

El suelo y el bosque en la Región Andino Patagónica

Carlos G. Buduba^{1,2} - Ludmila A. La Manna^{1,3} - Jorge A. Irisarri⁴

¹ Centro de Estudios Ambientales Integrados, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

² EEAf INTA Esquel

³ CONICET

⁴ Universidad Nacional del Comahue

Autor de contacto: buduba.carlos@inta.gob.ar

“...La riqueza principal de la cordillera es su capacidad para reproducirse como mayores bosques, de las mismas especies o de otras, pero como bosques que constituirán imperecedera fuente de riqueza para la Nación.”

Bailey Willis

Comisión de Estudios Hidrológicos 1911 – 1914

Resumen

Los suelos volcánicos de la Región Andino Patagónica Argentina tienen la capacidad de humectarse durante la temporada invernal de lluvias, convirtiéndose en una reserva de agua para los árboles durante los meses secos del verano. La cantidad de agua que puede almacenar el suelo y otras cualidades edáficas que facilitan el crecimiento del bosque están relacionadas con diversos factores. Los eventos volcánicos, las variables climáticas, las características del paisaje y los procesos edafogenéticos se asocian entre sí, permitiendo la presencia del bosque nativo e implantado en Andisoles y Molisoles. En este capítulo se presentan, para diferentes especies forestales, datos silvícolas y edáficos que facilitan el entendimiento de los aspectos más relevantes de la relación entre los suelos volcánicos y el bosque. Las diversas especies latifoliadas y coníferas nativas se desarrollan principalmente a lo largo del sector más húmedo de la región, en una variedad de sitios que influyen en su distribución y desarrollo. Por otro lado, las condiciones edáficas del sector más seco sin bosque, facilitan la implantación de especies forestales introducidas. El crecimiento de algunas de ellas es muy promisorio y su cultivo se ha extendido por toda la región. Considerando que estos bosques modifican el ambiente de estepa, se discuten los cambios detectados en el suelo por causa del establecimiento del pino.

Palabras clave

Suelos volcánicos; Andisoles – Molisoles; bosque nativo e implantado; *Nothofagus*; *Pinus*.

Soil and forests of the Patagonian Andean Region

Extended Abstract

Volcanic soils of the Patagonian Andean Region in Argentina have the ability to retain moisture during the winter rainy season, storing water for the trees to use during the dry summer months. Volcanic events, climatic variables, landscape characteristics, and associated edaphogenetic processes allow the development of native forests and plantations. Along a strong precipitation gradient (3.000 - 300 mm) and a vegetation gradient (forest - steppe), in just 90 km distance (West - East), different conditions for the development of Andisols and Mollisols are found. Soil water storage and other edaphic features which improve forest growth are related to different factors, such as volcanic material weathering, effective depth, coarse fragments, available water, drainage, soil water content at the end of summer, slope and aspect. This chapter shows silvicultural (annual increment) and edaphic data for different forest species,

that allow understand the most relevant aspects of the relationship between soil and forests in the Patagonia Argentina. Different native species, both broadleaf [*Nothofagus pumilio* (lenga), *Nothofagus alpina* (raulí), *Nothofagus obliqua* (roble pellín), *Nothofagus dombeyi* (coihue), *Nothofagus antarctica* (ñire)] as conifers [*Austrocedrus chilensis* (ciprés de la cordillera), *Araucaria araucana* (araucaria)] occur mainly in the most humid sector (i.e., West), covering different sites that influence their distribution and development. On the other hand, in the driest and forest-free sector (East Sector), edaphic conditions allow the introduction of exotic forest species, mainly conifers. Some of them have high growth rates, such as *Pinus ponderosa* (ponderosa pine), *Pseudotsuga menziesii* (oregon pine), *Pinus radiata* (radiata pine), *Pinus Jeffreyi* (jeffreyi pine) and *Pinus contorta* (var. *latifolia* and var. *murrayana*), being *P. ponderosa* and *P. menziesii*, the most widespread species. Since *P. ponderosa* has not so high site requirements, there is a large area in the region suitable for its commercial afforestation, with different site qualities. Considering that these plantations are widely promoted by the government, and that their establishment strongly modify the steppe environment, the main soil changes associated with afforestation are discussed in this chapter. In this sense, the organic horizon, mainly formed by needles, is the most significant change compared to the initial situation. Changes in soil moisture, organic matter, porosity, infiltration, erodability and soil biology are addressed in relation to the current knowledge. The absence of significant changes in soil reaction (pH) is also discussed. Finally, plantations ability for entrapping particles transported by the wind, and the associated “upbuilding pedogenesis”, are discussed, according to studies based on recent volcanic ashes from eruptions recorded at the beginning of the 21st century.

Key words Volcanic soils; Andisols - Mollisols; native forest and afforestation; *Nothofagus*; *Pinus*.

LA PARADOJA DEL BOSQUE

La presencia de bosque en la Región Andino Patagónica, desde Neuquén a Chubut (Sector Oeste (verde) y Sector Este (rojo) en el mapa de la Fig. 1), está limitada a ciertas características del suelo que sólo se presentan en esta región de la Argentina y en algunos sectores de Santa Cruz.

En toda la región la oferta de lluvias es casi exclusiva durante el invierno, $\geq 70\%$ de las precipitaciones anuales. Por otro lado, se registra una alta demanda hídrica ambiental que coincide con las temperaturas más elevadas de los meses de verano (Fig. 2). Sin embargo, los bosques en la Región Andino Patagónica se desarrollan sobre un suelo que es capaz de sostenerlos, a pesar de la “aparente sequía estival”.



Figura 1. Región Andino Patagónica con aptitud forestal (Sector Oeste (verde) y Sector Este (rojo) en el mapa) y una vista de un bosque nativo de lenga (*Nothofagus pumilio*) en Valle Hondo, Chubut.

Figure 1. Patagonian Andean Region with forest aptitude (West Sector (green) and Eastern Sector (red) on the map) and a view of a native lenga forest (*Nothofagus pumilio*) in Valle Hondo, Chubut.

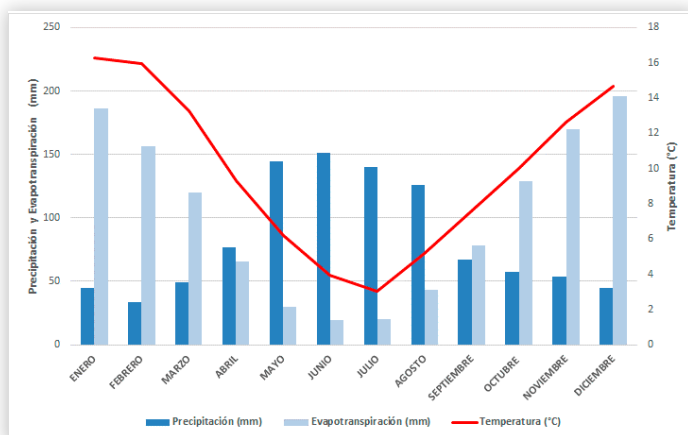


Figura 2. Precipitación, evapotranspiración y temperatura media anual para el período 1970 – 2018 en Trevelin, Chubut (Precipitación media anual 990 mm, Evapotranspiración media anual 1.214 mm, Temperatura media anual 9,8 °C) (Datos EEAF INTA Esquel, Campo Experimental Agroforestal INTA Trevelin).

Figure 2. Rainfall, evapotranspiration and average annual temperature for the period 1970 - 2018 in Trevelin, Chubut (Average annual rainfall 990 mm, Average annual evapotranspiration 1,214 mm, Average annual temperature 9.8 °C) (EEAF INTA Esquel data, Campo Experimental Agroforestal INTA Trevelin).

Este tipo de distribución anual de las precipitaciones debería ocasionar un marcado déficit hídrico en las plantas y sin duda, la presencia de otro tipo de vegetación. Posiblemente un paisaje sin bosque, con árboles dispersos y con adaptaciones xerofíticas para vivir en un ambiente con escasez de agua líquida. Durante los cortos días y fríos meses invernales el agua precipitada es abundante, mientras que durante los largos y muchas veces calurosos días estivales, casi no llueve. Es sabido que las plantas necesitan luz, temperatura y agua para crecer. No obstante, en la Región Andino Patagónica pareciera que la presencia de los tres factores no coincide en el tiempo.

La respuesta a esta paradoja - la existencia de bosque en la Región Andino Patagónica - es el suelo que se comporta como una “esponja”. Una “esponja” que es capaz de recargarse cuando los árboles no necesitan el agua (invierno) y de liberarla cuando el bosque está en pleno crecimiento (verano). Una “esponja” que puede llegar a superar su mismo peso en agua (> 100% de humedad) por estar formada por materiales volcánicos con altos contenidos de materia orgánica. Un material que posee buen drenaje debido a sus valores de infiltración, que no se encharca ni permite el escurrimiento superficial. Por otro lado, los suelos

formados sobre este material volcánico (Andisoles¹ y Molisoles ándicos) adquieren, con el tiempo y bajo ciertas condiciones, otras características que facilitan el crecimiento arbóreo de especies nativas e introducidas.

ORIGEN Y PROPIEDADES DEL MATERIAL VOLCÁNICO

En la cordillera patagónica existen numerosos volcanes que de forma continua y/o intermitente liberan material de diferentes tamaños y características (lapilli², pumita³ y ceniza⁴), tal como se observa en la Fig. 3 para la zona de Chubut, Río Negro y Sur de Neuquén.

De forma recurrente, la ceniza es expulsada por diferentes centros de emisión (Stern, 2004; Naranjo & Stern, 2004; Martinic, 2008), como las originadas por las recientes erupciones del volcán Hudson (1991), volcán Chaitén (2008) y del complejo volcánico Puyehue - Cordón Caulle (2011). Durante estos eventos se pudo comprobar cómo el material es transportado y depositado por los vientos dominantes del Oeste. Este aporte de material se verifica a grandes distancias (Fig. 4) y constituye un “rejuvenecimiento” permanente para los suelos.

1 En Chile se los denomina trumao (derivado del mapuche trumag).

2 Lapilli, partícula de 2 - 64 mm de diámetro, con densidad aparente > 2,0 g cm⁻³.

3 Pumita, no reconoce ninguna restricción de tamaño, fuertemente vesicular, con densidad aparente < 1 g cm⁻³ (flota en el agua).

4 Ceniza, partícula < 2 mm de diámetro.

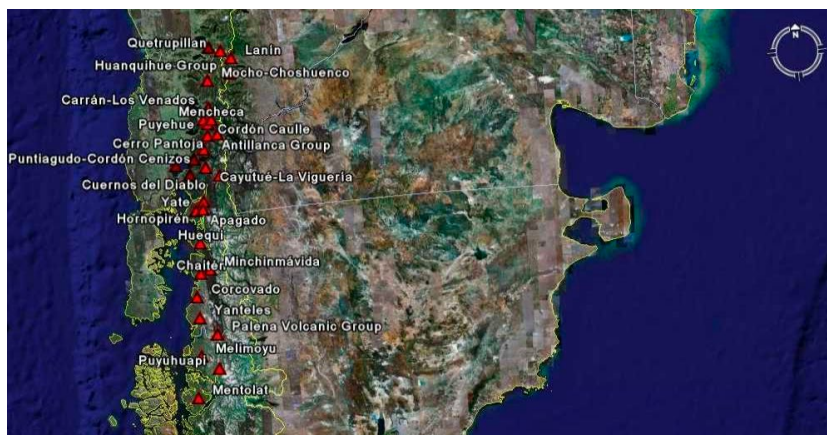


Figura 3. Ubicación de los volcanes más importantes en la Cordillera de los Andes para la zona de Chubut, Río Negro y Sur de Neuquén. La mayoría de ellos están ubicados en territorio chileno (Google Earth Image ©).

Figure 3. Location of the most important volcanoes in the Andes for Chubut, Río Negro and southern Neuquén provinces. Most of them are located in Chilean territory (Google Earth Image ©).

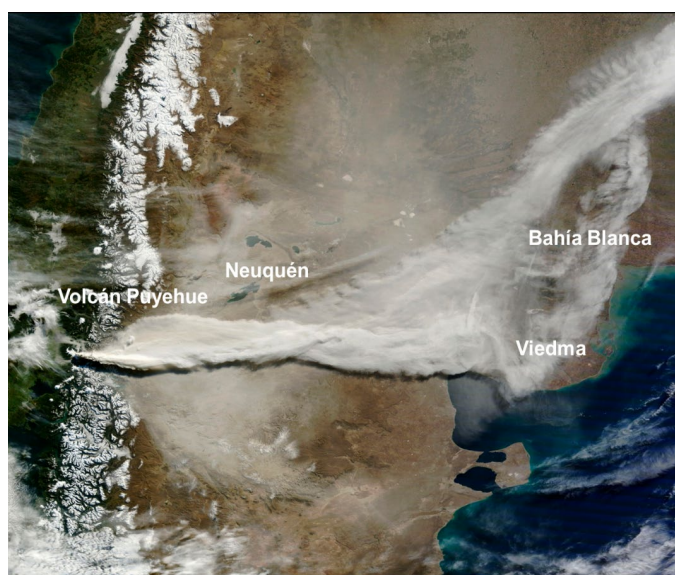


Figura 4. Material volcánico dispersado desde el complejo volcánico Puyehue - Cordón Caulle por los vientos dominantes del Oeste en junio de 2011. Es evidente el aporte a los suelos de diferentes regiones, aunque se ubiquen a miles de kilómetros (se registraron aportes en Australia y Nueva Zelanda). En el sector costero, el color turquesa se debe a la ceniza caída (Imagen MODIS, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

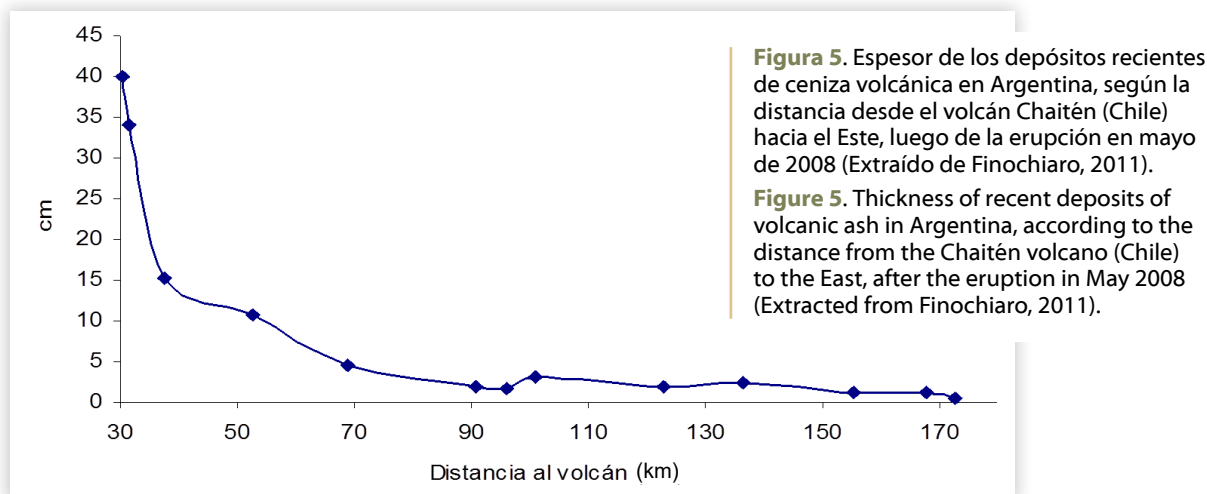
Figure 4. Volcanic material dispersed from the Puyehue - Cordón Caulle volcanic complex by the prevailing winds of the West in June 2011. The contribution to the soils of different regions is evident, even if they are located thousands of kilometers away (contributions were registered in Australia and New Zealand). In the coastal sector, the turquoise color is due to the fallen ash (MODIS Image, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

El material es transportado a diferentes distancias según su granulometría y peso. A medida que nos alejamos del volcán el manto de ceniza es menos espeso y con texturas más finas (Finocchiario, 2011) (Fig. 5). Durante una erupción la ceniza más fina se mantiene por más tiempo en la atmósfera y es distribuida por la acción del viento en lugares más alejados y amplios. El material grueso (lapilli, pumita) sólo puede ser transportado por la violencia del evento, ocupando generalmente áreas próximas a los cráteres, originando tefras y discontinuidades granulométricas que evidencian diferentes erupciones durante el Holoceno. En cada lugar el espesor de las cenizas está asociado a diversos atributos del paisaje y puede acumularse desde varios metros a pocos centímetros en la superficie. Esta selección eólica provoca que la textu-

ra franca arenosa fina predomine generalmente en los perfiles de suelo con aptitud forestal.

La exposición, la pendiente, la altitud y la forma del paisaje también influyen sobre el espesor del manto del material volcánico. Exposiciones resguardadas del viento (orientación Este, Sureste, Sur) combinadas con pendientes moderadas y geoformas que faciliten la acumulación (por ej. relieve cóncavo y pie de laderas) suelen presentar suelos más profundos.

Por otro lado, el marcado gradiente pluviométrico que se registra en menos de 90 km lineales, que pasa de 3.000 mm anuales en el límite con Chile, a 300 mm en la estepa patagónica, va alterando de manera diferencial los depósitos. La intemperización de la ceniza volcánica, vinculada



principalmente al gradiente de la lluvia, genera una secuencia de arcillas alofano – imogolita – haloisita de Oeste a Este, con propiedades características como se describen en el Capítulo 12 de esta obra: Suelos volcánicos de la provincia del Chubut. Estas diferencias inciden en la vegetación que en la misma distancia pasa de bosque a estepa. Bajo

clima y vegetación tan diferentes los suelos derivados de ceniza volcánica adquieren propiedades bien contrastantes (Gaitán & López, 2007) (Fig. 6). Para una misma zona la presencia de los diferentes tipos de arcillas también se vincula a la altitud por la relación entre las variaciones altimétricas y la precipitación (Irisarri & Mendía, 1997).

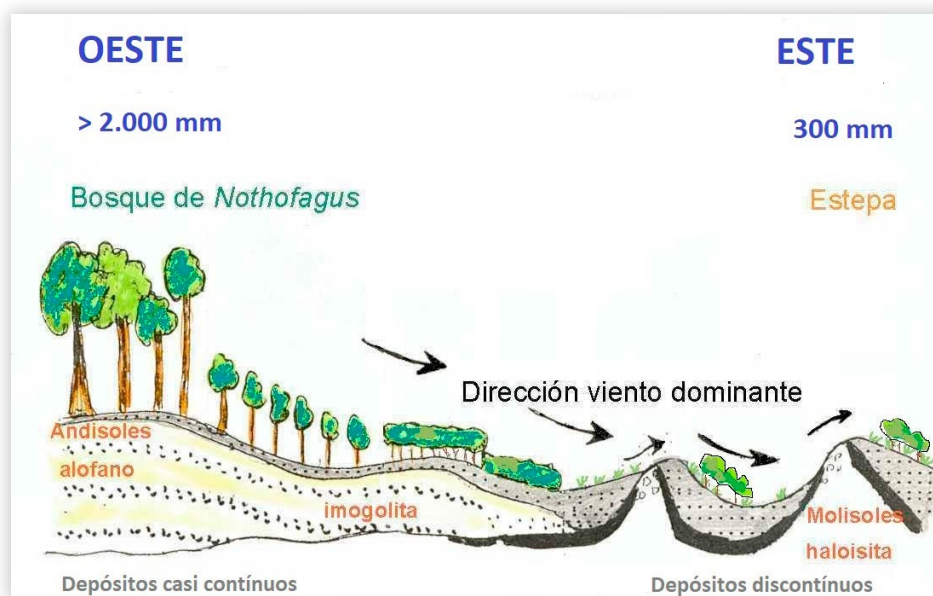


Figura 6. Distribución del material volcánico por acción de los vientos dominantes del Oeste y su relación con la precipitación y la topografía. Con precipitaciones > 1.000 mm la ceniza alofanizada permite el crecimiento del bosque de *Nothofagus*. En la parte más seca (300 – 500 mm) la haloisita, que sustenta a la vegetación de estepa, le otorga al suelo un importante potencial para la implantación de bosques con especies introducidas (Modificado de Colmet-Daage, 1993).

Figure 6. Distribution of volcanic material by action of the prevailing winds of the West and its relation to precipitation and topography. With precipitation > 1,000 mm, allophaned ash allows the growth of the *Nothofagus* forest. In the drier part (300 – 500 mm) the haloisite, which supports the steppe vegetation, gives the soil an important potential for the implantation of forests with introduced species (Modified by Colmet-Daage, 1993).

Todo esto sucede en una región en donde hace sólo unos ≈ 10.000 años dejaba de estar ocupada por inmensos glaciares que cubrían el paisaje (Rabassa, 2008) y borraba los antecedentes edafogenéticos más antiguos. En ese momento el bosque nativo, principalmente con especies de *Nothofagus*, comenzó a expandirse (Villagran & Hinojosa, 1987) hacia la zona más húmeda.

Donde más llueve, la ceniza se mantiene más coherente y se transforma en un suelo muy poroso (70% de poros con densidad de $0,85 \text{ g cm}^{-3}$) que incorpora fácilmente altos contenidos de materia orgánica (Sector Oeste (verde) en el mapa de la Fig. 1). Dos procesos simultáneos, alofanización y melanización, originan estos cambios en el material original (Pereyra *et al.*, 2011). Material que se dispone de manera casi continua sobre el paisaje pre existente, generalmente roca dura, derrubios en las laderas o diversos depósitos de origen glacial en el fondo de los valles (Fig. 7).

La gran estabilidad y resistencia de los compuestos húmicos combinados con la fracción mineral, produce una fuerte estructuración de las partículas primarias. Esto origina pseudolimos y pseudoarenas (microestructura) que enmascaran la textura verdadera del suelo, pareciendo más gruesa. Por otro lado, los suelos presentan poco desarrollo de la estructura, en general con tendencia a masiva mostrando un grado de estructuración débil. Sin embargo, por la porosidad que posee el material de partida y por la facilidad de formar complejos húmico – arcillosos los suelos tienen una óptima relación aire – agua que facilita la exploración radicular.

La ceniza también cubre el paisaje en los lugares más secos, donde el límite del bosque (principalmente ciprés de la cordillera, *Austrocedrus chilensis*) deja lugar a la extensa estepa patagónica (zona roja en el mapa de la Fig. 1). En estos lugares de transición con temperaturas más elevadas



Figura 7. Suelo volcánico (los 3 horizontes superiores de colores pardos amarillentos) desarrollado sobre depósitos post glaciares (granulometría variable) bajo bosque de *Nothofagus*.

Figure 7. Volcanic soil (the 3 upper horizons of yellowish brown colors) developed on post-glacial deposits (variable granulometry) under *Nothofagus* forest.

y cielo más diáfano (mayor evapotranspiración), la ceniza es más susceptible a ser removida por procesos erosivos. De esta manera se distribuye en forma discontinua (Fig. 6) y es menos porosa, aunque sigue cumpliendo su rol de “esponja”, pudiendo almacenar el agua invernal.

En los suelos (Molisoles ándicos), desarrollados entre 300 – 500 mm de precipitación, se pueden implantar bosques con especies introducidas (principalmente pino ponderosa, *Pinus ponderosa*) realizando una selección de los sitios en relación al paisaje (Fig. 8). Son lugares generalmente deteriorados en superficie por el mal uso del hombre, en donde los árboles logran obtener agua a mayores profundidades que la vegetación herbácea empobrecida.

EL SUELO Y EL BOSQUE

El sitio hace referencia al ambiente de un lugar y cómo ese ambiente influye sobre la vegetación. La calidad de sitio es un concepto que se utiliza para explicar las variables ambientales que inciden sobre la capacidad productiva de los árboles. Esta se interpreta según la especie forestal y puede ser de buena a mala. Las variables más importantes son las climáticas y edáficas. Conocer la calidad

de sitio permite explicar el crecimiento del bosque para tomar medidas silvícolas y decidir sobre la implantación en lugares desarbolados (Andenmatten *et al.*, 2002).

Las características del suelo asociadas al paisaje, fundamentalmente las vinculadas al mayor almacenamiento de agua, son relevantes para el crecimiento del bosque nativo e implantado (Irisarri & Mendía, 1997). En muchos sitios, los crecimientos alcanzados por especies introducidas del Hemisferio Norte como pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*), pino ponderosa (*Pinus ponderosa*), pino radiata (*Pinus radiata*), pino silvestre (*Pinus sylvestris*), pino blanco del Oeste (*Pinus monticola*), roble europeo (*Quercus robur*), alerce europeo (*Larix decidua*), cerezo (*Prunus avium*), peral (*Pyrus communis*), igualan o incluso superan a los registrados en sus lugares de origen (Gonda & Cortés, 2001; Godoy *et al.*, 2007).

La exposición de la ladera incide sobre el crecimiento del bosque. Los sitios resguardados del viento (exposiciones Este, Sureste y Sur) tienen mayores posibilidades de acumular ceniza volcánica y humedad (Fig. 9). Las orientaciones Oeste y Norte están más expuestas a los vientos dominan-

Figura 8. Paisaje de estepa en suelos volcánicos (Chubut), en donde la implantación de especies introducidas puede complementar la tradicional actividad ganadera extensiva.

Figure 8. Steppe landscape in volcanic soils (Chubut), where the introduction of introduced species can complement the traditional extensive livestock activity.



Figura 9. Diferentes condiciones de laderas (orientación, pendiente, altura, forma del paisaje) asociadas a suelos con acumulación variable de ceniza y presencia de bosque de *Nothofagus*. Las orientaciones Este, Sureste y Sur tienen generalmente más presencia de bosque nativo, siendo los de mejor calidad de sitio. Los lugares altos y expuestos al viento presentan suelos someros y pedregosos (Google Earth Image ©).



Figure 9. Different hillside conditions (orientation, slope, height, landscape shape) associated with soils with variable ash accumulation and presence of *Nothofagus* forest. The East, Southeast and South orientations generally have more presence of native forest, being those of better site quality. Sites high and exposed to the wind have shallow and stony soils (Google Earth Image ©).

tes y al recibir mayor insolación, son más secas y con menores espesores de ceniza. La altura también puede influir en la acumulación de la ceniza. En las partes más altas y expuestas a los vientos, los suelos son más someros y pedregosos. Otro rasgo importante del paisaje asociado estrechamente a los dos anteriores es la pendiente. Las pendientes entre 10 – 30% se asocian en general con los mejores sitios para las principales especies.

Bosque nativo

Los suelos más productivos donde crecen las principales especies forestales nativas (Andisoles) son los Fulvudandes (**Perfil 1**) y Hapludandes (**Perfil 2**). Se forman bajo precipitaciones mayores a 1.000 mm (presencia de alofano) y la calidad de sitio está determinada principalmente por la profundidad efectiva y la ausencia de fragmentos gruesos en el perfil. Las especies latifoliadas dominantes son: lenga (*Nothofagus pumilio*), raulí (*Nothofagus alpina*), roble pellín (*Nothofagus obliqua*), coihue (*Nothofagus dombeyi*) y ñire (*Nothofagus antarctica*). Estas especies se distribuyen sobre suelos volcánicos desde el Norte de Neuquén hasta el Sur de Chubut (**Fig. 10**). La lenga y el ñire

son las que abarcan el mayor intervalo latitudinal, creciendo también sobre suelos no volcánicos en otros regímenes de precipitación.

Prácticamente a lo largo de toda la distribución de los suelos derivados de ceniza en la Región Andino Patagónica, la lenga ocupa los lugares montañosos y bien drenados. Crece aproximadamente desde los 36° 30' a 45° 49' Lat. Sur y es la especie que se ubica a mayor altitud (> 1.000 m s.n.m. variando con la latitud). Se la encuentra dominando en las laderas y lugares planos, en suelos con diferentes profundidades efectivas, pero siempre alofánicos (**Fig. 11**). Ocupa 712.000 ha y es una de las especies que tiene mayor importancia para ser utilizada como madera aserrada de calidad (principalmente en los bosques productivos de Chubut). En sitios de Río Negro Mutarelli *et al.* (1968) (citados por Carabelli, 1991) señalan un crecimiento medio anual de 1,7 a 3,3 m³ ha⁻¹ año⁻¹. En otro estudio en la misma provincia se registraron valores medios de 6 m³ ha⁻¹ año⁻¹, con un rango de 2 – 10 m³ ha⁻¹ año⁻¹ (Loguercio, comunicación personal). En San Martín de los Andes (Neuquén) Chauchard *et al.* (1995) determinaron 8,3 m³ ha⁻¹ año⁻¹.



Figura 10. Bosque de *Nothofagus* (Neuquén) creciendo en un manto de material volcánico (tefras) con diferentes granulometrías (horizontes oscuros de ceniza, horizontes blancos de lapilli y pumita) que manifiestan sucesivos eventos holocénicos de deposición y suelos enterrados.

Figure 10. *Nothofagus* forest (Neuquén) growing in a mantle of volcanic material (tephras) with different granulometry (dark ash horizons, white lapilli and pumice horizons) that show successive deposition events and buried soils.

El ñire está presente en variadas posiciones del paisaje y bajo diferente pluviometría en una extensión de 440.000 ha (Hapludandes, Hapludoles y Haploxerolos). Al igual que la lenga, no siempre crece en suelos derivados de ceniza volcánica. Se desarrolla junto a la lenga y en lugares deprimidos (acumulación de aire frío) con drenaje deficiente, en donde se presenta con porte arbóreo y mejores crecimientos. En sitios mal drenados (borde de mallines⁵) se observan ejemplares de menor tamaño y ramas secas en la copa. También crecen en suelos pedregosos con baja retención de humedad. En las zonas altas ventosas y con abundante acumulación de nieve crece achaparrado con ramas retorcidas y al ras del suelo, al igual que la lenga (Donoso, 1993). En la zona de Trevelin, Chubut, se registraron crecimientos que rondan los $6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Tejera, comunicación personal).



Figura 11. Bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*) desarrollado en suelo plano y alofánico (Chubut). El volteo por efecto del viento es frecuente cuando no existe adecuada profundidad efectiva. Este proceso provoca la mezcla de los horizontes superiores. El material más claro corresponde al horizonte C más profundo.

Figure 11. Lenga forest (*Nothofagus pumilio*) developed in flat and allophanic soil (Chubut). Trees fall is frequent where the effective depth is low. This process causes the mixing of the upper horizons. The lightest material corresponds to the deepest C horizon.

⁵ Mallín: depresión cerrada en la cual el suelo se encuentra saturado en agua y con alto contenido de materiales orgánicos, en consecuencia, posee una vegetación especializada característica. Es un término mapuche usado en Patagonia que equivale a "vega" (De Petre et al., 2012).

El roble pellín se desarrolla en Neuquén, principalmente en la zona del Parque Nacional Lanín, como bosque puro o mixto cubriendo unas 40.000 ha. Luego del coihue ($10 - 18 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Loguercio, comunicación personal) es la especie del género *Nothofagus* que más crece. En San Martín de los Andes para un bosque mixto de roble pellín -coihue y roble pellín- raulí, Chauchard *et al.* (1995) determinaron, sumando ambas especies, $12,8$ y $12,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ respectivamente. Su distribución está bastante limitada por la disponibilidad de humedad, desarrollándose generalmente en Udivitrandes y Hapludandes. Por su parte, el raulí, con calidad de madera más apreciada, presenta una distribución restringida a ciertos lugares de Neuquén, creciendo con otras especies de *Nothofagus* (roble pellín y coihue). Se ubica en la parte media y baja de las laderas con preferencia de exposición Sur - Sureste. Es la especie más exigente en profundidad efectiva ($> 0,8 \text{ m}$) y necesita suelos bien drenados. Cuando crece sólo puede alcanzar los $8,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. En bosque de raulí - coihue y raulí - lenga el incremento del bosque llega a los 14 y $15,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ correspondientemente (Chauchard *et al.*, 1995).

En la región también crecen en diferentes situaciones edáficas algunas especies de coníferas, como el ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*), araucaria (*Araucaria araucana*), alerce

(*Fitzroya cupressoides*, la especie más longeva del Hemisferio Sur y de mayor porte en la región) y ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*). De todas ellas el ciprés de la cordillera es la que tiene mayor distribución latitudinal (entre los 36° y 43° Lat. Sur, ocupando 84.000 ha). Se lo encuentra por debajo de los 1.000 m s.n.m. tanto en suelos de ceniza como en lugares pedregosos, afloramientos rocosos e inclusive arcillosos (La Manna *et al.*, 2004; La Manna, 2005), demostrando su buena adaptación a sitios muy diferentes. Se presenta como bosque puro (al Este, $\approx 600 \text{ mm}$) o mixto con coihue (al Oeste, $\approx > 1.200 \text{ mm}$). En el primer caso con crecimientos de $2,6 - 7,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y en la zona más húmeda varía entre $9 - 13 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (inclusive puede alcanzar valores de $18 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (Loguercio *et al.*, 2018). En un suelo alofánico de más de 1 m de profundidad, Loguercio *et al.* (2005) registraron un incremento medio anual de $12,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para una plantación de ciprés de la cordillera de 57 años.

La araucaria se encuentra en la zona Norte de la región creciendo sola o junto a otras especies en una superficie de 114.000 ha. Lo hace en suelos algo excesivamente drenados formados generalmente sobre depósitos de lapilli y pumita poco desarrollados o sobre afloramientos rocosos en las laderas y en el fondo de los valles (Fig. 12). En estos sectores el paisaje se encuentra muy erosionado

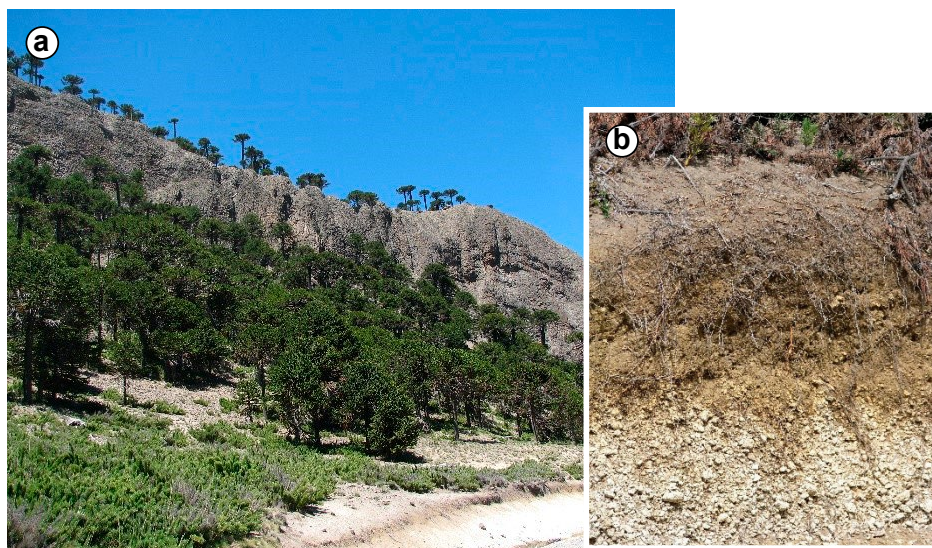


Figura 12. Araucaria (*Araucaria araucana*) en la zona de Aluminé (Neuquén), creciendo sobre afloramientos rocosos (Figura a) y en suelos originados sobre lapilli y pumita excesivamente drenados (Figura b).

Figure 12. Araucaria (*Araucaria araucana*) in the Aluminé area (Neuquén), growing on rocky outcrops (Figure a) and on soils originating from excessively drained lapilli and pumice (Figure b).

por causas antrópicas y por la fragilidad del suelo débilmente estructurado. La araucaria también crece como bosque mixto (*Nothofagus*) en suelos de ceniza. Al contrario, el ciprés de las Guaitecas crece como relicto (poblaciones muy pequeñas y aisladas) en suelos mal drenados (inundados) cubiertos por vegetación herbácea (helechos, gramíneas, musgos, *Sphagnum*, ciperáceas) en varios lugares de la región (Rovere *et al.*, 2002).

Bosque implantado

Las diferencias en el crecimiento arbóreo entre suelos profundos y someros se hacen más relevantes hacia la zona más seca y esteparia, en donde disminuye la posibilidad de encontrar buena calidad de sitio. Son lugares con precipitaciones menores a 800 mm y suelos clasificados generalmente como Vitriixerandes (Perfil 3), Haploxerandes (Perfil 4), Hapludoles (Perfil 5) y Haploxeroles (Perfil 6). En este sector prevalece como especie nativa arbórea el ciprés de la cordillera, acompañado a veces por ñire y maitén, junto a la estepa que se hace dominante hacia el Este. Es la porción del paisaje en donde se implanta principalmente como macizo el pino ponderosa (Fig. 8).

En esta franja de la estepa, cercana al límite con el bosque nativo, el mismo Estado fomenta desde hace muchos años el cambio parcial del uso del suelo. Con diferentes facilidades trata de generar cuencas forestales que den respuesta a requerimientos socio económicos ambientales complejos. Si bien existe un cuestionamiento a esta práctica por parte de la sociedad, fundamentado principalmente por interrogantes ambientales, también se comprueban múltiples beneficios (Bava *et al.*, 2015; Defossé, 2015). El uso actual, asociado a la ganadería extensiva, muchas veces provoca procesos erosivos que son muy difíciles de revertir. Del Valle *et al.* (1998) señalan que el 67% de la Patagonia muestra procesos moderadamente severos a muy severos de desertificación. Por otro lado, la forestación puede complementar la tradicional actividad ganadera (sistema silvo-pastoril) diversificando la producción y mejorando aspectos ambientales.

Según el Inventario Nacional de Plantaciones Forestales (2017) hay 109.237 ha forestadas, de 1.905.000 ha disponibles libres de bosque nativo (Loguercio & Deccechis, 2006). Sólo el 6% de este potencial está siendo utilizado en la actualidad. El mismo inventario señala que del bosque implantado la mayoría corresponde a pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) (> 80%, 67.656 ha) y el resto se reparte entre pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*), pino radiata (*Pinus radiata*), pino jeffreyi (*Pinus jeffreyi*) y *Pinus contorta* (var. *latifolia* y var. *murrayana*) principalmente. La mayoría (86%) está creciendo en las calidades de sitio II ($15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y III ($11 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) de las 4 identificadas para pino ponderosa. La calidad I ($20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) presenta potencial para especies de mayor valor, incluidas las nativas (Loguercio *et al.* 2015).

El pino ponderosa demuestra un incremento anual en volumen de entre $8 \text{ y } 29 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Gonda, 1998; Gonda *et al.*, 2009). En el Campo Experimental Agroforestal INTA Trevelin, con una precipitación media anual de 1.000 mm, los valores registrados para diferentes calidades de sitio variaron entre $14 \text{ y } 34 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Tejera & Honorato, 2002). Estos valores pueden ser aún mayores para la misma especie y para otras como el pino oregón y radiata en lugares de bosque nativo (zona más húmeda) (Tabla 1). Sin embargo, a pesar de esta enorme potencialidad, expuesta por prácticas silvícolas anteriores, hoy no se acepta el reemplazo del bosque nativo por especies introducidas, debido al creciente interés de la sociedad por conservar los ecosistemas naturales.

La causa de este crecimiento en volumen de madera se asocia a varios atributos del suelo, determinados principalmente por la cantidad y tipo de meteorización del material volcánico que influyen en la capacidad de almacenaje de agua y, en consecuencia, la calidad de sitio. Las variables edáficas identificadas como más relevantes son: pendiente media (5 - 25%), profundidad efectiva (> 60 cm) y agua útil (> 90 mm). Con menos importancia la textura (texturas medias), la presencia de fragmentos gruesos (< 10%), drenaje (bue-

Tabla 1. Incremento medio anual ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) de pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) y pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*) en la Región Andino Patagónica y en otros lugares del mundo.**Table 1.** Average annual increase ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{year}^{-1}$) of ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) and oregon pine (*Pseudotsuga menziesii*) in the Patagonian Andean Region and elsewhere in the world.

Especie	Lugar	Incremento medio anual ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$)
Pino ponderosa	Neuquén sector Este	8 a 29
	Neuquén sector Oeste	9 a 33
	California zona Norte (EE.UU.)	4,7 a 14,6
Pino oregón	Patagonia Argentina sector Este	11 a 14
	Patagonia Argentina sector Oeste	16 a 21
	Patagonia Chilena	15 a 20
	British Columbia (EE.UU.)	1,8 a 9,5

Extraído de Gonda (1998) y Davel *et al.* (1999).Extracted from Gonda (1998) and Davel *et al.* (1999).

no), exposición (Este, Sud, Sudeste), humedad al fin del verano ($> 20\%$) y suma de bases ($> 12 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) (Mendía & Irisarri, 1986; Ferrer *et al.*, 1991; Irisarri & Mendía, 1991, 1997; Irisarri *et al.*, 1995). Estos autores proponen una metodología inductiva, paramétrica y aditiva para establecer el potencial forestal de pino ponderosa, principalmente para estimar la calidad de sitio previo a la existencia de los árboles. Los antecedentes mencionados sirvieron a otros autores para inferir la calidad de sitio en base al estimador más difundido y conocido como índice de sitio⁶ (Andenmaten *et al.*, 2002).

Por su parte, el pino oregón posee una madera con mayor valor de mercado y es la segunda en importancia si se considera la superficie implantada. El Inventario Nacional de Plantaciones Forestales (2017) señala que con 855 ha ocupa el 1% de la superficie. Es más exigente en cuanto a la calidad de sitio que el pino ponderosa, pues es poco tolerante al déficit hídrico y al efecto del viento. Por este motivo se estima que sólo hay 45.000 ha con potencial para esta especie. Cuando reemplaza al bosque nativo de *Nothofagus* (zona muy húmeda $\approx 2.000 \text{ mm}$), en la parte baja de las laderas protegidas (Este,

Sudeste) y con suelos profundos, presenta excelentes crecimientos ($> 40 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$). En un buen sitio del Campo Experimental Agroforestal INTA Trevelin (1.000 mm de precipitación media anual) alcanzó los $41 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (Tejera, comunicación personal).

Actualmente se lo promueve sólo en lugares libres de bosque nativo con precipitaciones de > 900 en Neuquén y de $> 600 \text{ mm}$ en Chubut y Río Negro (Loguercio *et al.*, 2015). Es susceptible al frío (principalmente a edades tempranas) cuando se acumula en lugares cóncavos o con poca pendiente. Junto con el almacenamiento de humedad la especie necesita de mayor fertilidad. Por este motivo la calidad de sitio se relaciona con la exposición, altitud, profundidad efectiva, textura, espesor del horizonte A y porcentaje de materia orgánica. Esta última variable es la más relacionada con la productividad (Davel & Ortega, 2003) y se hace más relevante en los sitios con menor precipitación. La especie presenta incrementos medios anuales entre 11 y $36 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (Davel *et al.*, 1999; Davel, 2008; Tejera & Honorato, 2002).

El pino radiata es otra especie de buena calidad de madera y altos crecimientos en suelos

⁶ El índice de sitio de un rodal se define como la altura promedio de los 100 árboles más gruesos por hectárea a una edad de referencia a la altura del pecho (generalmente de 25, 50 años).

semejantes a los promocionados para pino ponderosa y oregón (Fig. 13). Sin embargo, desde la década de 1990 se dejó de fomentar por motivos sanitarios. La mariposita europea del brote del pino (*Rhyacionia buoliana*) afectó muchas plantaciones en la región (incluyendo también al pino ponderosa). Actualmente la plaga ha dejado de ser importante y se busca promover nuevamente la especie. Con lluvias de 1.000 mm en el Campo Experimental INTA Trevelin se registran crecimientos entre $24 - 27 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Tejera, comunicación personal).

Modificaciones en el suelo por la presencia de bosque implantado de pino

El potencial forestal para diferentes especies introducidas (especialmente pino) que posee la Región Andino Patagónica ha sido demostrado por

innumerables estudios en Neuquén, Río Negro y Chubut. Sin embargo, existen interrogantes sobre el efecto de estas masas boscosas en algunos atributos del ecosistema. Un ecosistema que en la mayoría de los casos fue modificado previamente por el uso antrópico a través del fuego, la extracción de material leñoso y el sobre pastoreo con ganado doméstico (Bonvissuto *et al.*, 1993; Schlichter & Laclau, 1998). Generalmente las plantaciones no reemplazan ecosistemas naturales, por el contrario, lo hacen sobre suelos que están afectados por un proceso de degradación debido a la pérdida del horizonte superficial, la cobertura vegetal y la sustitución por especies arbustivas y menos palatables.

Junto al cambio de vegetación, la biodiversidad y el ciclo hidrológico se cuestionan también los efectos en el suelo (propiedades físicas, químicas y/o biológicas). Sobre todos ellos es fundamental considerar al menos, el sitio, la historia de uso del suelo,



Figura 13. Ladera con regeneración natural post incendio de pino radiata con diferentes profundidades de suelo derivado de ceniza volcánica (horizontes superiores oscuros) según la posición en el paisaje. Para una misma edad, los árboles son más altos a mayor profundidad efectiva del suelo (mejor calidad de sitio en parte media y baja de la ladera).

Figure 13. Slope with natural regeneration after radiata pine fire with different depths of soil derived from volcanic ash (dark upper horizons) depending on the position in the landscape. Trees for a same age, are taller at a greater effective depth of the soil (better site quality in the middle and lower part of the slope).

la escala y manejo de la plantación. En este sentido, los cambios pueden ser considerados positivos, neutros o negativos con respecto a la situación anterior a la implantación. Seguidamente presentamos algunos de los conocimientos al día de hoy sobre variables relacionadas al suelo, principalmente por efecto del pino ponderosa en reemplazo de la estepa en la zona Este de la Región Andino Patagónica.

Horizonte orgánico. La formación del horizonte orgánico es, sin duda, el cambio edáfico más significativo en los bosques implantados sobre vegetación de estepa. Según Pritchett (1991) la hojarasca es la que permite diferenciar los suelos forestales de los agrícolas (Fig. 14).

La capa superficial de restos vegetales es una “epidermis edáfica” que lo protege de los efectos



Figura 14. Hojarasca de pino ponderosa (horizonte O) compuesta por acículas y conos en diferentes estados de descomposición (por delante del cuchillo se observa la parte superficial del horizonte A). El color más claro en la capa de hojarasca corresponde a hifas de hongos.

Figure 14. Ponderosa pine litter (O horizon) composed of needles and cones in different states of decomposition (in front of the knife the superficial part of horizon A is observed). The lightest color in the litter layer corresponds to fungal hyphae.

erosivos, de las temperaturas extremas, modifica la recirculación de nutrientes y el ciclo del agua. Sus características dependen de la calidad y cantidad de los aportes y de los procesos de descomposición. En un estudio realizado en dos rodales de pino ponderosa el principal aporte fue de acículas (75%) y conos (17%). La cantidad de aporte aéreo realizado por el bosque ($7 \text{ tn ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) fue 17 veces más grande que el de la estepa (Buduba, 2006). El mismo autor, en 29 rodales distribuidos a lo largo de toda la región, determinó que la cantidad de material que conforma el horizonte orgánico varía entre $0,29$ y 132 tn ha^{-1} correlacionándose positivamente con la edad, la altura dominante y el área basal del rodal (Fig. 15). Además, el aporte mostró variaciones a lo largo del año y según la distancia al tronco, explicando la heterogeneidad que se observa en muchos casos en el espesor del horizonte orgánico dentro del bosque.

La acumulación del material en superficie por bajas tasas de descomposición puede atribuirse a condiciones micro climáticas del bosque y a la alta relación lignina / nitrógeno (Mazzarino *et al.*, 1998; Candan *et al.*, 2003). La hojarasca senescente del pino ponderosa que conforma el horizonte O, presenta en la región valores de C/N entre 73 y 127, según el grado de descomposición (Buduba, 2006; Araujo & Austin, 2015). Las plantas herbáceas de estepa también poseen muy bajas concentraciones de N al momento de incorporarse al suelo (C/N entre 86 y 227, según la especie), funcionando como un mecanismo para preservar este importante nutriente (Mazzarino *et al.*, 1998). Es decir, que ambas hojarascas presentarían, desde el punto de vista de la relación C/N, baja susceptibilidad para la descomposición biológica. Seguramente la diferencia en la descomposición dentro del bosque entre las hojas anuales del pasto (se descomponen más rápido (Buduba, 2006) y las de larga duración del pino, está dada por la presencia y cantidad de la fracción lipídica (grasas, ceras y resinas) (Panno *et al.*, 1986).

En un ensayo de descomposición de 15 meses la hojarasca de pino tuvo un comportamiento similar bajo ambiente de bosque y estepa, perdiendo el

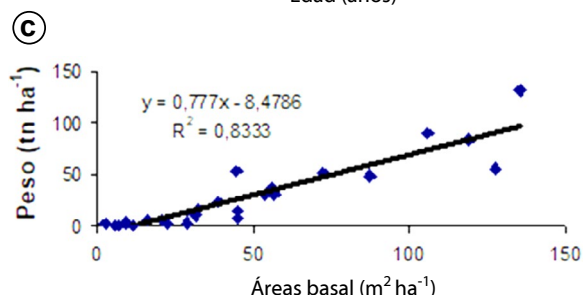
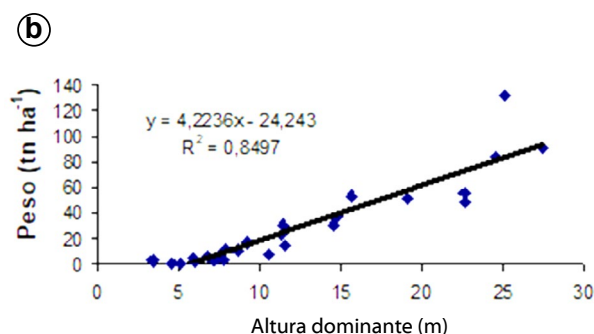
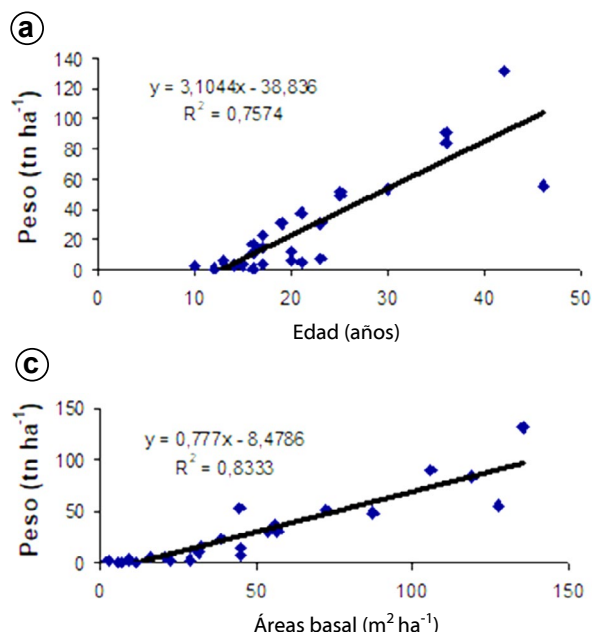


Figura 15. Relación entre el peso del horizonte orgánico (tn ha⁻¹) y: a) la edad, b) la altura dominante y c) el área basal en rodales de pino ponderosa (Extraído de Buduba, 2006).

Figure 15. Relationship between the weight of the organic horizon (tn ha⁻¹) and: a) age, b) the dominant height and c) the basal area in ponderosa pine stands (Extracted from Buduba, 2006).

61% del peso inicial (Buduba, 2006). Este resultado indicaría que la mineralización de la hojarasca del pino depende más de su composición química que de las condiciones ambientales que poseen el bosque y la estepa. No obstante, en ambiente de estepa la broza de pastizal y las acículas de pino no mostraron diferencias significativas en su descomposición. Por el contrario, Araujo y Austin (2015) observaron que la hojarasca de pino se descompuso de manera diferente y que ese comportamiento se vincula con la precipitación y la radiación solar incidente. Esto podría estar explicando que cuando se permite el mayor ingreso de luz y agua, a tra-

vés de un adecuado manejo silvícola, se observa una desaparición rápida del horizonte orgánico.

Entrampe de partículas. El entrampe que realizan las plantaciones de partículas provenientes de áreas degradadas y/o recientemente expulsadas por volcanes, se constata con el incremento en el grosor del horizonte A (Fig. 16). Distintos estudios demuestran que el espesor del horizonte superficial es significativamente mayor dentro del bosque implantado en comparación al pastizal adyacente. Esto sin duda provoca cambios en la potencialidad productiva del sistema (Broquen *et al.*, 2003; Buduba, 2006; La Manna *et al.*, 2018a). Estudios so-



Figura 16. Parte superficial del suelo mineral bajo bosque de pino ponderosa en donde se retiró mecánicamente el horizonte orgánico. En la parte superior se observan algunos restos de hojarasca junto a hifas de hongos y por debajo, el material entrampado por el bosque desde la caída de la ceniza en 2008 (erupción volcán Chaitén). La ceniza reciente corresponde a la franja clara, depositada sobre el suelo original que se encuentra más abajo.

Figure 16. Surface part of the mineral soil under ponderosa pine forest where the organic horizon was mechanically removed. In the upper part there are some remains of leaf litter next to hyphae of fungi and below, the material trapped by the forest since the fall of the ash in 2008 (Chaitén volcano eruption). The recent ash corresponds to the clear strip, deposited on the original ground below.

bre el comportamiento de la ceniza producida en la erupción del volcán Chaitén en 2008, demostraron que en el pastizal únicamente se conserva bajo matas de vegetación. Por el contrario, en la plantación la ceniza forma un manto homogéneo, con un espesor significativamente mayor al registrado en el pastizal (Tarabini *et al.*, 2019). Estos autores obtuvieron que dentro del bosque la ceniza se acumuló 1.400% más que en la estepa adyacente (estepa 1,7 vs. bosque 24 m³ ha⁻¹). Además, por encima de la misma identificaron el doble de material mineral reciente (estepa 1 vs. bosque 2 m³ ha⁻¹) depositado en sólo 7 años. Este proceso se conoce como “pedogénesis ascendente” (McDaniel *et al.*, 2012) y está influenciado por las características propias del bosque, el manejo y el efecto moderador del viento (Buduba, 2006), mostrando una correlación positiva con la edad, la altura dominante, el área basal y el área de proyección de copas de los árboles (Tarabini *et al.*, 2019).

Reacción del suelo. El pH o reacción del suelo manifiesta la compleja interacción entre los distintos factores formadores del suelo (material originario, organismos, clima, topografía y tiempo) (Jenny, 1961), brindando información sobre la pedogénesis y la actividad biológica asociada. Al implantarse un bosque de pino sobre vegetación de estepa, se está alterando significativamente el factor “organismos” en la ecuación de formación del suelo. En el caso del pino ponderosa el principal aporte que forma el horizonte orgánico es la hojarasca (Buduba, 2006). El cambio en el aporte cualitativo y cuantitativo de materia orgánica debería alterar la reacción del suelo, de la cual depende el balance nutricional de todo el ecosistema y la dinámica de las poblaciones de microorganismos que viven en la rizósfera.

Los estudios realizados en la Región Andino Patagónica no registran una alteración por la sustitución de la estepa por pino en primera rotación (Broquen *et al.*, 1995; Broquen, 2000; Gobbi *et al.*,

2002; Buduba, 2006; La Manna *et al.*, 2018a). Sin embargo, el bosque de pino ponderosa provoca heterogeneidad espacial en los primeros 5 cm de profundidad. Buduba (2006) observó un efecto bajo la copa de los árboles asociado al patrón de distribución del agua de lluvia, principalmente por el flujo de tronco⁷. Esta porción de la precipitación que embebe la corteza, acidifica el suelo próximo a la base del tronco. Sin embargo, al comparar el suelo que no estaba bajo el efecto del flujo de tronco con el de la estepa adyacente no se encontraron diferencias. En profundidad (entre los 10 y 60 cm) se registró una disminución de 0,1 unidades de pH que no tendría, hasta el presente, ninguna consecuencia biológica o edafogenética relevante. No obstante, hay que considerar que en su mayoría las actuales plantaciones en la Región Andino Patagónica no han cumplido todavía su primer ciclo productivo y que este cambio podría acentuarse en el tiempo con las sucesivas rotaciones.

La presencia de bases, la capacidad amortiguadora y la bioturbación (homogeniza los horizontes superficiales) en los suelos derivados de ceniza explicarían estos resultados. Apcarian *et al.* (1993) y Valenzuela *et al.* (2002) señalaron la presencia de vidrio volcánico en los horizontes superficiales, interpretando que el mismo se debe a continuos aportes por remoción y/o cenizas frescas, generando un enriquecimiento y rejuvenecimiento del suelo. Por su parte, Gobbi *et al.* (2002), observaron que entre 0 – 15 cm de profundidad el pino ponderosa no afectó el pH considerando la estepa arbustiva, pero sí cuando se reemplazó el bosque de ciprés de la cordillera (conífera nativa) con dicho pino.

A pesar de lo señalado, la “acidificación del suelo” es frecuentemente mencionada como uno de los impactos más importantes producidos por la implantación de bosques de “rápido crecimiento” en el ecotono estepa / bosque andino patagónico (Buduba, 2001). Esta idea, que generalmente se la asocia a las plantaciones de coníferas, tiene su

7 Flujo de tronco: agua que se canaliza durante la lluvia por el tronco de cada árbol e ingresa al suelo en la base del mismo.

origen en la pérdida de productividad que los bosques europeos evidenciaron como consecuencia del retiro del horizonte orgánico, durante cientos de años, para ser utilizado como pesebre en los establos (Urrego, 1997). La acidificación del suelo es un proceso natural que ocurre en terrenos cubiertos por pastizales y bosques (Mussini *et al.*, 1984), sean estos naturales o implantados e independientemente que la especie sea nativa o introducida. No obstante, en muchos suelos existen ejemplos de acidificación producida bajo diferentes tipos de bosque que origina lixiviación de bases, modificando la disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica.

Humedad del suelo. La presencia de los árboles también influye sobre la humedad edáfica, siendo más importante el efecto en la franja más seca de la región. La intercepción del agua por parte del dosel arbóreo y del horizonte orgánico puede pro-

vocar que una parte importante de la precipitación no moje los horizontes minerales del suelo (Buduba, 2016; Gómez *et al.*, 2019). El porcentaje de esa pérdida puede ser alto y depende de factores propios del bosque (especie, densidad de plantación, manejo silvícola) y del evento climático (cantidad, frecuencia e intensidad de la lluvia, tipo de precipitación, velocidad y dirección del viento, humedad relativa). Si bien esto incide en el ciclo hidrológico, el efecto puede disminuirse con el manejo de la densidad y el tamaño de los parches forestados (Gyenge *et al.*, 2011) (Fig. 17). Las prácticas que implican menores cantidades de árboles por hectárea (sistema silvopastoril) favorecen el ingreso al perfil del suelo y consumen menos agua. En este tipo de plantaciones Gyenge *et al.* (2010) determinaron que el uso del agua es similar al del pastizal. Al evaluar el efecto de las plantaciones en la productividad herbácea y flujo de agua en malli-



Figura 17. Forestación de pino ponderosa en la zona Este (≈ 300 mm) de Río Negro (*Rayhuao*) correspondiente al Perfil 6. La distribución en el paisaje en forma de parches, seleccionando los lugares con mayor aptitud forestal, complementa la producción forrajera de pastizales y mallines.

Figure 17. Ponderosa pine afforestation in the eastern zone (≈ 300 mm) of Río Negro (*Rayhuao*) corresponding to Profile 6. The distribution in the landscape in the form of patches, selecting the sites with greater forest aptitude, complements the forage production of grassland and wetlands.

nes paisajísticamente conectados, Weigandt *et al.* (2015) no encontraron efectos por la presencia de los árboles en esos sitios de estepa.

Materia orgánica. La materia orgánica es incorporada al suelo mineral por el aporte superficial y subterráneo realizado principalmente por la vegetación. La misma puede formar complejos órgano – minerales, dependiendo de las características de las sustancias orgánicas incorporadas y del grado de intemperización de la ceniza volcánica (alofano, imogolita y/o haloisita). En cada sitio su dinámica es consecuencia de la interacción de los diferentes factores formadores del suelo, destacándose en particular su historia de uso. Al producirse un cambio en la vegetación, de pastizal de estepa a bosque de pino, hay un aumento significativo en el aporte aéreo y en la biomasa radical (Buduba, 2006). Sin embargo, este hecho no implica una ganancia de materia orgánica edáfica, pues para que ocurra, es necesario un incremento simultáneo en los procesos de descomposición. El balance total de incorporación de materia orgánica en el suelo puede ser positivo (Wild, 1992) o negativo (Laclau, 2003) y se pueden presentar ambos comportamientos a diferentes profundidades dentro de un mismo perfil de suelo. Esto es así pues la distribución de la materia orgánica en profundidad, implica un cambio muy evidente al pasar de pastizal a bosque (Birkeland, 1998).

En suelos derivados de ceniza volcánica la fracción orgánica puede formar un complejo húmico arcilloso con enlaces muy estables; es la principal causa de la abundante cantidad de materia orgánica que presentan y que caracteriza, con su epipedón melánico, a los Andisoles (Soil Survey Staff, 2014). En parcelas ubicadas en Patagonia, Laclau (2002, 2003) y Buduba *et al.* (2016) observaron que la estepa presentaba valores más altos de materia orgánica que en bosque de pino ponderosa. Laclau (2002, 2003) atribuye este comportamiento a que el cierre del canopy del bosque impide, por competencia, el crecimiento de vegetación herbácea y por ende, el aporte de materia orgánica más lábil y más vinculada a la fracción mineral (aporte radical). Con el cierre gradual del dosel arbóreo

(más evidente en un bosque sin poda y raleo) se restringe la llegada de agua y luz a los estratos inferiores, desapareciendo las plantas herbáceas y aumentando el aporte de biomasa al suelo por las ramas y acículas sombreadas. Seguramente también exista una contribución por mortandad de raíces debido a la competencia excesiva entre los árboles. En estas condiciones se registró una ganancia de materia orgánica a diferentes profundidades en relación a la estepa adyacente en plantaciones densas, fundamentalmente en suelos no alofanizados de menor fertilidad (Buduba *et al.*, 2016; La Manna *et al.*, 2016). Hasta el momento y considerando que la mayoría de las plantaciones todavía están en la primera rotación (no hubo aportes por la incorporación masiva del sistema radical luego de la tala), no hay evidencias suficientes que aseguren un incremento en la captura de carbono con respecto a la estepa (Laclau, 2003; Candan *et al.*, 2003; Buduba, 2006; Laclau *et al.*, 2008).

Porosidad e infiltración. La porosidad total del suelo puede ser modificada por el tipo de cultivo, las diferentes situaciones de manejo y el tránsito de animales y/o maquinaria. Estas causas condicionan la agregación y la configuración del sistema poroso. También el reemplazo de vegetación puede hacer variar la cantidad y calidad de los poros. Broquen *et al.* (2000) señalan que la porosidad total no varía entre bosque de *Nothofagus* y pino ponderosa, aunque observaron un cambio de estructura que refleja una variación en la distribución del sistema poroso. Observaciones similares en suelos no alofánicos hicieron La Manna *et al.* (2018a), que describen una mejora en la estabilidad estructural en sitios de baja calidad con bosque de pino en relación a la estepa, tanto bajo matas como entre las matas de vegetación. Al considerar bosque de pino ponderosa y estepa, Haag y Buduba (2006) tampoco detectaron cambios en la porosidad total. Sin embargo, en 29 sitios distribuidos a lo largo de toda la región se registró una mayor abundancia de raíces dentro del bosque a 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad (Buduba, 2016) que podría asociarse a cambios en la distribución del tipo de poros (de micro a

macro poros). La porosidad superficial total en bosque de pino ponderosa está relacionada con el grado de deterioro del suelo y puede variar entre 36 y 87% (Broquen *et al.*, 2000; Candan *et al.*, 2004; Haag & Buduba, 2006).

La porosidad también se relaciona con la densidad aparente, que en suelos de ceniza volcánica presenta valores bajos. Al estudiar esta propiedad a nivel regional no se encontraron variaciones entre el bosque de pino ponderosa y la estepa (Buduba, 2006). Sin embargo, La Manna *et al.* (2018a) al considerar solamente suelos no alofanizados, registraron menor densidad aparente en la plantación que en la estepa.

Otra propiedad física asociada que puede modificarse por el cambio de vegetación es la infiltración (cantidad de agua que ingresa al suelo en un tiempo determinado). Esta define el agua que humedece el perfil del suelo y la que escurre superficialmente pudiendo iniciar procesos erosivos. La infiltración se relaciona con la cobertura vegetal, la presencia o ausencia de horizonte orgánico y con las propiedades que definen el tamaño, geometría y cantidad de poros a lo largo del perfil (textura, estructura, densidad aparente, contenido y tipo de coloides órgano minerales). Como se ve, son numerosas variables que interactúan de manera compleja en donde también, las raíces modifican el sistema poroso facilitando el movimiento del agua. Al contrastar situaciones de pino ponderosa con estepa se determinó un aumento significativo en la infiltración básica⁸ dentro del bosque. El valor promedio en el bosque fue 18 cm h⁻¹ y en la estepa 10 cm h⁻¹ (Ciámpoli *et al.*, 2004).

Erosionabilidad. La disminución del viento dentro del bosque, la presencia del horizonte orgánico y la mejora en la estabilidad estructural hacen que el suelo de bosque de pino ponderosa sea más resistente ante los agentes erosivos. Estos cambios físicos del suelo se relacionan con un mayor contenido de materia orgánica, grado de alofanización, porosidad e infiltración dentro del bosque (Ciámpoli *et al.*, 2004; La Manna *et al.*, 2016).

Ensayos de lluvia simulada con distintos tipos de vegetación demostraron que las tasas de erosión potencial son significativamente superiores en pastizales degradados respecto a situaciones con pino ponderosa, inclusive cuando se elimina mecánicamente el horizonte orgánico. La Manna *et al.* (2016) registraron una variación entre 1.440 y 7.500 kg ha⁻¹ en la estepa, contra un valor medio de 62 kg ha⁻¹ en el bosque de 22 años. Estos valores son similares a los registrados para bosque nativo de ciprés de la cordillera (Morales *et al.*, 2013). El efecto del dosel del bosque sobre la distribución de la precipitación también influye sobre la vulnerabilidad del suelo, pues disminuye el efecto erosivo de las gotas de lluvia. Sin embargo, dentro del bosque se evidenció una tendencia al escurrimiento superficial que se asociaría a un incremento en la hidrofobicidad del suelo. Este comportamiento relacionado a una hojarasca abundante en compuestos hidrofóbicos es importante cuando el suelo está seco y empieza a humedecerse. Es decir, el riesgo de escorrentía dentro del bosque disminuiría a medida que la precipitación logra mojar el horizonte orgánico y la parte superficial del horizonte mineral.

Organismos edáficos. Las modificaciones descritas en las condiciones micro ambientales, el aporte de hojarasca, la reacción del suelo, la materia orgánica, entre otras, generadas por el bosque de pino ponderosa también afectan a la fauna edáfica. Variaciones en las propiedades físicas y químicas que alteran el alimento y el hábitat de las diferentes comunidades de microorganismos. En este sentido, al estudiar el ensamble de los macro artrópodos epigeos en rodales con diferentes coberturas, posiciones en la ladera y porcentaje de materia orgánica, se determinó mayor abundancia en el bosque abierto (representada en un 85% por *Microcoryphia: Machilidae*) que en la estepa adyacente. En esta última dominaban carábidos, tenebriónidos del género *Nyctelia* y *Blaptinus punctulatus*, y hormigas (*Pogonomyrmex angus-*

8 Infiltración básica: velocidad constante de entrada de agua al suelo.

tus). En cambio, en el rodal más denso el número de individuos fue casi nulo (Gómez *et al.*, 2018; La Manna *et al.*, 2018b). Por su parte, Corley *et al.* (2006) afirman que las hormigas son sensibles a la densidad del bosque, tanto en abundancia como en diversidad de especies. El manejo silvícola a edades tempranas no reduce el efecto sobre hormigas y escarabajos (Corley *et al.*, 2012). En un estudio de ácaros para evaluar su potencial como bio indicadores, se identificaron especies comunes y propias de la estepa y del bosque, también se observaron modificaciones en la riqueza de especies a favor del pastizal (Rizzuto *et al.*, 2016; Rizzuto & Manso, 2018).

La presencia de hongos en el bosque de pino puede ser muy abundante según los lugares y la época. Las micorrizas (simbiosis entre un hongo (*mycos*) y las raíces (*rhizos*) de una planta) facilitan la absorción de nutrientes y agua. Su existencia es muy importante para el establecimiento y buen crecimiento de los pinos. Algunas de ellas pueden ser comestibles como el típico hongo de sombrero de pino (*Suillus luteus* (Fr.) Gray) (Barroetaveña, 2006). La ocurrencia de sus fructificaciones está asociada con la materia orgánica, humedad edáfica, cobertura y profundidad del horizonte orgánico (Barroetaveña *et al.*, 2008).

CONSIDERACIONES FINALES SOBRE EL SUELO Y EL BOSQUE IMPLANTADO

La disminución de la capacidad productiva de la tierra originada por las inadecuadas prácticas en el manejo a nivel regional, hace que el bosque implantado pueda considerarse ambientalmente por su rol en la conservación de los suelos. Suelos de pastizales degradados altamente erosionables que pueden ser preservados por el horizonte orgánico, por la disminución del efecto de los agentes erosivos (viento y agua) y por el entrapamiento de partículas eólicas. Esto sumado a la mejora en la fertilidad física y al incremento de materia orgánica cuan-

do el bosque crece en suelos de menor fertilidad y en ausencia de sustancias alofánicas. Sin embargo, dado que los efectos positivos provocados por el pino ponderosa son mayores en los suelos más pobres (calidad de sitio IV, $8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), la calidad de sitio no debería ser la única variable en la toma de decisiones para la implantación.

Los efectos negativos de las plantaciones (capacidad invasora de algunas especies, cambios en la biodiversidad, aumento del riesgo de incendios, consumo de agua, entre otros) pueden minimizarse mejorando el manejo silvícola, favoreciendo los sistemas silvopastoriles y diversificando las especies empleadas (nativas e introducidas). Las variables ambientales descriptas hacen posible también la viabilidad económica de las plantaciones con diferentes especies introducidas (Laclau *et al.*, 2002). Actualmente esta actividad debe posicionarse como complementaria a una cultura ganadera extensiva con ingresos monetarios anuales que puede incrementarlos diversificando la producción. En un marco de cambio climático incierto, se puede considerar que las coníferas que se implantan actualmente podrán mejorar las condiciones del suelo deteriorado, posibilitando a futuro la existencia de bosques más valiosos y exigentes en cuanto a la calidad de sitio.

AGRADECIMIENTOS

Por el aporte desinteresado de información (generalmente sin publicar) expresamos nuestro profundo reconocimiento a los siguientes referentes regionales: M.Sc. Ing. Ftal. Luis Tejera, Dr. Ing. Ftal. Gabriel Loguercio, Dr. Ing. Ftal. Luis Chauchad, Dr. Ing. Ftal. José Bava, Dra. Lic. Cecilia Gómez, M.Sc. Ing. Ftal. Horacio Claveri, Ing. Ftal. Manuela Tarabini, M.Sc. Ing. Ftal. Silvio Antequera, M.Sc. Ing. Agr. Cristina Dellacanónica, Téc. Ftal. Teresa Schinelli Casares, Dr. Ing. Ftal. Francisco Carabelli y Dr. Ing. Ftal. Federico Letourneau.

APÉNDICE

A continuación, se presentan las propiedades de los 6 perfiles de suelos analizados en el texto, donde se menciona la fuente de la información. En la mayoría de los estudios edáficos no se realizaron la totalidad de las determinaciones analíticas que contempla USDA para Andisoles. Por lo tanto, las clasificaciones que se muestran en los siguientes perfiles son aproximadas.

Perfil 1

Perfil: 201, del "Estudio regional de suelos de la Provincia del Neuquén" (Ferrer *et al.*, 1991).

Fecha de observación: 27/3/85

Ubicación: 14 km al NO del Lago Rucachoroi.

39° 12' 8,32" Lat. S - 71° 17' 50,11" Long. O

Altitud: 1.370 m s.n.m.

Geomorfología: cono coluvial. Pendiente: 30%

Precipitación media anual: 1.600 mm.

Material originario: ceniza volcánica.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal, bosque nativo denso.

Clasificación: Fulvudand.

O1	0 - 2 cm	Estructura fibrosa restos orgánicos, se observa restos de araucaria. Muchas raíces muy finas y finas. Sin reacción al test de NaF. Límite abrupto.
O2	2 - 4 cm	Estructura fibrosa, en parte migajosa. Muchas raíces muy finas y pocas medianas. Sin reacción al test de NaF. Límite abrupto.
A	4 - 29 cm	Franco limoso a franco arenoso fino. Pardo oscuro (10YR 2/2, h). Estructura granular fina moderada. Muy friable. Raíces comunes muy finas y pocas medianas. Reacción moderada al test de NaF. Límite gradual y suave.
Bw1	29 - 58 cm	Franco limoso a franco arenoso fino. Pardo oscuro (10YR 3/2, h). Estructura masiva. Muy friable. Raíces muy finas comunes. Reacción fuerte al test de NaF. Límite gradual y suave.
Bw2	58 - 96 cm	Franco limoso a franco arenoso fino. Pardo amarillento (10YR 6/4, s) y pardo oscuro (10YR 3/2, h). Estructura masiva. Friable. Abundantes raíces muy finas. Fuerte reacción al test de NaF. Límite gradual suave.

DATOS ANALÍTICOS

Horizonte		O1	O2	A	Bw1	Bw2
Carbono orgánico	(%)	43,9	39,4	9,5	6,25	-
Materia orgánica	(%)	75,5	67,8	16,35	10,76	-
Nitrógeno total	(%)	1,27	1,06	0,56	-	-
Arcilla	(%)	-	-	7,8	5,6	2,5
Limo	(%)	-	-	29	32,6	39,5
Arena	(%)	-	-	63,2	61,8	58
pH agua		6,1	5,8	5,1	4,9	4,5
pH KCl		5,6	5,8	5,0	4,9	4,5
Bases de cambio	(cmol _c kg ⁻¹)	Ca ²⁺	63,9	61	15,2	7,0
		Mg ²⁺	12,5	11,5	6,8	5,9
		K ⁺	1,5	1,2	0,2	0,08
		Na ⁺	1,05	0,5	0,35	0,3
CIC	(cmol _c kg ⁻¹)	82,2	97	37,1	31	30,3
pH NaF	2'	8,3	8,6	11,1	10,7	10,8
	60'	9,0	9,1	11,5	11,4	11,5
Retención de fosfatos	(%)	66	76	97	98	98
Densidad aparente	(g cm ⁻³)	0,52	0,52	0,82	0,85	0,99
Cte. hídrica	(0,03 MPa)	-	-	41,2	36,8	34,3
(% en vol.)	(1,5 MPa)	-	-	28,5	22,7	18,8

Perfil 2

Perfil: 1, de “Zonificación de las tierras para la aptitud forestal de la Provincia del Chubut” (Irisarri *et al.*, 1995).

Fecha de observación: 4/2/95

Ubicación: Obraje Industria Forestal Andina - Hoja El Maitén.

42° 02' 00,0" Lat. S - 71° 22' 08,5" Long. O

Altitud: 1.040 m s.n.m.

Geomorfología: ladera. Pendiente: moderadamente escarpada - 14% Exposición: E - SO.

Vegetación: bosque de lenga con sotobosque de caña colihue con una cobertura vegetal del 100%.

Material originario: ceniza volcánica.

Condición de la superficie del suelo: sin piedras y erosión.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: aprovechamiento forestal.

Clasificación: Hapludand (Fig. 18).

Oe	1 - 0 cm	Abundantes raíces.
A	0 - 2 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, h). Pseudolimo y pseudoarena. Migajosa. Raíces muy abundantes. Límite neto y plano.
Bw	2 - 40 cm	Pardo amarillento oscuro (10YR 4/6, h). Pseudolimo y pseudoarena. Migajosa. Raíces muy abundantes. Reacción al NaF: positiva. Temperatura a los 40 cm: 8,1 °C.
2B	40 - 60+ cm	70% de fragmentos gruesos.

DATOS ANALÍTICOS

Horizonte/profundidad de muestreo			A (2 cm)	Bw (10 cm)
pH pasta			5,9	6,4
pH ClK	(1:2,5)		5,0	5,8
pH NaF	2'		10,7	12
	60'		11	12,3
Bases de cambio	(cmol _c kg ⁻¹)	Ca ²⁺	17,6	2,3
		Mg ²⁺	3,95	0,4
PO ₄ ⁼ retención	(%)		96	100
Densidad aparente	(g cm ³)		-	0,46
Cte. hídrica	(0,03 MPa)		60,9	50,4
(% en vol.)	(1,5 MPa)		44,6	26,9
Humedad actual	(%)		-	43,1



Figura 18. a) Hapludand, b) en bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*) con sotobosque de caña colihue (*Chusquea culeou*).

Figure 18. a) Hapludand, b) under lenga (*Nothofagus pumilio*) forest with *Chusquea culeou* understorey.

Perfil 3

Perfil: 169, de "Modificaciones en el pH y contenido de materia orgánica en suelos del ecotono estepa / bosque andino patagónico por implantación de pino ponderosa" (Buduba, 2006).

Fecha de observación: 21/1/03

Ubicación: E. Torres - Hoja Corcovado.

43° 29' 16,2" Lat. S - 71° 18' 30,6" Long. O

Altitud: 800 m s.n.m.

Geomorfología: parte alta de ladera. Pendiente: 0% (llana).

Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 70% (Fig. 19).

Material originario: ceniza volcánica.

Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos y erosión.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Vitrixerand.

Oi	0 - 1 cm	Se presenta discontinuo siendo más profundo bajo la copa de los pinos y nulo entre los árboles.
A	1 - 26 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2, s) y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, h). Franca arenosa. Granular, fina, débil. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al NaF: instantánea y suave.
AC	26 - 61 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2, s) y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, h). Franca arenosa. Masiva con tendencia a grano suelto. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al NaF: instantánea y moderada.
C	61 - 110+ cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2, s) y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, h). Franca arenosa. Grano suelto. Raíces comunes. Reacción al NaF: instantánea y moderada.

DATOS ANALÍTICOS

		Profundidad de muestreo (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	5,89	6,14	6,20	6,34	6,39	6,39
pH NaF	2'	-	-	7,83	-	8,40	-
	60'	-	-	9,06	-	10,16	-
Materia orgánica	(%)	2,78	2,50	2,62	2,72	2,61	2,70
Humedad actual	(%)	-	1,32	3,14	2,92	4,17	4,93
Densidad	(g cm ⁻³)	-	1,40	1,36	1,29	1,31	1,27
Infiltración básica	(cm h ⁻¹)	7,14					



Figura 19. a) Pino ponderosa creciendo en un Vitrixerand, b) reemplazando un pastizal natural degradado por mal manejo en donde predomina el suelo desnudo y la *Acaena splendens*.

Figure 19. a) Ponderosa pine growing on Vitrixerand, b) replacing a degraded rangeland, with dominance of bare soil and *Acaena splendens* cover.

Perfil 4

Perfil: 245, de “Modificaciones en el pH y contenido de materia orgánica en suelos del ecotono estepa / bosque andino patagónico por implantación de pino ponderosa” (Buduba, 2006).
Fecha de observación: 24/1/00
Ubicación: Ea. El Parque - Hoja Trevelin.
43° 02’ 12” Lat. S - 71° 23’ 5,2” Long. O
Altitud: 680 m s.n.m.
Geomorfología: parte superior de ladera larga. Pendiente: 5% Exposición: SE.
Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 100%.
Material originario: ceniza volcánica.
Condición de la superficie del suelo: algunos bloques grandes redondeados de 1 m de diámetro. Sin erosión.
Drenaje: bien drenado a moderadamente bien drenado.
Uso de la tierra: forestal.
Clasificación: Haploxerand.

Oi	0 - 7 cm	Hojarasca de pino ponderosa.
Oe	7 - 8 cm	Hojarasca de pino ponderosa.
A	8 - 38 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, s) y negro (10YR 2/1, h). Franca arenosa. 5% de fragmentos gruesos de tamaño menor a 3 cm de diámetro. Migajosa. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al NaF: lenta y suave. Temperatura a los 5 cm: 11,2 °C.
AC	38 - 68 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, s) y pardo muy oscuro (10YR 2/2, h). Franca arenosa. 5% de fragmentos gruesos de tamaño menor a 3 cm de diámetro. Masiva con tendencia a grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al NaF: instantánea y suave. Temperatura a los 50 cm: 11,7 °C.
C	68 - 110+ cm	Pardo (10YR 5/3, s) y pardo oscuro (10YR 3/3, h). Franca arenosa. 5% de fragmentos gruesos de tamaño menor a 3 cm de diámetro. Masiva. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Reacción al NaF: instantánea y suave. Temperatura a los 100 cm: 11 °C.

DATOS ANALÍTICOS

		Profundidad de muestreo (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,37	6,90	6,70	6,58	6,68	6,91
pH NaF	2'	-	-	9,47	-	10,07	-
	60'	-	-	9,82	-	10,34	-
Materia orgánica	(%)	21,57	17,66	14,36	11,82	9,07	6,05
Humedad actual	(%)	-	40,37	57,18	54,13	62,01	50,54
Cte. hídrica	(0,03 MPa)	-	17,26	28,6	28,42	25,08	31,33
(% en vol.)	(1,5 MPa)	-	7,44	12,63	12,47	11,11	14,78
Densidad	(g cm ⁻³)	-	0,31	0,52	0,58	0,57	0,84
Infiltración básica	(cm h ⁻¹)	17,71					

Perfil 5

Perfil: 253, de la "Transecta Modelo Futaleufú - Esquel" (Irisarri *et al.*, 2000).

Fecha de observación: 10/11/00

Ubicación: Ea. El Remanso – Cholila.

42° 29' 34,7" Lat. S - 71° 29' 2,1" Long. O

Altitud: 550 m s.n.m.

Geomorfología: planicie glacifluvial. Pendiente: suavemente inclinada, 5% Exposición: NO.

Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 100% (**Fig. 20**).

Material originario: glacifluvial.

Condición de la superficie del suelo: sin piedras y erosión.

Drenaje: imperfectamente drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Hapludol.

Oi	8 - 4 cm	Hojarasca de pino.
Oa	4 - 0 cm	Hojarasca de pino.
A	0 - 25 cm	Pardo grisáceo (10YR 5/2, s) y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, h). Franca. Masiva con tendencia a bloques subangulares gruesos fuertes. Raíces y micorizas muy abundantes. Límite difuso y plano. Temperatura a los 5 cm: 7,3 °C. Reacción al NaF: lenta y fuerte.
AC	25 - 60 cm	Pardo (10YR 5/3, s) y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, h). Franca pseudoarenosa. Masiva con tendencia a bloques subangulares finos moderados. Raíces muy abundantes. Límite difuso y plano. Temperatura a los 50 cm: 7,4 °C. Reacción al NaF: lenta y fuerte.
C1	60 - 87 cm	Pardo amarillento claro (10YR 6/4, s) y pardo oscuro (10YR 4/3, h). Franca arcillosa. Masiva con tendencia a bloques subangulares medianos moderados. Raíces muy abundantes. Límite abrupto y plano. Reacción al NaF: lenta y fuerte.
2C2	87+ cm	Pardo grisáceo (10YR 5/2, h). Arcillosa. Masiva. Pocas raíces. Temperatura a los 90 cm: 7,0 °C. Reacción al NaF: negativa.

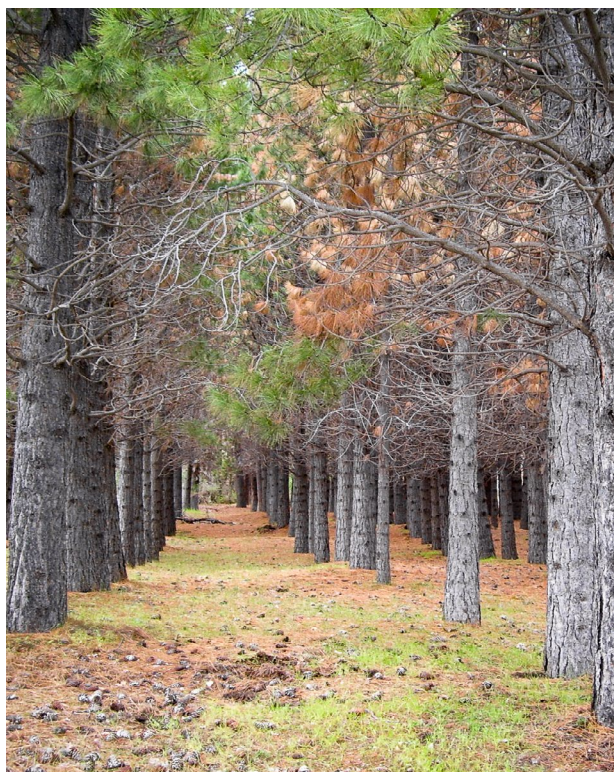


Figura 20. Pino ponderosa creciendo en un Hapludol.

Figure 20. Ponderosa pine growing on Hapludol.

Perfil 6

Perfil: 309, de “Modificaciones en el pH y contenido de materia orgánica en suelos del ecotono estepa / bosque andino patagónico por implantación de pino ponderosa” (Buduba, 2006).
Fecha de observación: 5/5/03
Ubicación: Rayhuao - Río Negro.
41° 20’ 54,3” Lat. S - 70° 35’ 9,3” Long. O
Altitud: 1.150 m s.n.m.
Geomorfología: pendiente larga en ladera. Pendiente: 6% Exposición: NO.
Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 100%.
Material originario: depósitos eólicos sobre formación arcillosa.
Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos y sin erosión.
Drenaje: bien drenado.
Uso de la tierra: forestal (Fig. 21).
Clasificación: Haploxerol.

Oi	0 - 3 cm	Hojasca de pino.
Oe	3 - 6 cm	Abundante presencia de hifas de hongos.
A	6 - 53 cm	Gris grisáceo (10YR 5/2, s) y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, h). Areno franca. 5% de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 10 cm de diámetro. Masiva con tendencia a migajosa. Consistencia dura en seco. Raíces medias y gruesas comunes. Límite difuso y plano. Reacción al NaF: negativa. Temperatura a los 5 cm: 6,4 °C.
C1	53 - 76 cm	Gris parduzco claro (10YR 6/2, s) y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2, h). Areno franca. 5% de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 10 cm de diámetro. Masiva. Consistencia blanda en seco. Raíces medias y gruesas comunes. Límite abrupto y ondulado. Reacción al NaF: negativa. Temperatura a los 50 cm: 7,6 °C.
2C2	76 - 96+ cm	Pardo pálido (10YR 6/3, s) y pardo a pardo oscuro (10YR 4/3, h). Franco arcillosa. 30% de fragmentos gruesos redondeados y angulares de tamaño menor a 15 cm de diámetro. Masiva con tendencia a bloques subangulares finos fuertes. Consistencia dura en seco. Pocas raíces gruesas. Reacción al NaF: negativa.

DATOS ANALÍTICOS

		Profundidad de muestreo (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,39	6,56	6,61	6,69	6,76	6,84
pH NaF	2'	-	-	7,93	-	7,99	-
	60'	-	-	8,02	-	8,11	-
Materia orgánica	(%)	3,15	2,22	2,41	2,22	2,97	3,71
Humedad actual	(%)	-	3,35	4,34	4,96	6,58	-
Densidad	(g cm ⁻³)	-	1,12	1,24	1,20	1,10	-
Infiltración básica	(cm h ⁻¹)	6,57					



Figura 21. Paisaje patagónico con suelos que presentan aptitud para la implantación de especies forestales.

Figure 21. Patagonian landscape with high aptitude soils for planting forest species.

BIBLIOGRAFÍA

- Andenmatten, E; C López & F Letourneau. 2002. Método del sitio de referencia para la estimación predial de calidad de sitio. INTA. Comunicación Técnica N° 21. Área Forestal. Silvicultura. Centro Regional Patagonia Norte. 10 pp.
- Apcarian, A; O Alvarez & JA Irisarri. 1993. Aplicación de los componentes principales para el estudio de los factores que afectan la distribución mineralógica de algunas cenizas volcánicas en las Provincias de Neuquén y Río Negro (R.A.). En Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mendoza: 419-421.
- Araujo, PI & AT Austin. 2015. A shady business: pine afforestation alters the primary controls on litter decomposition along a precipitation gradient in Patagonia, Argentina. *Journal of Ecology* 103: 1.408-1.420.
- Barroetaveña, C. 2006. Hongos asociados a las plantaciones forestales de la región Andino Patagónica. Manual N° 6. CIEFAP. Esquel, Chubut. 64 pp.
- Barroetaveña, C; L La Manna & MV Alonso. 2008. Variables affecting *Suillus luteus* fructification in ponderosa pine plantations of Patagonia (Argentina). *Forest Ecology and Management* 256: 1.868-1.874.
- Bava, JO; GA Loguercio & G Salvador. 2015. ¿Por qué plantar en Patagonia? Estado actual y el rol futuro de los bosques plantados. *Ecología Austral* 25: 101-111.
- Bailey, W. 1988. El Norte de la Patagonia. Naturaleza y riquezas. Tomo 1 Comisión de Estudios Hidrológicos 1911-1914. Ed. Universitaria de Buenos Aires. 500 pp.
- Birkeland, P. 1998. Pedology weathering and geomorphological research. Oxford University Press. New York, USA. 285 pp.
- Bonvissuto, G; G Siffredi; J Ayesa; D Bran; R Somlo & G Becker. 1993. Estepas subarbustivo-graminosas de *Mulinum spinosum* y *Poa ligularis*, en el área ecológica de Sierras y Mesetas Occidentales en el Noroeste de la Patagonia. Secuencias de deterioro en distintos ambientes patagónicos. Su caracterización mediante el modelo de estados y transiciones. GTZ, INTA: 23-30.
- Broquen, P. 2000. Variación de la reacción en Andisoles con *Pinus ponderosa* Dougl. en relación a la vegetación nativa, S.O. Neuquén Argentina. En Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Bs. As. Formato digital.
- Broquen, P; J Girardin & C Frugoni. 1995. Evaluación de algunas propiedades de suelos derivados de cenizas volcánicas asociadas con forestaciones de coníferas exóticas (S. O. de la Provincia de Neuquén – R. Argentina). *Bosque* 16: 69-79.
- Broquen, P; G Falbo; C Frugoni; J Girardin; M Guido & P Martinese. 2000. Estructura y porosidad en Andisoles con vegetación natural y con plantaciones de *Pinus ponderosa* (Dougl. ex Laws) en el Sudeste de Neuquén, Argentina. *Bosque* 21 (1): 25-36.
- Broquen, P; G Falbo; A Apcarián; F Candan; J Girardin & V Pellegrini. 2003. Relaciones entre las forestaciones, la erosión del suelo, y la potencialidad productiva en la transición bosque-estepa (Andino Patagonia, Argentina). *Inv. Agr., Sist. y Rec. Ftale.* 12(2): 99-110.
- Buduba, CG. 2001. Una expresión muy difundida: "los pinos acidifican y esterilizan el suelo". *Patagonia Forestal* 3: 5-6.
- 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 en Ciencias Agropecuarias, Buenos Aires, Argentina. Escuela para Graduados Alberto Soriano. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 160 pp.
- Buduba, CG; GE Defossé & JA Irisarri. 2016. Impact of ponderosa pine afforestations on soil organic matter (SOM) in semiarid steppes of western Patagonia, Argentina. *Agroforestry Systems*. 1-6.
- Candan, F; P Broquen & G Falbo. 2003. Propiedades químicas de un Vitrixerand húmico y un Haploxerol vitrándico bajo pino ponderosa y estepa (SO Neuquén). *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 32(1): 71-88.
- Candan, F; P Broquen; V Pellegrini & G Falbo. 2004. Estabilidad de la estructura de suelos ándicos bajo diferentes usos. En Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. Formato Digital.
- Carabelli, F. 1991. Estudio bibliográfico sobre lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl. Krasser) con énfasis en aspectos de dinámica y manejo del bosque. Centro de Investigaciones Forestales, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Esquel, Chubut. 32 pp.
- Chauchard, L; M González Peñalba; L Maresca; A Rabino & R Sbrancia. 1995. Dinámica y manejo del bosque de *Nothofagus*: crecimientos y mortalidad a nivel de rodal. En Actas IV Jornadas Forestales Patagónicas. San Martín de los Andes, Neuquén: 116-126.
- Ciámpoli, MC; A Haag; CG Buduba & JA Irisarri. 2004. Modificación de la infiltración básica por la implantación de pino ponderosa en suelos de estepa patagónica. En Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. Formato digital.

- Colmet-Daage, F. 1993. Principales áreas forestales de Argentina. Productividad elevada y sostenida: dos características favorables en el Cono Sur. *Suelos Forestales* 10: 257-269.
- Corley, J; P Sackmann; V Rusch; J Bettinelli & J Paritsis. 2006. Effects of pine silviculture on the ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) of the Patagonian steppe. *Forest Ecology and Management* 222: 162-166.
- Corley, JC; JM Villacide & M Vesterinen. 2012. Can early thinning and pruning lessen the impact of pine plantations on beetle and ant diversity in the Patagonian steppe? *Southern Forests* 74(3): 195-202.
- Davel, M. 2008. Establecimiento y manejo del pino oregón en Patagonia. Manual N° 9. CIEFAP, Esquel, Chubut. 148 pp.
- Davel, M; P Burschel & A Ortega. 1999. Determinación de la productividad de sitio para pino oregón en la Patagonia Andina: Guía de difusión. Folleto de Divulgación N° 13. CIEFAP, Esquel, Chubut. 16 pp.
- Davel, M. & A Ortega. 2003. Estimación del índice de sitio para pino oregón a partir de variables ambientales en la Patagonia Andina Argentina. *Bosque* (Valdivia) [online]. Vol. 24, N.1.
- Defossé, GE. 2015. ¿Conviene seguir fomentando las plantaciones forestales en el norte de la Patagonia? *Ecología Austral* 25: 93-100.
- Del Valle, H; N Elissalde; D Gagliardini & J Milovich. 1998. Status of desertification in the Patagonian region: Assessment and mapping from satellite imagery. *Arid Land Res. and Manag.* 12(2): 95-121.
- De Petre, A; JL Panigatti & JA Ferrer. 2012. Diccionario de términos edafológicos y otras voces asociadas. Ed. AACS – UNER. 79 pp.
- Donoso Z., C. 1993. Los bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Ecología Forestal. CONAE. Ed. Universitaria. Santiago de Chile. 483 pp.
- Ferrer, JA; JA Irisarri & JM Méndia. 1991. Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén. Volumen 1, Tomo 2, 3, CFI – COPADE. Bs. As. 244 pp.
- Finocchiaro, JM. 2011. Propiedades físicas y químicas del volcán Chaitén en una transecta Oeste-Este. Tesis de Grado en Ingeniería Forestal, Facultad de Ingeniería. U.N.P.S.J.B., Esquel, Chubut, Argentina. 47 pp.
- Gaitán, JJ & CR López. 2007. Análisis del gradiente edáfico en la Región Andino Patagónica. *Cienc. Suelo* 25 (1): 53-63.
- Gobbi, M; MJ Mazzarino & J Ferrari. 2002. Efecto de plantaciones de coníferas sobre la fertilidad del suelo en la Región Andino Patagónica. En: Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Pto. Madryn, Chubut. Formato digital.
- Godoy, M; GE Defossé & M Thren. 2007. Especies forestales promisorias para la diversificación de forestaciones en la Patagonia Argentina. *Bosque* 28(1): 25-32.
- Gómez, MC; M Concha; P Noli; B Vogel & L La Manna. 2018. ¿Tienen incidencia las propiedades físico-químicas del suelo sobre los ensambles de macro artrópodos epigeos? En: Actas X Congreso Argentino de Entomología. Mendoza: 140 p.
- Gómez, F; M Tarabini; CG Buduba; A von Müller & L La Manna. 2019. Balance hídrico en plantaciones de *Pinus radiata* en el NO de la Patagonia Argentina. *Ecología Austral* 29: 261-271.
- Gonda, H. 1998. Height-diameter and volume equations, growth intercept and needle length site quality indicators, and yield equations for young ponderosa pine plantations in Neuquén, Patagonia, Argentina. Tesis doctoral. College of Forestry. Forest Resources Department. Oregon State University. 198 pp.
- Gonda, H & G Cortés. 2001. Ecuaciones para el manejo de las plantaciones de pino ponderosa en Neuquén. Publicación técnica N° 30. CIEFAP. Esquel, Chubut. 24 pp.
- Gonda, H; JO Bava; G Cortés & GA Loguercio. 2009. Growth of ponderosa pine in the northern patagonian Andes, Argentina. Sesión: Mantenimiento e incremento de la capacidad productiva de los bosques. En Acta XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina.
- Gyenge, J; ME Fernández & T Schlichter. 2010. Effect of stand density and pruning on growth of ponderosa pines in NW Patagonia, Argentina. *Agroforestry Systems* 78(3): 233-241.
- Gyenge, J; ME Fernández; J Licata; M Weigandt; B Bond & T Schlichter. 2011. Uso del agua y productividad de los bosques nativos e implantados en el NO de la Patagonia: aproximaciones desde la ecohidrología y la ecofisiología. *Ecología Austral* 21: 271-284.

- Haag, A & CG Buduba. 2006. Porosidad total del suelo: efecto del bosque implantado de pino ponderosa en la estepa patagónica. En Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (I Reunión de Suelos de la Región Andina). Salta. Formato digital.
- Inventario Nacional de Plantaciones Forestales. 2017. Inventario de Plantaciones Forestales en Secano. Región Patagonia. Ministerio de Agroindustria de la Nación. 136 pp.
- Irisarri, JA & JM Mendía. 1991. Reconocimiento de suelos y evaluación de la aptitud forestal de la región precordillerana de la Provincia de Río Negro. CFI, Buenos Aires, Argentina. 61 pp.
- 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. Dirección General de Bosques y Parques de la Provincia del Chubut. Chubut. Formato digital.
- Irisarri, JA & JM Mendía. 1997. Relaciones suelo-paisaje en la evaluación de la potencialidad forestal de la región central andino-patagónica, Argentina. *Bosque* 18(1): 21-30.
- Irisarri, JA; 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. 34 pp.
- Jenny, H. 1961. Derivation of state factor equations of soil and ecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25: 385-388.
- Laclau, P. 2002. La forestación en la Patagonia y el cambio climático. INTA EEA Bariloche – GTZ. 55 pp.
- Laclau, P. 2003. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in Northwest Patagonia. *Forest Ecology and Management* 180: 317-333.
- Laclau, P; L Pozo; G Huerta; E Andenmatten & F Letourneau. 2002. Rentabilidad de la forestación con pino ponderosa (*Pinus ponderosa* (Dougl.) Laws) en el noroeste de la Patagonia, Argentina. *Bosque* 23(1): 21-35.
- Laclau, P; E Andenmatten; F Letourneau & GA Loguercio. 2008. Carbon Sequestration of Ponderosa Pine Plantations in Northwestern Patagonia. In: Bravo, F (eds.). *Managing Forest Ecosystems: The Challenge of Climate Change* 245 © Springer.
- La Manna, L. 2005. 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; CG Buduba; JA Irisarri & MF Valenzuela. 2004. Vertisoles en los bosques de *Austrocedrus chilensis*. *Revista Científica Agropecuaria* 8(1): 73-78.
- La Manna, L; CG Buduba & M Rostagno. 2016. Soil erodibility and quality of volcanic soils as affected by pine plantations in degraded rangelands of NW Patagonia. *European J. Forest Res.* 135 (4): 643-655.
- La Manna, L; M Tarabini & F Gómez. 2018a. ¿Son las plantaciones una herramienta para mitigar áreas degradadas? Una mirada desde el suelo. En Restauración ecológica en la diagonal árida Argentina 3 / V Massara Paletto; coordinación general *et al.* Ed, por G Buono; C González & N Ciano. – 1^{ra} edición especial - Guaymallén: Eduardo Enrique Martínez Carretero: 150-161.
- La Manna, L; P Noli; F Cuerda; M Concha; M Tarabini; F Gómez; B Vogel & MC Gómez C. 2018b. Physical soil properties and epigeal macrofauna in *Pinus ponderosa* afforestations of Patagonia: keys for sustainable forest management. En Actas 21th World Congress of Soil Science. Río de Janeiro, Brasil.
- Loguercio, GA; CG Buduba & L La Manna. 2005. Plantación de ciprés de la cordillera de 57 años de edad: una experiencia en el Parque Nacional Los Alerces. *Patagonia Forestal* 1: 5-6.
- Loguercio, GA & F Dececchis. 2006. Forestaciones en la Patagonia Andina: potencial y desarrollo alcanzado. Parte 1. *Patagonia Forestal* 1: 4-6.
- Loguercio, GA; C Frugoni & F Letourneau. 2015. La calidad de sitio. Manual de Buenas Prácticas para el manejo de plantaciones forestales en el Noroeste de la Patagonia. Ed.: Chauchard, L; M Frugoni & C Nowak. Editorial Buenos Aires. Cap 7: 141-164.
- Loguercio, GA; F Urretavizcaya; M Caselli & GE Defossé. 2018. Propuestas silviculturales para el manejo de bosques de ciprés de la cordillera afectados por el mal del ciprés y posibilidad de conversión a bosques mixtos de ciprés-coihue. En: PJ Donoso, A Promis & DP Soto (Eds.), *Silvicultura en bosques nativos. Experiencias en silvicultura y restauración en Chile, Argentina y el Oeste de los Estados Unidos*. 117-134 pp.
- McDaniel, P; D Lowe; O Arnalds & C Ping. 2012. Andisols. In: Huang, PM; Y Li & ME Sumner (eds.). *Handbook of Soil Sciences*, Vol 1, 2nd edn., Properties and processes CRC Press (Taylor y Francis), Boca Raton, Florida: 29-48.

El suelo y el bosque en la Región Andino Patagónica

- Martinic, BM. 2008. Registro histórico de antecedentes volcánicos y sísmicos en la Patagonia Austral y la Tierra del Fuego. *Magallania* (Chile). Vol. 36(2): 5-18.
- Mazzarino, MJ; M Bertiller; T Schlichter & M Gobbi. 1998. Nutrient cycling in Patagonian ecosystems. *Ecología Austral* 8: 167-181.
- Mendía, JM & JA Irisarri. 1986. Relevamiento de suelos con aptitud forestal en la Región occidental de la Provincia de Río Negro. Consejo Federal de Inversiones. Expediente 751. Buenos Aires. Argentina.
- Morales, D; M 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.
- Mussini, E; G Crespo & H Bianco. 1984. Evolución de la materia orgánica de la Provincia del Neuquén. *Cienc.Suelo* 2 (1):53 – 60.
- Mutarelli, E; E Orfila & O Alonso. 1968. Tabla local de cubicación para lenga (*Nothofagus pumilio*) en la zona del Arroyo Llodcontó, cuenca del Lago Mascardi, Prov. de Río Negro. *Rev. For. Arg.* Tomo 12 (1): 22-31.
- Naranjo, JA & CR Stern. 2004. Holocene tephrochronology of the southernmost part (42° 30' - 45°S) of the Andean Southern Volcanic Zone. *Revista Geológica de Chile* 31 (2): 225-240.
- Panno, M, E Bazan & C Petronici. 1986. La materia orgánica de los suelos. Composición ácida de “lípidos” en suelos de bosque. *Cienc. Suelo* 2: 155-159.
- Pereyra, F; JA Irisarri & JA Ferrer. 2011. Suelos: factores de formación, procesos pedogenéticos y distribución. En Actas XVIII Congreso Geológico Argentino: 871-880.
- Pritchett, W. 1991. Suelos Forestales. Ed. Limusa. México. 634 pp.
- Rabassa, J. 2008. Late Cenozoic Glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego. En: The Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego. Ed. Rabassa J. Elsevier: 513 pp.
- Rizzuto, S; I Orellana; E Ruiz; R Manzo; JO Bava & MF Ríos Campano. 2016. Ácaros de suelo como indicadores de cambios en la biodiversidad en plantaciones forestales de la Patagonia Andina. En Actas II Congreso Latinoamericano de Acarología. Montenegro, Quindío, Colombia. 33-35 p.
- Rizzuto, S & R Manzo. 2018. Estudios de ácaros de suelo en zonas áridas del noroeste de Chubut, Argentina. En Restauración ecológica en la diagonal árida Argentina 3 / Virginia Massara Paletto; coordinación general *et al.* Ed, por Buono G; C González & N Ciano. – 1^{ra} edición especial - Guaymallén: Eduardo Enrique Martínez Carretero: 360-365 p.
- Rovere, A; A Premoli & A Newton. 2002. Estado de conservación del ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum* (Don) Florín) en Argentina. *Bosque* 23(1): 11-19.
- Schlichter, T & P Laclau. 1998. Ecotono estepa – bosque y plantaciones forestales en la Patagonia norte. *Ecología Austral* 8: 285-296.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. USDA. Natural Resources Conservation Service. Twelfth Edition. 360 pp.
- Stern, CR. 2004. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile* 31(2): 161-206.
- Tarabini, M; F Gómez & L La Manna. 2019. Ceniza volcánica reciente como indicadora de retención de partículas en los suelos de la Patagonia Andina. *Cienc. Suelo* 37 (1): 103-113.
- Tejera, L & M Honorato. 2002. Evaluación de las forestaciones del Campo Experimental Trevelin. En Carpeta Técnica EEA INTA Esquel, Chubut. Capítulo 4 Forestal: 13-16.
- Urrego, B. 1997. La reforestación con coníferas y sus efectos sobre la acidificación, podsolización y pérdida de fertilidad de los suelos. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. INPOFOS 28: 6-12.
- 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. En Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut. Formato digital.
- Villagran, C & LF Hinojosa. 1997. Historia de los bosques del sur de Sudamérica, II: Análisis fitogeográfico. *Revista Chilena de Historia Natural* 70: 241-267.
- Weigandt, M; J Gyenge; ME Fernández; S Varela & T Schlichter. 2015. Afforestations and wetlands, are they a good combination? Study of water fluxes in two cases of Patagonian wetlands. *Ecohydrology* 8: 416-425.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ed. Mundi – Prensa. España. 1.045 pp.

*Durante cientos de miles de años y de forma reiterada, desde las entrañas mismas de la Tierra, se dispersa material que se integra a los suelos. Suelos que como una "piel" permiten, ni más ni menos, la vida del hombre en nuestro planeta. Material que es expulsado por los volcanes y sin importar demasiado sus ubicaciones, es transportado por los vientos a lugares lejanos. Aportes minerales heterogéneos, depósitos finos o gruesos que son transformados por los diferentes procesos que forman los suelos. Material volcánico "nuevo" que otorga propiedades a suelos "jóvenes" o rejuvenece los "viejos". **"Suelos y Vulcanismo"** nos introduce en los procesos de "materiales profundos" que se distribuyen en superficie. Nos presenta conocimientos específicos de suelos argentinos que se forman con contribuciones volcánicas.*

En sus capítulos descubriremos que la gran mayoría de los suelos están asociados de alguna manera con aportes volcánicos. Este libro explica las características del vulcanismo en la Argentina y su pertenencia al "cinturón de fuego del Pacífico". Valoriza también su influencia, al considerar el origen, mineralogía, clasificación, distribución y propiedades en diferentes suelos a lo largo del país y sus vinculaciones con el resto del mundo. Lugares distantes, que parecieran estar un tanto desconectados, pero que ahora se relacionan por los diferentes aportes volcánicos que forman parte de sus suelos. La mismísima Región Pampeana con su tradición agropecuaria, una de las más productivas del planeta, presenta aportes volcánicos alejados en el tiempo y la distancia. Tanto en la Pampa Ondulada, la Pampa Llana Santafesina, la Pampa Deprimida, la Pampa Arenosa y la Pampa Semiárida, se evidencia la clara influencia del vulcanismo en las propiedades mineralógicas y físico químicas de los suelos. Propiedades que, con sus particularidades, también manifiestan realidades edáficas en San Luis y la Patagonia Andina de Neuquén, Río Negro y Chubut. En esta última región, los materiales volcánicos conforman los principales suelos, con características que sólo se observan en la cercanía de volcanes con actividad antigua y reciente. Las marcadas diferencias climáticas y de vegetación en distancias muy cortas, explican fascinantes interacciones con el material volcánico, incluyendo aspectos mineralógicos y micro morfológicos actuales y heredados. Las erupciones al inicio del siglo XXI permitieron avanzar en el entendimiento de temas vinculados con la génesis y la influencia de las propiedades de los suelos, incluyendo aspectos ambientales y productivos de importancia para la sociedad, como la aptitud forestal.

Esperamos con este libro estimular el interés de la comunidad vinculada a las Ciencias de la Tierra, Ambientales y afines acerca de la importancia del vulcanismo en los suelos, porque el influjo extendido de los materiales volcánicos, es real y recurrente en todo nuestro territorio, trascendiendo las fronteras.

Dr. Carlos Guillermo Buduba

Centro de Estudios Ambientales Integrados, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
Estación Experimental Agroforestal INTA Esquel.



60 años cuidando nuestros suelos

60 años
AACCS
1960 - 2020
ASOCIACIÓN ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

ISBN 978-987-3738-27-2



9 789873 738272