1 ± 0,6	7,2 ± 0,6
K ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,7 ± 0,1	0,3 ± 0,02	0,8 ± 0,2	0,6 ± 0,1
Na ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,5 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,04
CIC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	139,5 ± 16,2	114,7 ± 13,8	191,2 ± 23,0	167,4 ± 15,8
Suma Bases ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	19,6 ± 2,9	19,6 ± 2,9	24,1 ± 2,8	25,7 ± 0,8
Saturación Bases (%)	14,8 ± 2,8	10,8 ± 2,8	13,2 ± 1,8	15,9 ± 1,2
pH FNa 2'	9,7 ± 0,2	10,1 ± 0,2	9,4 ± 0,4	9,5 ± 0,4
pH FNa 60'	10,2 ± 0,2	10,4 ± 0,2	10,0 ± 0,4	9,7 ± 0,4
pH actual	6,0 ± 0,1	5,9 ± 0,1	5,8 ± 0,1	5,9 ± 0,1

Valores extraídos de la Base de Datos de Suelos CEAI-FI-UNPSJB. MO: materia orgánica; N: nitrógeno total; C/N: relación carbono - nitrógeno; P: fósforo disponible; S: azufre; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; K: potasio. CIC: capacidad de intercambio catiónico.

Data from CEAI-FI-UNPSJB soil database. MO: organic matter; N: total nitrogen; C/N: carbon - nitrogen relationship; P: available phosphorus; S: sulphur; Ca: calcium; Mg: magnesium; Na: sodium; K: potassium; CIC: cations exchange capacity.

presentan pH extremadamente ácido, debido a su alta capacidad buffer (Nanzzyo *et al.*, 1993).

Los suelos alofánicos presentaron altos contenidos de magnesio (Mg^{2+}), niveles de calcio (Ca^{2+}) intermedios y niveles bajos de potasio (K^+) y sodio (Na^+) (**Tabla 6**), de acuerdo a valores de referencia para la región (La Manna *et al.*, 2011). El calcio y el sodio son los elementos más móviles y suelen ser fácilmente lavados en los suelos volcánicos (Nanzzyo *et al.*, 1993). Así, los niveles de Na^+ fueron siempre muy bajos, y los contenidos de Ca^{2+} variaron de bajos a medios, en función de la condición de drenaje (Morales & La Manna, 2011). En tanto el contenido de potasio es típicamente muy variable en Andisoles, de acuerdo al contenido de este mineral en las cenizas (Yamada & Shoji, 1983). Los niveles de fósforo (P) disponible son típicamente bajos en los suelos volcánicos alofanizados (**Tabla 6**). Los Andisoles son considerados suelos de alta fertilidad con una provisión adecuada de nutrientes, excepto el fósforo. Los compuestos de Fe y Al activo, es decir, las arcillas no cristalinas, tienen la capacidad de adsorber y unirse fuertemente a aniones como el fosfato (Shoji *et al.*, 1993; Dahlgren *et al.*, 2004). Gran parte de esta adsorción no es reversible, lo que determina bajos niveles de P disponible. De hecho, como se mencionó anteriormente, la retención de fosfatos en los suelos se utiliza para definir las propiedades ándicas (Soil Survey Staff, 2014), y los estudios en el oeste del Chubut muestran valores superiores al 90% de retención (Colmet-Daage *et al.*, 1995).

Suelos de régimen de humedad xérico y transicional xérico-árido

Si bien es muy escasa la información sobre las propiedades químicas de los suelos volcánicos hacia el este de su distribución en la provincia del Chubut, hay algunos datos disponibles. En la zona subhúmeda, con suelos de régimen xérico, en áreas conservadas de bosque nativo, los contenidos de materia orgánica son altos (*ca.* 12%) (La

Manna *et al.*, 2018a), y disminuyen en pastizales y plantaciones de coníferas exóticas, con valores generalmente entre 5 y 7% (Buduba, 2006; La Manna *et al.* 2016b; Buduba *et al.*, 2017). En la zona semiárida, en tanto, los contenidos de materia orgánica disminuyen, asociado a la disminución del aporte orgánico y a la falta de arcillas no cristalinas (ver **Tabla 5**). En suelos volcánicos de Neuquén la relación C/N disminuye en suelos de régimen xérico (Xerandes y Xeroles), respecto a los Andisoles de régimen údico, registrando valores entre 9 y 12 (Broquen *et al.*, 2005). Estos resultados fueron relacionados con el mayor valor C/N de las hojas senescentes y el mantillo de los bosques, respecto a los arbustos de la estepa (Mazzarino *et al.*, 1998). Si bien la información en suelos del Chubut es escasa, estudios en pastizales arbustizados han encontrado relaciones C/N tan altas como las halladas en suelos de régimen údico, con valores cercanos a 20 (Vogel & La Manna, 2018).

En la zona subhúmeda, el pH de los suelos tiende a incrementarse levemente, acercándose a la neutralidad (**Tabla 4**) y alcanzando valores medianamente básicos en el límite este de la distribución de los suelos volcánicos (**Tabla 5**). En relación al incremento de pH, es esperable un mayor porcentaje de bases en el complejo de intercambio. Así, en una transecta oeste-este a 43° Sur, los valores de $Ca+Mg$ de cambio variaron de $8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ en los bosques del oeste a $30 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ en la transición hacia la estepa (Colmet-Daage *et al.*, 1993). A su vez, hacia el límite este, la predominancia de suelos con haloisita (**Fig. 4**) y el menor contenido de materia orgánica, determina menores valores de CIC.

CONCLUSIONES

Los suelos volcánicos de la provincia del Chubut siguen el patrón oeste-este, régimen de humedad údico-xérico, Andisoles - Molisoles ándicos - Molisoles, con importantes variaciones a pequeña escala, relacionadas con la posición en el paisaje, la profundidad y granulometría de los

depósitos volcánicos y las características del material subyacente.

Si bien en este capítulo se intenta resumir la información disponible, existen importantes vacíos de información o datos incompletos en aspectos relacionados con la química y biología de los suelos, micromorfología, pedogénesis y taxonomía.

A su vez, teniendo en cuenta la erodabilidad de los suelos volcánicos, y las tasas de erosión estima-

das, es imperioso abordar investigaciones aplicadas en relación al manejo de los suelos y el uso de la tierra.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a todos los investigadores, técnicos y estudiantes que, a lo largo de los años, han aportado al conocimiento de los suelos volcánicos de la provincia del Chubut.

BIBLIOGRAFÍA

- Apcarian, A & J Irisarri. 1993. Caracterización mineralógica de suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas en las provincias de Neuquén y Río Negro (R.A.). Actas II Jornadas de Vulcanología, Medio ambiente y Defensa Civil. Zapala, Neuquén. 23 p.
- Auer, V. 1950. Las capas volcánicas como base de la cronología posglacial de Fuegopatagonia. *Rev. Inv. Agr.* 2: 49-208.
- Barros, V; B Scian & H Mattio. 1979. Campos de precipitación de la Provincia de Chubut (período 1931 - 1960). *Geoacta* 10: 175 -192.
- Besoain, E. 1985. Los suelos. En: Toso, J (ed.). Suelos volcánicos de Chile. P. 25-95. Instituto de Investigaciones Agropecuaria (INIA), Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile
- Broquen, P; J Lobartini; F Candan & G Falbo. 2005. Allophane, aluminum, and organic matter accumulation across a bioclimatic sequence of volcanic ash soils of Argentina. *Geoderma* 129: 167-177.
- Buduba, CG. 2006. Modificaciones en el pH y contenido de materia orgánica en suelos del ecotono estepa / bosque andino patagónico por implantación de pino ponderosa. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires. 176 p.
- Buduba CG; L La Manna L; V Alonso & J Irisarri. 2008. La ceniza del Volcán Chaitén y los Suelos. Carpeta Técnica, Medio Ambiente N° 9, EEA INTA Esquel. 5 p.
- Buduba, CG; G Defossé & J Irisarri. 2017. Impact of ponderosa pine afforestations on soil organic matter (SOM) in semiarid steppes of western Patagonia, Argentina. *Agroforestry Systems* 91(5): 895-900.
- Buurman, P; F Peterse & G Almendros Martin. 2007. Soil organic matter chemistry in allophanic soils: a pyrolysis-GC/MS study of a Costa Rican Andosol catena. *Eur. J. SoilSci.* 58(6): 1330-1347.
- Calabi-Floody, M; J Bendall; A Jara; M Welland; B Theng; C Rumpel & M de la Luz Mora. 2011. Nanoclays from an Andisol: extraction, properties and carbon stabilization. *Geoderma* 161(3-4): 159-167.
- Colmet-Daage, F; A Marcolin; C López; M Lanciotti; J Ayesa; D Bran; E Andenmatten; P Broquen; J Girardin; G Cortés; J Irisarri; E Besoain; A Sadzawka; G Sepúlveda; S Massaro; G Millot & P Bouleau. 1988. Características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la cordillera y precordillera del norte de la Patagonia. Bariloche. Convenio INTA – ORSTOM. S. C. de Bariloche, Río Negro. 167 p.
- Colmet-Daage, F; MJ Mazzarino & ML Lanciotti. 1993. Características de los suelos volcánicos en el SO del Chubut. INTA. Com. Técn. N° 22. Bariloche. 9 p.
- Colmet-Daage, F; M Lanciotti & A Marcolin. 1995. Importancia Forestal de los suelos volcánicos de la Patagonia Norte y Central. INTA, Bariloche. 28 p.
- Cruzate, G; L Gomez; MJ Pizarro; P Mercuri & S Banchero. 2007. Mapa de suelos de Argentina. SAGyP – INTA – Proyecto PNUD ARG/85/019. Versión 9.0. <http://www.geointa.inta.gob.ar/2013/05/26/suelos-de-la-republica-argentina/> (13/06/2019)
- Dahlgren, RA; M Saigusa & FC Ugolini. 2004. The Nature, Properties and Management of Volcanic Soils. In *Advances in Agronomy*. 82: 113-182.
- Diehl P; MJ Mazzarino & S Fontenla. 2008. Plant limiting nutrients in Andean-Patagonian woody species: Effects of interannual rainfall variation, soil fertility and mycorrhizal infection. *For. Ecol. Manag.* 255(7): 2973-2980.

Suelos volcánicos de la provincia del Chubut

- El Kateb H; H Zhang; P Zhang & R Mosandl. 2013. Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: a field experiment in Southern Shaanxi Province, China. *Catena* 105: 1–10.
- Ferrer, JA. 1998. Suelos de la provincia del Neuquén. Versión actualizada escala 1:500.000, en color. Dirección de Ciencia y Técnica, COPADE, Neuquén. CFI – Buenos Aires.
- Fieldes, MP & KW Perrot. 1966. The nature of allophane in soils. Part 3. Rapid field and laboratory test for allophane. *New Zeal. J. Sci.* 9: 623–629.
- Finocchiaro JM; L La Manna & C Buduba. 2010. Caracterización de la ceniza del volcán Chaitén. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio de 2010. Formato digital.
- Finocchiaro JM; L La Manna & C Buduba. 2012. Estudio comparativo del material reciente expulsado por los volcanes Chaitén y Puyehue. Actas XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, 16 al 20 de abril de 2012. Formato digital.
- Frugoni, MC. 2004. Estimación del contenido de humedad basada en las texturas descriptas a campo en Andisoles bajo régimen údico (Norpatagonia, Argentina). Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. Formato digital.
- Geißler, C; P Kühn; M Böhnke; H Bruelheide; X Shi & T Scholten. 2012. Splash erosion potential under tree canopies in subtropical SE China. *Catena* 174: 596–601.
- Hernández, Z; G Almendros; P Carral P; A Álvarez; H Knicker & JP Pérez-Trujillo. 2012. Influence of non-crystalline minerals in the total amount, resilience and molecular composition of the organic matter in volcanic ash soils (Tenerife Island, Spain). *Eur. J. Soil Sci.* 63 (5), 603–615.
- Irisarri, JA. 2000. La propuesta de reclasificación de los Andepts de Argentina de acuerdo al Orden Andisoles. Workshop Soil Taxonomy. INTA, AICET, AACs: 18-27.
- Irisarri, JA; JM Mendía; C Roca; CG Buduba; MF Valenzuela; F Epele; F Fraseto; G Ostertag; S Bobadilla & E Andenmatten. 1995. Zonificación de las tierras para la aptitud forestal de la Provincia del Chubut. DGByP. Chubut. Formato digital.
- Irisarri, J; CG Buduba & MF Valenzuela. 2000. Transecta Modelo Futaleufú - Esquel: Zonificación de información edáfica, climática y topográfica con relación al sitio forestal, como sustento para la toma de decisiones en la introducción y diversificación de especies arbóreas en la Región Andino Patagónica. Informe Final Grupo Suelos. CIEFAP – GTZ. Esquel, Chubut. 34p.
- Kwaad, F. 1977. Measurements of rainsplash erosion and the formation of colluvium beneath deciduous woodland in the Luxembourg Ardennes. *Earth Surf. Process. Landf.* 2: 161-173.
- La Manna, L. 2005a. Caracterización de los suelos bajo bosque de *Austrocedrus chilensis* a través de un gradiente climático y topográfico en Chubut, Argentina. *Bosque* 26: 137-153.
- La Manna, L. 2005b. La declinación de los bosques de *Austrocedrus chilensis*: relación entre el “mal del ciprés” y el sitio. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- La Manna, L; CG Buduba; JA Irisarri & MF Valenzuela. 2004. Vertisoles en los bosques de *Austrocedrus chilensis*. *Revista Científica Agropecuaria* 8: 73-78.
- La Manna, L; V Alonso; CG Buduba & JA Irisarri. 2007. Plan de manejo estratégico zonas este y norte linderas al Parque Nacional Los Alerces - Estudio de Suelos – Informe final. CFI. 35p.
- La Manna, L; CG Buduba & JA Irisarri. 2008. Los Suelos del Valle 16 de Octubre, Provincia del Chubut. *Patagonia Forestal* 14(2): 13-16.
- La Manna, L; CG Buduba; JA Irisarri; J Ferrari & MV Cremona. 2011. Los nutrientes del suelo en la Región Andino Patagónica: una aproximación a la interpretación de datos analíticos. *Patagonia Forestal* 15 (3): 7-8.
- La Manna, L; CM Rostagno; CG Buduba; JA Irisarri & A Navas. 2016a. Determinaciones de granulometría en suelos volcánicos: comparación entre distintos métodos analíticos. *Cienc.Suelo* 34(2): 355-364.
- La Manna, L; CG Buduba & CM Rostagno. 2016b. Soil erodibility and quality of volcanic soils as affected by pine plantations in degraded rangelands of NW Patagonia. *Eur. J. For. Res.* 35(4): 643-655.
- La Manna, L; L Gaspar; CM Rostagno; L Quijano & A Navas. 2018a. Soil changes associated with land use in volcanic soils of Patagonia developed on dynamic landscapes. *Catena* 166: 229-239.

- La Manna, L; M Tarabini; F Gómez; P Noli; B Vogel & CG Buduba. 2018b. Estimación de las constantes hídricas de suelos volcánicos en función de variables de fácil determinación a campo. *Cienc. Suelo* 18(1): 23-29.
- La Manna, L; L Gaspar; M Tarabini; L Quijano & A Navas. 2019. 137Cs inventories along a climatic gradient in volcanic soils of Patagonia: potential use for assessing medium term erosion processes. *Catena* 181: 1-11.
- Lapido, O. 2008. Análisis mineralógico por difracción de rayos X sobre muestras de ceniza volcánica del volcán Chaitén. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada. 2 p.
- Laya, HA. 1969a. Cartografía de los principales grupos de suelos y sus relaciones genéticas en la región de Trevelin (Chubut). Actas V Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Santa Fe, Argentina. p. 359-371.
- Laya, HA. 1969b. Cartografía expeditiva de los suelos y sus relaciones genéticas- Zona de Río Pico (Chubut). Actas V Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Santa Fe, Argentina. 373-385.
- López, C; F Colmet-Dâage & H Planas. 1992. Características de los suelos de origen volcánico en la cordillera Andino Patagónica Latitud 43° 30', Argentina-Chile. INTA. Com. Téc. N° 18. Bariloche. 9 p.
- López, C; F Colmet-Dâage & H Planas. 1993. Aportes de los volcanes de la cordillera Andino- Patagónica a los suelos argentino-chilenos entre los paralelos 42° y 44° L.S. INTA. Com. Téc. N° 19. Bariloche. 9 p.
- Mazzarino, MJ; M Bertiller; T Schlichter & M Gobbi. 1998. Nutrient cycling in Patagonian ecosystems. *Ecol. Austral* 8: 167-181
- McDaniel, PA; D Lowe; O Arnalds & CL Ping. 2012. Andisols. En: Huang, P; Y Li & ME Sumner (eds.). Handbook of Soil Sciences, 2nd edition. Properties and Processes, vol. 1. Pp. 33.29–33.48. CRC Press. Taylor & Francis, Boca Ratón, Florida.
- Mizota, C. & LP van Reeuwijk. 1989. Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic material in diverse climatic regions. Soil Monograph, vol. 2. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen. 103 p.
- Montenegro, A; J Abrantes; J de Lima; V Singh & T Santos. 2013. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena* 109: 139-149.
- Morales, D & La Manna L. 2011. La fertilidad química del suelo y el “mal del ciprés” en Patagonia, Argentina. *Cienc. Suelo* 29(2): 151-160.
- Morales, D; CM Rostagno & L La Manna. 2013. Runoff and erosion from volcanic soils affected by fire: the case of *Austrocedrus chilensis* forests in Patagonia, Argentina. *Plant & Soil* 370: 367-380.
- Nanzyo, M; R Dahlgren & S. Shoji. 1993. Chapter 6 Chemical Characteristics of Volcanic Ash Soils. En: Shoji, S; M Nanzyo & R Dahlgren (eds.). Developments in Soil Science. p. 145-187. Elsevier.
- Navas, A.; TA Quine; DE Walling; L Gaspar; L Quijano & I Lizaga. 2017. Relating intensity of soil redistribution to land use changes in abandoned Pyrenean fields using fallout Caesium-137. *Land Degrad. Dev.* 28: 2017-2029.
- Parfitt, RL & AD Wilson. 1985. Estimation of allophane and halloysite in three sequences of volcanic soils, New Zealand. *Catena Suppl.* 7: 1-8.
- Parfitt, RL; M Saigusa & JD Cowie. 1984. Allophane and halloysite formation in a volcanic ash bed under different moisture conditions. *Soil Sci.* 138(5): 360-364.
- Ping, CL. 2000. Volcanic soils. In: Sigurdsson, H (ed.). Encyclopedia of Volcanoes. p. 1259-1270. Academic Press, New York.
- Poulenard, J; P Podwojewski; JL Janeau & J Collinet. 2001. Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: effect of tillage and burning. *Catena* 45: 185-207.
- Rodríguez Rodríguez, A; C Arbelo; J Guerra & J Mora. 2002. Erosión hídrica en Andosoles de las Islas canarias. *Edafología* 9: 23-30.
- Rostagno, CM. 1989. Infiltration and sediment production as affected by soil surface conditions in a shrubland of Patagonia, Argentina. *J. Range Manag.* 42(5): 382-385.
- Satti, P; MJ Mazzarino; M Gobbi; F Funes; L Roselli & H Fernandez. 2003. Soil N dynamics in relation to leaf litter quality and soil fertility in north-western Patagonian forests. *Journal of Ecology* 91(2): 173-181.
- Satti, P; MJ Mazzarino; L Roselli & P Crego. 2007. Factors affecting soil P dynamics in temperate volcanic soils of southern Argentina, *Geoderma* 139: 229-240.

Suelos volcánicos de la provincia del Chubut

- Saxton, K & WJ Rawls. 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1569-1578.
- Schoeneberger, PJ; DA Wysocky; EC Benham & WD Broderson. 1998. Field Book for Describing and Sampling Soils. Natural Resources Conservation Service, USDA, National Soil Survey Center, Lincoln. Nebraska.
- Shoji, S; R Dahlgren & M Nanzyo. 1993. Terminology, concepts and geographic distribution of volcanic ash soils. In: Shoji, S; M Nanzyo & R Dahlgren (eds.). *Developments in soil science*. Pp. 1-5. Elsevier.
- Soil Survey Staff. 1975. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. SCS•USDA Hb. NO 436. U.S. Govt. Printing Office. Washington.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil taxonomy, 12th edn. USDA Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 360p.
- Takahashi, T; R Dahlgren & T Sase. 1994. Formation of melanicepedons under forest vegetation in the xeric moisture regime of Northern California. *Soil Sci. Plant Nutr.* 40: 617-628.
- Tarabini, M; F Gomez & L La Manna. 2019. Ceniza volcánica reciente como indicadora de retención de partículas en los suelos de la Patagonia andina. *Cienc. Suelo* 37: 101-112.
- Valenzuela, MF; JA Irisarri; L Ferro & CG Buduba. 2002. Caracterización mineralógica de suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas en el noroeste de la Provincia del Chubut. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Pto, Madryn. Formato digital.
- Vallerini, J & A Marcolín. 1976. Relevamiento de suelos de la zona cordillerana de Patagonia. Actas VII Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Bahía Blanca, Argentina. 11 p.
- Verheijen, F; R Jones; R Rickson & CJ Smith. 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth Sci. Rev.* 94:23–28.
- Vogel, B & L La Manna. 2018. Shrub encroachments effects on key soil properties and restoring potential of Patagonian rangelands. 21th World Congress of Soil Science. Río de Janeiro, Brasil, 12 al 17 de agosto de 2018.
- Wada, K. 1985. The distinctive properties of Andosols. *Advances in Soil Science*. vol. 2, p. 173-229.
- Warkentin, B & T Maeda. 1980. Physical and mechanical characteristics of Andisols. En: Theng, B. (ed.). *Soils with variable charge*. Pp. 281-301. Lowe Hott: Ed. New Zealand Society of Soil Science.
- Yamada, I & S Shoji. 1983. Alteration of volcanic glass of recent Towada ash in different soil environments of northeastern Japan. *Soil Sci.* 135: 316-321.