

**Modificaciones en el pH y contenido de materia orgánica  
en suelos del ecotono estepa / bosque andino patagónico  
por implantación de pino ponderosa**

Carlos Guillermo Buduba

Ingeniero Forestal  
Universidad Nacional de La Plata  
Egresado 1991

Tesis de Doctorado  
Escuela para Graduados Alberto Soriano  
Convenio Facultad de Agronomía – UBA  
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

## COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

Guillermo Emilio Defossé  
Ingeniero Agrónomo  
Universidad Nacional de La Plata  
Ph. D. Forestry  
University of Idaho EEUU

Consejero

Jorge Alberto Irisarri  
Ingeniero Agrónomo  
Universidad Nacional de La Plata

Consejero

Ferrer José Alberto  
Licenciado en Geología  
Universidad Nacional de Córdoba

JURADO DE TESIS

Gustavo Adolfo Orioli  
Ingeniero Agrónomo  
Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes  
Ph. D. Forestry  
Cornell University, Ithaca, New York, EEUU

Guillermo Emilio Defossé  
Ingeniero Agrónomo  
Universidad Nacional de La Plata  
Ph. D.  
University of Idaho EEUU

Anna Sala  
Bachelor of Scientia  
Universidad de Barcelona  
Ph. D.  
Universidad de Barcelona

Estebán Gabriel Jobbágy Gampel  
Ingeniero Agrónomo  
Universidad de Buenos Aires  
Ph. D. Biología  
Duke University EEUU

Fecha de aprobación de la tesis: 8 de febrero de 2006

A los coautores de este trabajo:

Mariana  
Juan  
Francisco  
Santiago  
Lucía

## AGRADECIMIENTOS

Muchas manos se me brindaron de manera desinteresada para hacer realidad este trabajo. Al nombrarlas asumo el riesgo de omitir involuntariamente alguna de ellas, sin embargo, se que las mismas sabrán perdonar, porque no buscaban reconocimiento, sino que sólo tenían la sana inquietud de colaborar en la búsqueda de nuevos conocimientos que permitan desarrollar la actividad forestal patagónica.

A mi maestro Jorge Irisarri, quien siempre con su “sed” de conocimiento motiva nuevos desafíos y “contagia” su sabiduría con la palabra y el ejemplo.

A Guillermo Defossé, por su confianza, enseñanzas y consejos a lo largo de todos estos años.

A José Alberto Ferrer y Héctor del Valle, por su confianza y consejos.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco y al Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, por el apoyo brindado en la instalación del Laboratorio de Suelos y por solventar numerosos gastos del proyecto.

Al CONICET por brindarme esta invalorable oportunidad de formación.

A la Escuela para Graduados Alberto Soriano por las facilidades brindadas.

A Marcela Hartel, por su inigualable e incondicional ayuda en las tareas de campo, laboratorio y gabinete durante todo el proyecto.

A José Bava, Héctor Gonda, Ludmila La Manna y Gabriel Loguercio, por las fructíferas e interminables horas de discusión.

A Cecilia Ciámpoli, Andrés Haag y Lucas Bianchi, por la ayuda en los trabajos de campo, laboratorio y gabinete.

A Pablo Ciámpoli, Florencia Deccechis, Mary Irisarri, Mariela Ledesma, Daniela Morales, Tatiana Niveiro, Fernanda Ríos, Pablo Tejerina, por la ayuda en los trabajos de campo.

A Matías Fariñas, Marta Parra y CORFONE, por el apoyo brindado en nuestra campaña al Norte de Neuquén.

A Arturo Berwyn, Luis Batteggazzore, Jorge Taylor, Andrés Tarulo, Jesús Rodríguez, Andrés Larminat, Municipalidades de Esquel, Andacollo, Huinganco y Manzano Amargo y demás propietarios y encargados de los establecimientos que nos abrieron sus puertas sin imponer condición alguna.

A Alina Greslebin, Silvio Antequera y Patricia González por toda la bibliografía que consiguieron.

A Maxi, Mirta y demás compañeros del CIEFAP, que de una u otra forma también fueron partícipes.

A Juan Pablo Segura, por la ayuda en las tareas finales de laboratorio y gabinete, cuando las fuerzas habían disminuido.

A Dugy Berwyn y Fernando Coronato por los datos climáticos.

A Rodolfo Cantet y Mario Rajchenberg por las oportunas sugerencias para mejorar el manuscrito final.

A Esteban Jobbágy, Gustavo Orioli y Ana Sala por los aportes efectuados luego de la exhaustiva lectura realizada como jurado.

...y a todos aquellos que no retengo en mi memoria al escribir este reconocimiento, pero que seguramente en el futuro, tendré oportunidad de expresarles nuevamente...

mi más profundo agradecimiento.

Carlos G. Buduba  
Esquel, diciembre 2005

## ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	III
Agradecimientos	IV
Índice general	VI
Índice de Tablas	VIII
Índice de Figuras	X
Resumen	XIII
Abstract	XIV
Introducción General	1
Objetivo general	5
Metodología General	7
Características generales del área de estudio	7
Área de muestreo seleccionada	8
Muestreo	10
Capítulo 1. Distribución del agua de lluvia dentro del bosque de pino ponderosa y su relación con el pH edáfico superficial.	
Introducción	13
Metodología	15
Resultados y discusión	17
Capítulo 2. El pH del suelo y su relación con el bosque de pino ponderosa.	
Introducción	25
Metodología	27
Resultados y discusión	28
Capítulo 3. Dinámica del aporte y descomposición de la hojarasca de pino ponderosa y estepa.	
Introducción	38
Metodología	40
Resultados y discusión	42
Capítulo 4. La materia orgánica edáfica y su relación con el bosque de pino ponderosa.	
Introducción	55
Metodología	57
Resultados y discusión	58

Discusión y conclusiones finales	68
Bibliografía	74
Anexo 1. Descripción de los 58 perfiles de suelo pertenecientes a los 29 lugares (bosque / estepa) estudiados.	94
Anexo 2. Precipitación incidente (mm) y % de precipitación directa, interceptada y flujo de tronco en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.	156
Anexo 3. Dinámica de la humedad edáfica a 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.	158
Anexo 4. Grado de alofanización de la ceniza volcánica en base al pH FNa (solución pH 7,6 – 7,8) a los 2 y 60 minutos bajo bosque y estepa en los 29 lugares estudiados.	159



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Ubicación de los 29 lugares estudiados con sus 2 sitios respectivamente (bosque, estepa).	10
Tabla 2	Caracterización dasométrica de los 29 sitios bajo bosque de pino ponderosa.	11
Tabla 3	Caracterización de la vegetación herbácea de los 29 lugares estudiados con sus 2 sitios respectivamente (bosque, estepa).	12
Tabla 1.1	Precipitación incidente (mm) total, porcentaje promedio de precipitación interceptada, directa y flujo de tronco en las 2 parcelas permanentes instaladas en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.	17
Tabla 1.2	Precipitación media anual e incidente (mm) en la Ciudad de Esquel entre 1983 – 2004 (Berwyn, datos no publicados) y valores calculados de intercepción, precipitación directa y escurrimiento por el fuste.	21
Tabla 1.3	Precipitación directa (mm) promedio que se recibió dentro del bosque considerando 3 distancias (5, 100 y 200 cm) a la base del tronco en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.	21
Tabla 1.4	pH promedio de la precipitación incidente, directa y escurrimiento por el tronco en Ea. El Parque y Laguna Terraplén.	22
Tabla 1.5	pH promedio del suelo mineral en los primeros 5 cm de profundidad considerando 3 distancias (0, 50 y 100 cm) a la base del tronco.	23
Tabla 1.6	pH promedio en los primeros 5 cm de profundidad considerando 4 orientaciones (Norte, Este, Sur y Oeste) a 3 distancias (0, 50 y 100 cm) de la base del tronco.	23
Tabla 2.1	pH promedio, estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados a 5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad.	32
Tabla 2.2	Densidad aparente ( $\text{gr cm}^{-3}$ ) promedio, estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados.	34
Tabla 2.3	Espesor del horizonte A (cm) promedio, estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados.	35
Tabla 3.1	Aporte aéreo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) realizado por las diferentes fracciones de la hojarasca de bosque de pino ponderosa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén durante 37 meses.	42
Tabla 3.2	Cantidad de hojarasca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) promedio que se recibe dentro del bosque considerando 3 distancias (5, 100 y 200 cm) a la base del tronco en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.	43
Tabla 3.3	Cantidad de hojarasca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) promedio que se recibe dentro del bosque, considerando 4 orientaciones (Norte, Este, Sur y Oeste) a 3 distancias (5, 100 y 200 cm) de la base del tronco en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.	43
Tabla 3.4	Aporte aéreo de hojarasca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) realizado por diferentes fracciones en el bosque de pino ponderosa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén durante los años 2000, 2001 y 2002.	46
Tabla 3.5	Humedad (% en volumen) promedio, estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados a 10 y 30 cm de profundidad.	51

Tabla 3.6	Peso (g) promedio de la hojarasca de estepa bajo cobertura de bosque y de estepa en Ea. El Parque a los 12 meses.	53
Tabla 3.7	Peso (g) promedio de la hojarasca de pino y de estepa bajo cobertura de bosque y estepa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén a los 12 meses.	53
Tabla 4.1	Clasificación del tipo de arcilla en suelos derivados de ceniza volcánica en base al pH en FNa (solución pH 7,6 - 7,8) a los 2 y 60 minutos (Irisarri 2000).	58
Tabla 4.2	Materia orgánica (tn ha <sup>-1</sup> ) promedio, estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados a diferentes profundidades (0-10, 10-30, 30-40, 40-60 y 60-90 cm).	59
Tabla 4.3	Materia orgánica (tn ha <sup>-1</sup> ) promedio, estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 12 sitios bajo bosque y estepa estudiados que presentaban vegetación herbácea viva (fotosintéticamente activa) dentro del bosque, a diferentes profundidades (0-10, 10-30, 30-40, 40-60 y 60-90 cm).	60
Tabla 4.4	Materia orgánica (tn ha <sup>-1</sup> ) promedio, estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 17 lugares bajo bosque y estepa estudiados que no presentaban vegetación herbácea viva dentro del bosque, a diferentes profundidades (0-10, 10-30, 30-40, 40-60 y 60-90 cm).	60
Tabla 4.5	Abundancia de raíces: moda, porcentaje, estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, para los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados, a diferentes profundidades (10, 30, 40, 60 y 90 cm).	63
Tabla 4.6	Carbono orgánico (tn ha <sup>-1</sup> ) promedio a diferentes profundidades (0-10, 10-30, 30-40, 40-60, 60-90 y de 0-90 cm) en los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados.	63
Tabla 4.7	Materia orgánica (%) promedio y diferencia (bosque – estepa), en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.	64
Tabla 4.8	Diferentes fracciones granulométricas (%) (2-1, 1-0,5, 0,5-0,25, 0,25-0,09, 0,09-0,045 y <0,045) a 5 profundidades (10, 30, 40, 60 y 90 cm) en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.	65
Tabla 4.9	Grado de alofanización de la ceniza volcánica en base al pH FNa (solución pH 7,6 – 7,8) a los 2 y 60 minutos bajo bosque y estepa, en 6 lugares en donde se observaron cambios en la meteorización del material originario.	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación de los 29 lugares estudiados en el ecotono estepa / bosque de la Región Andino Patagónica.	9
Figura 1.1	Distribución de la precipitación incidente en el bosque y la estepa.	14
Figura 1.2	Disposición de los pluviómetros dentro del bosque a 5, 100 y 200 cm de la base del tronco de un árbol dominante.	16
Figura 1.3	Relación entre el porcentaje de interceptación y la precipitación incidente (mm) en Ea. El Parque, Lag. Terraplén y considerando todos los datos.	18
Figura 1.4	Relación entre la precipitación efectiva, directa y el flujo de tronco (mm) con la precipitación incidente (mm) en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.	20
Figura 2.1	pH en el bosque y la estepa a 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad en relación a la época del año en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.	29
Figura 2.2	Frecuencia según rangos de pH de los 29 lugares estudiados, incluyendo ambos sitios (bosque, estepa) y profundidades analizadas (5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm).	30
Figura 2.3	Frecuencia según rangos de pH en el bosque y la estepa a 5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad en los 29 lugares estudiados.	31
Figura 2.4	Frecuencia de las diferencia de pH (bosque – estepa) a 5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad en los 29 lugares estudiados.	33
Figura 2.5	Perfil bajo bosque de pino ponderosa (sitio 305) y estepa (sitio 306). En el descrito bajo bosque se presume ganancia de material (más claro) en la matriz del horizonte A (34 cm de espesor).	36
Figura 3.1	Velocidad del viento ( $\text{km h}^{-1}$ ) en el bosque y la estepa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén en las 4 estaciones del año (verano, otoño, invierno, primavera).	44
Figura 3.2	Aporte de acículas, conos y amentos ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ) en Ea. El Parque y Lag. Terraplén en el período 7/9/00 al 28/2/02.	45
Figura 3.3	Aporte de semillas y otros ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en Ea. El Parque y Lag. Terraplén en el período 7/9/00 al 28/2/02.	45
Figura 3.4	Aporte aéreo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) realizado por la vegetación de estepa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén en el período 4/10/01 al 27/11/03.	47
Figura 3.5	Relación entre el peso del horizonte orgánico ( $\text{tn ha}^{-1}$ ) con (a) la edad (años), (b) altura dominante (m) y (c) área basal ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ) de los 29 rodales de pino ponderosa estudiados.	48
Figura 3.6	Dinámica de la temperatura ( $^{\circ} \text{C}$ ) del suelo a 10 y 20 cm de profundidad en el bosque y la estepa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.	49
Figura 3.7	Dinámica de la humedad (% en volumen) edáfica a 10 y 30 cm de profundidad en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.	50
Figura 3.8	Porcentaje de pérdida de peso de la hojarasca de pino ponderosa bajo cobertura de bosque y de estepa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.	52

Figura 3.9 Porcentaje de pérdida de peso de la hojarasca de estepa bajo cobertura de bosque y de estepa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.

**"Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no ha sido presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución."**

## Resumen

### **Modificaciones en el pH y contenido de materia orgánica en suelos del ecotono estepa / bosque andino patagónico por implantación de pino ponderosa**

En este trabajo de tesis se evaluaron las alteraciones espaciales y temporales que, sobre algunos factores ambientales y edáficos, causa la implantación de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws.) en pastizales degradados de la estepa patagónica. El mismo se realizó en 29 lugares, entre 36° 43' y 44° 8' de latitud Sur y 71° 29' y 70° 35' de longitud Oeste, en la Patagonia Argentina. Se determinó la distribución y pH de la precipitación tanto en el bosque como en la estepa, relacionándolos dentro del rodal con la reacción del suelo superficial (5 cm) a diferentes distancias de la base del tronco. Además, se estudiaron los cambios en la dinámica de la hojarasca, pH y materia orgánica edáfica a distintas profundidades (5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm), en sitios con bosque (entre 10 y 46 años, densos y sin raleo) y otros adyacentes bajo vegetación de estepa. Se observó que el dosel del bosque modificó la cantidad y calidad de la precipitación recibida, alterando de manera heterogénea el pH del suelo superficial. Las plantaciones acidificaron significativamente el suelo (0,1 unidades de pH), a 10, 30, 40 y 60 cm de profundidad, en relación con la estepa adyacente. A pesar que el bosque aportó 17 veces más hojarasca que la estepa y que ambas tuvieron similares tasas de descomposición, no influyeron en los cambios de pH y/o materia orgánica superficial. No obstante, la materia orgánica edáfica disminuyó en el bosque comparado con la estepa durante los primeros años de implantación, tendiendo a igualarse a edades más tardías. Este trabajo aportó al conocimiento de algunas modificaciones ambientales y edáficas que las plantaciones de pino ponderosa causan en áreas degradadas de la estepa, generando otras preguntas e hipótesis tendientes a cuantificar los impactos que éstas producen en dicha región.

**Palabras claves:** pH, materia orgánica, pino ponderosa, estepa, Patagonia.

## **Abstract**

### **Modifications of pH and organic matter content in soils of the Andean-Patagonian forest/steppe ecotone caused by ponderosa pine afforestations**

The research presented in this thesis deals with spatial and temporal changes in the environment and soils of degraded grasslands, due to the presence of plantations of ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws.). The study was carried out in 29 sites located between the 36° 43' and 44° 8' South latitude parallels, and the 71° 29' and 70° 35' West longitude meridians, in Patagonia, Argentina. The distribution and pH of precipitation, either within the afforestations and in adjacent steppe areas, and the relation between the distribution of precipitation and pH at surface level (5 cm) below plant canopies at different distances from the trunk, were determined. The dynamics of litterfall, pH and organic matter at different soil depths (5, 10, 30, 40, 60, and 90 cm) in afforestations (10 to 46 year old) and in adjacent steppe areas were also determined. Results showed that the forest canopy modified the amount and quality of the incoming precipitation, and that this resulted in heterogeneous changes in the pH at the soil surface. Afforestations significantly decreased soil pH (about 0,1 pH units) at 10, 30, and 60 cm soil depth, as compared to the soil of the adjacent steppe. Even though afforestations provided 17 times more litterfall than that of the adjacent steppe, and that both had similar decomposition rates, forest litterfall did not have influence on pH or organic matter accumulation at soil surface level. However, organic matter within afforestations was significantly lower in the soil profile during the first years after plantation than in that of the steppe, but these differences tended to disappear as afforestations became older. This study provided information about modifications that, on some environmental and soil factors, cause the afforestations of ponderosa pine in degraded steppe areas, generating new questions and hypotheses tending to quantify the impact produced in those areas.

**Key words: pH, organic matter, ponderosa pine, steppe, Patagonia.**

**“...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  
El Norte de la Patagonia  
Naturaleza y riquezas  
Comisión de Estudios Hidrológicos  
1911 - 1914**



## INTRODUCCIÓN GENERAL

La Patagonia Argentina posee, en su Región Andina, una amplia superficie con aptitud para la implantación de bosques con especies exóticas de rápido crecimiento. El total estimado de esa superficie alcanza las 2,2 millones de hectáreas (Díaz 1997), de las cuales aproximadamente 70 mil se encuentran actualmente forestadas (Andenmatten *et al.* 2002). La especie utilizada masivamente es el pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws.), pues se adapta y crece vigorosamente en toda la región, superando incluso, los altos crecimientos observados en su lugar de origen, el Oeste de los Estados Unidos (Gonda, Cortés 2001). Las tierras utilizadas para esta nueva actividad se encuentran degradadas, en su gran mayoría, por haber sido sometidas a sobrepastoreo durante todo el siglo pasado (Soriano 1983, Ares *et al.* 1990). El uso ganadero tradicional del suelo, sumado a los incendios de campos, generaron procesos erosivos en grandes superficies, que han puesto en peligro la sustentabilidad de todos los sistemas de la región (ecológicos, sociales y económicos). La erosión así generada tendió a provocar cambios edáficos irreversibles que disminuyeron la disponibilidad de agua y nutrientes, afectando de este modo la productividad biológica (Golluscio, Mercau 1994).

Si bien el área implantada en la actualidad sólo representa el 3 % de la superficie potencialmente forestable, este cambio en el uso de la tierra está siendo promovido en forma sostenida desde diferentes sectores técnico – políticos como una opción para detener los procesos degradatorios, generando al mismo tiempo trabajo y riqueza para el bienestar de la población. En este contexto, diversas políticas nacionales y provinciales han logrado que se incremente la superficie implantada en los últimos años (CIEFAP 2001). Además, la creciente preocupación en la comunidad internacional por el calentamiento de la atmósfera como consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero, provocadas fundamentalmente por el consumo de combustibles fósiles, hacen prever un nuevo impulso para esta alternativa productiva. Es verdad que, dentro de esta problemática, las soluciones propuestas hasta la fecha son diversas y la mayoría de difícil aplicación por los compromisos políticos y económicos que implican (IPCC 1995). Sin embargo, la fijación de carbono (como carbono estructural = madera) por medio de la fotosíntesis del bosque y por estructuras del complejo húmico del suelo, conforman un sistema eficiente para mitigar este efecto (Johnson 1993), según lo acordado en la COP9<sup>1</sup> (UNFCCC 2003).

La capacidad de la Región Andino Patagónica para sostener esta nueva actividad con especies exóticas de rápido crecimiento ha sido ampliamente estudiada y demostrada (Mendía, Irisarri 1986, Ferrer *et al.* 1991, Irisarri *et al.* 1995, Irisarri, Mendía 1997). Dicho potencial forestal está basado en la presencia de extendidos mantos de ceniza volcánica, que al ser alterada por procesos edafogenéticos, origina suelos con arcillas amorfas, diferenciándose en sus propiedades, sobre todo hídricas, de los “más tradicionales”, desarrollados a partir de otros materiales originarios y que poseen arcillas cristalinas. No obstante, existen dudas sobre los efectos que estas masas boscosas podrían provocar sobre algunos atributos de los ecosistemas y comunidades nativas (Shlichter, Laclau 1998), considerando como antecedentes las modificaciones ocurridas en otros ecosistemas (FAO 1987, Hofstede *et al.* 1998, Carrere 1999). Los cambios producidos en la biodiversidad, el ciclo hidrológico y las

---

<sup>1</sup> Novena Conferencia de las Partes, Milán.

propiedades edáficas son los más cuestionados cuando se realiza una alteración de la vegetación natural con implantación de coníferas (Ohno, Ishida 1997, Huber, Trecaman 2000, Amiotti *et al.* 2000).

Las variaciones en las propiedades del suelo pueden ser sutiles, manifestándose solamente en las características químicas (pH, cationes intercambiables, nutrientes) y físicas (densidad aparente, permeabilidad, infiltración, porosidad). También pueden ser muy evidentes, provocando cambios morfológicos en el perfil del suelo (Ovington 1953, Gersper, Holowaychuk 1970 a y b, Wood 1977, Buol *et al.* 1991, Takahashi *et al.* 1994, Birkeland 1998, Broquen *et al.* 2000), que hasta podrían modificar su clasificación taxonómica (Severson, Arneman 1973). Algunas de estas modificaciones podrían comprobarse o no en la Región Andino Patagónica, dependiendo posiblemente de las características propias de cada sitio<sup>2</sup> considerado.

### **Modificaciones espaciales y temporales producidas en el suelo por efecto del bosque implantado**

La implantación de un bosque en un sitio con vegetación natural de pastizal puede provocar diversos cambios. En el suelo se destacan por su importancia los cambios en el pH (o reacción del suelo), la acumulación de hojarasca en superficie (horizonte orgánico) y las modificaciones en el contenido de la materia orgánica en horizontes minerales.

### **Cambios en el pH**

De todas las propiedades del suelo, el pH es una de las más relevantes, por la gran cantidad de información que a partir de él se puede inferir y por la facilidad de su determinación. Si bien este pH o reacción del suelo no ejerce una acción directa sobre las plantas, crea condiciones que afectan la relación suelo – actividad biológica (Wild 1992).

Todos los suelos, en su evolución y desarrollo, tienden naturalmente hacia una acidificación de su pH (Mussini *et al.* 1984, Noble *et al.* 1999). Esta transformación del ambiente químico tiene origen en diferentes mecanismos simultáneos, entre los cuales se destacan: el movimiento del agua, la hidrólisis del aluminio, la actividad radical y de los microorganismos (respiración y absorción de nutrientes), la nitrificación, la tasa de acumulación y descomposición de la materia orgánica y la redistribución de nutrientes producida por los vegetales en el perfil del suelo (Binkley, Richter 1987, Urrego 1997, Jobbágy, Jackson 2003). Con el tiempo, el pH se puede estabilizar, alcanzando un estado de equilibrio dinámico, en el cual los límites de acidez dependen de las características del suelo (material parental y relieve), de la precipitación (Zuccardi *et al.* 1969, Urrego 1997) y de la composición vegetal (actividad radical y calidad y cantidad de los aportes de hojarasca) (Zalba, Peinemann 1987).

La acidificación del suelo es un proceso natural que ocurre en terrenos cubiertos por pastizales y bosques, sean estos naturales o implantados e independientemente que la especie sea nativa o exótica. Sin embargo, cada

---

<sup>2</sup> Sitio = f (clima, suelo, especies). El sitio representa una condición ambiental particular para un lugar específico.

especie y los procesos biológicos que la relacionan a su ambiente poseen un rango óptimo de pH y su alteración, puede producir deficiencias de nutrientes y condiciones tóxicas, llegando a crear inconvenientes en el manejo futuro del recurso.

La disminución en el pH causada por la implantación de diferentes especies forestales en diversos tipos de suelo, está ampliamente difundida en la literatura científica (Alban 1982, Fernández 1987, Zalba, Peinemann 1987, Hawke, O' Connor 1993, Davis 1995, Schlatter, Otero 1995, Rhoades, Binkley 1996, Cuenya *et al.* 1996, Zarin *et al.* 1998, Noble *et al.* 1999, Kaneko, Kofuji 2000, Jobbágy, Jackson 2003). Asimismo, hay estudios que muestran la existencia de una relación entre el grado de acidificación y la edad del rodal (Davis, Lang 1991).

Otros autores señalan sin embargo, que las plantaciones de árboles elevan el pH del sitio (Schlatter 1977, Montagnini, Sancho 1990, Davis, Lang 1991). Esto fue corroborado en experiencias realizadas en plantaciones de pino en Australia, Nueva Zelanda y Chile, que demuestran que los valores de pH no sólo se mantienen a través de las sucesivas rotaciones, sino que cuando éstos son inferiores a 4,0, este género es capaz de aumentarlos atenuando la acidez (Urrego 1997). Diferentes trabajos, por su parte, reportan no haber encontrado cambios significativos en los valores de pH (Pallant, Riha 1990, Fyles, Côté 1994, Broquen *et al.* 1995, Schlatter, Otero 1995, Broquen 2000).

También dentro del rodal y bajo la copa de los árboles se observaron modificaciones en las propiedades del suelo según la distancia al tronco (Zinke 1962, Gersper, Holowaychuk 1971, Kaneko, Kofuji 2000, Amiotti *et al.* 2000). El aporte de corteza cercano al tronco (fracción de la hojarasca más ácida y con menor contenido de nitrógeno) y el escurrimiento por el fuste son señalados como los causantes de estas modificaciones (Birkeland 1998).

El escurrimiento por el fuste es la fracción de la precipitación que es interceptada por las copas de los árboles y que alcanza el suelo fluyendo por la corteza (Branson *et al.* 1981). Dicha cantidad de agua está relacionada con el área proyectada por la copa del árbol y con la forma de las ramas (Ford, Deans 1978). Mientras más árboles existan por unidad de superficie, mayor será el área de intercepción del dosel, condición que favorece el escurrimiento fustal y la recarga de humedad en el suelo. El agua que llega por el tallo, debido a que penetra muy cerca de la base del tronco, se pone rápidamente en contacto con las raíces y tiene una infiltración rápida y efectiva (FAO 1987). La cantidad de agua que ingresa en esta fracción del suelo puede ser hasta 5 veces mayor que la recibida bajo cielo abierto (Birkeland 1998). El pH de este flujo de tronco fue analizado por diversos autores (Gersper, Holowaychuk 1971, Satake *et al.* 1996) quienes encontraron diferentes valores según las especies, siempre más ácidos que los que presentaba la precipitación por sobre el dosel. Satake *et al.* (1996) sugieren que los grupos ácidos (carboxilos) insolubles en agua contenidos en la corteza contribuyen a esta disminución del pH. Este flujo ácido que se infiltra al pie del árbol no sólo logra modificar la reacción del suelo, sino que también puede provocar cambios en la cantidad y calidad de los microorganismos y en la tasa de descomposición del follaje (Kaneko, Kofuji 2000).

### **Cambios en el aporte de hojarasca**

Al realizar una forestación sobre un pastizal, la formación de un horizonte orgánico en superficie por aporte de la hojarasca de los árboles, se convierte en el signo más evidente con el transcurrir del tiempo. Existen muchos

antecedentes sobre este tipo de aporte en diferentes lugares y para muchas especies (Challinor 1968, Cozzo, de Riveros 1969, Riveros, Alberdi 1978, Huber, Oyarzún 1983, Huber *et al.* 1986, Hughes, Fahey 1994, Covarrubias *et al.* 1994, Placci *et al.* 1994, Frangi *et al.* 1995, Rezzano *et al.* 1997), que incluyen asimismo al pino ponderosa (Klemmedson *et al.* 1990, Buduba *et al.* 2001).

Las características de este horizonte o capa orgánica están relacionadas con las condiciones microclimáticas del bosque, especialmente temperatura y humedad (Pritchett 1991). Las mismas gobiernan la actividad biológica del suelo y por ende, la descomposición del material orgánico superficial, asegurando la productividad del sitio forestal a través de la circulación de los nutrientes (Riveros, Alberdi 1978, Huber *et al.* 1986). Además, esta capa, sumada a la ausencia de un uso intensivo del suelo, facilita el proceso de infiltración, inhibe la destrucción de los agregados y disminuye el desecamiento del suelo (Stadmüller 1994).

### **Cambios en la materia orgánica edáfica**

Otro de los factores que podría modificarse con la implantación de coníferas sobre el pastizal, es la tasa y cantidad de materia orgánica que se incorpora en el perfil del suelo por debajo del horizonte orgánico. Algunos investigadores encontraron que ante una modificación en la cubierta vegetal, un suelo puede ganar o mantenerse con el mismo porcentaje de materia orgánica, dependiendo de la interacción entre el tipo de vegetación y el sitio (Davis, Lang 1991, Wild 1992, Mapa 1995). También determinaron que el reemplazo de la vegetación original, independientemente de la comunidad que se trate, puede provocar una disminución en el contenido de carbono edáfico (Desjardins *et al.* 1994, Acosta *et al.* 2001, Manfrinato *et al.* 2001, Laclau 2002, 2003).

El bosque, con relación a la estepa degradada, tiene una mayor capacidad de incorporar sustancias orgánicas al suelo a través de la hojarasca, las raíces y los compuestos arrastrados por el agua de lluvia que escurre por entre las copas y el tronco (Gersper, Holowaychuk 1971, Morrison *et al.* 1993). Asimismo, el cambio en el uso del suelo mediante forestaciones puede evitar la pérdida de materia orgánica causada por los agentes erosivos (Black, Harden 1995). Esta pérdida por erosión podría constituir una de las principales fuentes de emisión de carbono en Patagonia, considerando los antecedentes en ecosistemas similares de Estados Unidos (Lal 2001).

La materia orgánica tiene influencia sobre la productividad del sitio a través de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Johnson 1993). Los compuestos orgánicos retienen temporalmente el agua y aumentan la disponibilidad de nutrientes. Además, las sustancias húmicas, por su alta estabilidad, fijan carbono, que generalmente no es considerado cuando se menciona la problemática del efecto invernadero. Sin embargo, aproximadamente el 70 % del carbono de los ecosistemas terrestres se encuentra en el suelo y el 40 % de ese porcentaje, en los sistemas forestales (Jobbágy, Jackson 2000, Chertov *et al.* 2002, Paul *et al.* 2002). Por su parte, Torn *et al.* (1997) mencionan que a nivel global, el 25 % de la materia orgánica edáfica está almacenada en suelos desarrollados con posterioridad al último período glacial.

Uno de los mayores aportes a la materia orgánica edáfica lo constituye la biomasa de raíces, influyendo asimismo en el desarrollo del perfil del suelo. El crecimiento radical está determinado por cuestiones genéticas, por la época del año, por la humedad edáfica, por las propiedades físicas, químicas y biológicas

del suelo y por el manejo del bosque (Gale, Grigal 1987, Pritchett 1991, Hendrick, Pregitzer 1996). En general las especies arbóreas poseen sus raíces en el primer metro de profundidad, siendo los primeros 20 – 50 cm los que alojan la mayoría de las raíces finas (Joslin, Henderson 1987, Yin *et al.* 1989, Jobbágy, Jackson 2000). Las coníferas, además, poseen un sistema extendido en superficie y profundo en cercanías del tronco, que les permite explorar grandes volúmenes de suelo (Pritchett 1991, Huber, Trecaman 2000).

La evolución y estabilidad de las sustancias orgánicas dentro del perfil del suelo están afectadas por el tipo de aporte orgánico, clima, material originario, actividad biológica, uso del suelo y topografía (Fassbender 1987). Cuanto más estables sean las uniones entre los coloides del suelo, menor será la tasa de mineralización de la materia orgánica, lo cual es importante desde el punto de vista de la reserva (Mussini *et al.* 1984) y de la fijación del carbono atmosférico.

En la Región Andino Patagónica no existen muchos antecedentes sobre cambios en la reacción del suelo, la dinámica de la hojarasca y el contenido de materia orgánica edáfica por modificación de la vegetación. Schlatter y Otero (1995) estudiaron cambios en el pH comparando bosque nativo con pino radiata y Broquen *et al.* (1995, 2000) con pino ponderosa. Con respecto a los cambios producidos en el contenido de carbono del suelo, Laclau (2002, 2003) encontró diferencias en los primeros 50 cm de profundidad entre ciprés de la cordillera y pino ponderosa, y ningún cambio entre estos bosques y el pastizal. Los trabajos existentes no consideran el efecto de copa de las plantaciones de coníferas en relación con el agua que ingresa al suelo y con el pH edáfico, ni la dinámica de la hojarasca del pino ponderosa en relación con la materia orgánica edáfica.

## **OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general de esta tesis fue evaluar las alteraciones espaciales y temporales en el pH del suelo, en el aporte y descomposición de la hojarasca y en el contenido de materia orgánica edáfica que se producen por cambios en el uso de la tierra, al implantarse pino ponderosa en áreas de pastizales degradados en el Oeste de la Patagonia Argentina. Para ello también se evaluaron las modificaciones en algunas variables ambientales (precipitación, viento) y del suelo (temperatura, humedad) asociadas.

Para una mejor comprensión del trabajo realizado, este objetivo general fue desglosado en objetivos particulares. Estos objetivos particulares y las hipótesis que los sustentan, fueron desarrollados como capítulos independientes. En el primero se analizaron y discutieron las modificaciones en la distribución del agua de lluvia dentro del bosque y su efecto sobre el pH edáfico bajo la copa de los árboles. En el segundo se comparó la reacción del suelo a diferentes profundidades para estudiar el efecto de la implantación de coníferas en suelos de estepa. En el tercero se determinaron los cambios en el aporte de hojarasca aérea y aspectos de su dinámica en el suelo en comparación con la broza de la estepa. En el cuarto se evaluaron las modificaciones en el contenido de materia orgánica edáfica a diferentes profundidades, relacionándolas con aspectos vinculados al material originario del suelo. Por último, en la discusión y conclusiones finales, se concatenaron los resultados y se realizaron inferencias que permiten una mejor comprensión de algunos de los aspectos vinculados a la actividad forestal con especies exóticas de rápido crecimiento en la Región Andino Patagónica. De los conocimientos generados surgen nuevas preguntas,

que en forma de hipótesis, permitirán avanzar en el entendimiento de los efectos que las plantaciones producen en este ecosistema de estepa.

## METODOLOGÍA GENERAL

### Características generales del área de estudio

El área seleccionada para desarrollar el presente trabajo se encuentra en la Región Andino Patagónica Argentina e incluye las Provincias de Neuquén, Río Negro y Chubut. En ella, las lluvias son abundantes en el período otoño – invierno y debido al relieve, disminuyen abruptamente de 3.000 a 200 mm en dirección Oeste – Este. Esto origina un gradiente aproximado de 50 mm por año y por kilómetro desde las altas cumbres, que marcan el límite internacional con la República de Chile, a la estepa patagónica (Pereyra, Abadie 1966, Barros *et al.* 1979).

La ceniza volcánica es el material originario de la mayoría de los suelos de la región. Ésta, después de producida durante diferentes erupciones, fue transportada por el viento y reacomodada con posterioridad, por acción coluvial, sobre formaciones tobáceas, depósitos de origen glaciario y aluvial (Laya 1969, Colmet Dâage *et al.* 1988). Su composición química es muy variable y puede cambiar de acuerdo al volcán que la haya originado, aún estando éstos a poca distancia. La ceniza puede también, para un mismo volcán, modificarse en el tiempo (Colmet Dâage *et al.* 1978, 1988, Apcarian, Irisarri 1993, López *et al.* 1992, López 1996).

La distribución y las variaciones en el espesor del material originario están asociadas a las características de las precipitaciones y a la morfometría de la región. Donde las lluvias son más abundantes, la ceniza se acumula con mayor facilidad, siendo además, favorecidos los lugares que están protegidos de los vientos dominantes del Oeste. Una vez depositada, la ceniza volcánica sufre procesos pedogenéticos que están íntimamente relacionados a las características mencionadas. La magnitud de la meteorización del material originario (andolización o alofanización) imprime características diferenciales a los suelos y resulta significativa por su efecto sobre la vegetación nativa, que pasa de selva valdiviana a estepa patagónica en pocos kilómetros (Irisarri, Mendía 1997).

El material volcánico que se encuentra bajo estas condiciones puede sufrir modificaciones estructurales a nivel mineralógico. Si la ceniza volcánica es de naturaleza básica o mesosilícica y se encuentra en medios bien drenados y bajo procesos de desbasificación, origina una serie amorfa – cristalina: alófano, imogolita, haloisita (Colmet Dâage *et al.* 1988).

El alófano se forma masivamente durante las primeras etapas de la alteración en condiciones de lavaje intenso. Posee propiedades físicas, químicas y microbiológicas muy particulares (Besoain 1985). Es una sustancia amorfa, fuertemente hidratada, porosa, formada por esférulas huecas. Presenta gran superficie específica, elevada capacidad de intercambio catiónico / aniónico y de retención hídrica (Buol *et al.* 1991).

La imogolita, por su parte, posee débil grado de cristalinidad y una morfología en fibras, semejantes a hebras de hilo o cabellos. Su génesis está asociada al alófano y su formación simultánea es muy frecuente (Besoain 1985). La capacidad de retención hídrica es menor que la del alófano, pero retiene más agua que la mayoría de los materiales formadores de los principales suelos (Colmet Dâage *et al.* 1988).

La haloisita tiene una estructura más cristalina, se forma bajo condiciones de lavaje moderado y con aportes periódicos de ceniza volcánica (Besoain

1985). Dentro de la serie amorfa – cristalina es la arcilla que menor retención de agua presenta.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, ubicamos al Oeste, zona con mayores precipitaciones, a los Andisoles. Estos son suelos profundos, alofánicos, con una retención hídrica superior al 35 %, con alta retención de fósforo (superior al 85 %), baja densidad aparente ( $0,85 \text{ g cm}^{-3}$ ), reacción ligeramente ácida y buena disponibilidad de bases de cambio ( $10 - 15 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$  de suelo). Los valores de materia orgánica en los primeros horizontes abarcan un rango de 6 a 11 % (Ortiz 1976, Colmet Dâage *et al.* 1988, Colmet Dâage 1993).

Hacia el Este y con menor humedad, se ubican los Molisoles, que poseen materiales mejor cristalizados, alta capacidad de intercambio catiónico, reacción neutra o ligeramente ácida y débil retención de fósforo. La disponibilidad de agua es baja en los horizontes superficiales pero es importante a mayor profundidad. La densidad aparente se ubica en valores de  $0,9 - 1,0 \text{ g cm}^{-3}$  y el contenido de materia orgánica es de entre 3 a 5 % (Ortiz 1976, Colmet Dâage *et al.* 1988, Colmet Dâage 1993, Broquen *et al.* 1995, López 1996).

### **Área de muestreo seleccionada**

El área de muestreo comprende el ecotono estepa / bosque, abarcando las tierras promocionadas para la implantación de bosques de rápido crecimiento y que se encuentran degradadas por acción antrópica. La misma es una franja de unos 750 km de largo en dirección Norte – Sur, por unos 40 km de ancho de Oeste a Este (Díaz 1997). Ella, a través de su cobertura vegetal de pastizal (gramíneas de los géneros *Stipa*, *Festuca*, *Bromus*, *Poa*, etc., hierbas y arbustos palatables y no palatables como *Adesmia* sp., *Acaena* sp., *Mulinum* sp., etc.) ha sido el recurso forrajero de la ganadería patagónica desde la llegada de los colonos a principio del siglo pasado (Soriano 1948, 1952, 1983, Defossé *et al.* 1990, Ares *et al.* 1990).

En esta franja se estudiaron 29 lugares distribuidos de Norte a Sur entre los  $36^{\circ} 43'$  (Manzano Amargo, Neuquén) y los  $44^{\circ} 8'$  (Río Pico, Chubut) de latitud Sur. El rango Oeste / Este comprende desde los  $71^{\circ} 29'$  (Lag. Terraplén, Chubut) hasta los  $70^{\circ} 35'$  (Pilcaniyeu, Río Negro) de longitud Oeste (Figura 1). La precipitación media anual varía aproximadamente entre los 350 y 1.000 mm.



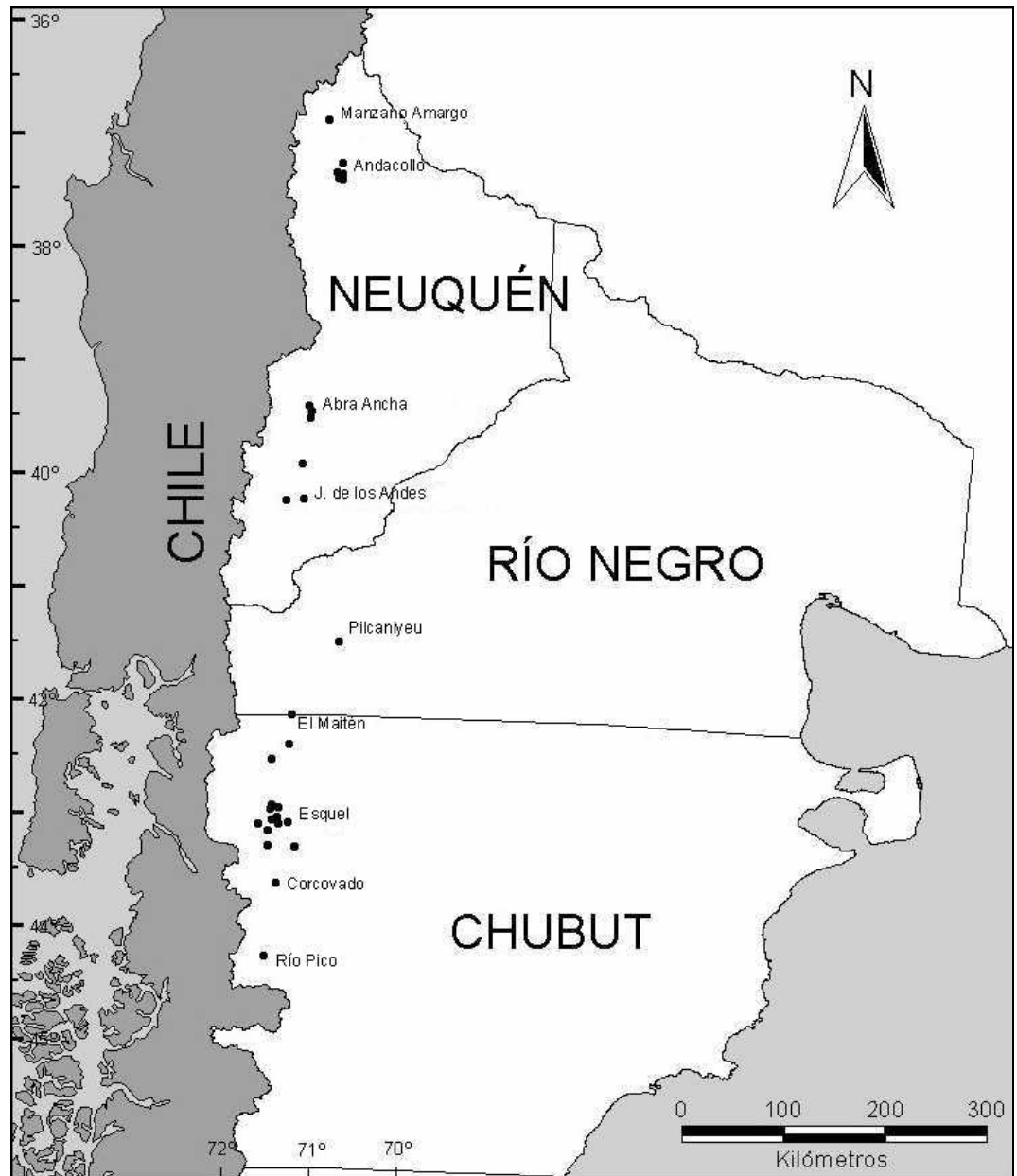


Figura 1. Ubicación de los 29 lugares estudiados en el ecotono estepa / bosque de la Región Andino Patagónica.

A fin de evaluar los posibles cambios espaciales y temporales producidos en la reacción del suelo y en el contenido de materia orgánica por la presencia de bosque, se compararon, en cada uno de los 29 lugares, un sitio bajo plantación de pino ponderosa (bosque = dentro), con otro similar, en los que presumiblemente se mantuvieron las condiciones originales previas a la implantación (estepa = fuera). Por este motivo el estudio se basó en la comparación en 29 lugares de sitios apareados (bosque / estepa) con condiciones edafoclimáticas similares (Tabla 1).

Tabla 1. Ubicación de los 29 lugares estudiados con sus 2 sitios respectivamente (bosque y estepa). Las coordenadas geográficas y la altura sobre el nivel del mar corresponden al sitio bajo bosque. La precipitación y la temperatura media anual es una estimación basada en el registro más cercano\*.

Lugar	Sitio		Coordenadas						Altura (m s.n.m.)	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)
	Bosque	Estepa	Lat. Sur (° ' ")			Long. Oeste (° ' ")					
Manzano Amargo	293	294	36	44	25,5	70	46	15,3	1.330	979	10,0
El Manzano	299	304	37	7	9,1	70	37	7,1	1.130	740	12,7
Andacollo	289	292	37	13	34,6	70	38	3,2	1.535	425	12,6
Andacollo	291	290	37	13	30,9	70	38	13,2	1.600	425	12,6
Huinganco	295	296	37	13	10,0	70	37	1,8	1.560	425	12,6
Andacollo	297	298	37	13	25,9	70	38	23,2	1.580	425	12,6
Abra Ancha	279	278	39	18	13,8	70	56	46,4	1.260	800	s/dato
Abra Ancha	274	275	39	19	45,6	70	56	20,8	1.080	800	s/dato
Abra Ancha	276	277	39	19	2,4	70	56	20,3	1.070	800	s/dato
Río Malleo	280	281	39	46	49,9	71	1	53,0	765	549	11,0
Junín de los Andes	284	285	40	5	52,1	71	0	45,0	720	549	11,0
San Martín de los Andes	282	283	40	6	9,1	71	12	34,6	880	549	11,0
Pilcaniyeu	309	310	41	20	54,3	70	35	9,3	1.150	350	s/dato
El Maitén	55	286	42	0	14,3	71	7	49,2	740	434	8,4
Leleque	257	262	42	15	26,0	71	9	39,4	700	445	8,6
Cholila	17	269	42	23	31,2	71	21	56,6	750	704	8,3
Los Ñires	287	288	42	52	27,7	71	17	13,4	650	550	9,2
Laguna La Zeta	272	273	42	52	36,5	71	20	10,4	890	550	9,2
Laguna La Zeta	307	308	42	53	14,4	71	21	53,9	780	550	9,2
Cementerio Esquel	305	306	42	54	8,9	71	17	14,4	670	550	9,2
UNPSJB	259	258	42	55	49,2	71	21	57,9	610	550	9,2
Cerro Excursión	265	266	42	55	57,1	71	18	51,5	850	550	9,2
Aeropuerto Esquel	263	264	42	56	17,8	71	11	29,4	750	605	9,0
Laguna Terraplén	247	248	42	58	32,3	71	29	46,1	720	749	9,2
Ea. El Parque	245	244	43	2	12,0	71	23	5,2	680	524	9,2
Trevelin	260	261	43	9	4,6	71	24	29,2	690	668	9,7
Ea. Suñica	267	268	43	10	8,7	71	4	42,1	720	431	7,2
Corcovado	169	170	43	29	16,2	71	18	30,6	800	541	9,5
Río Pico	270	271	44	8	2,9	71	26	46,2	980	479	7,0

\* Los valores climáticos deben ser tomados como una referencia general.

Además, a fin de hacer un seguimiento anual más intensivo, se seleccionaron 2 lugares en cercanías de la Ciudad de Esquel, de fácil accesibilidad durante todo el año, en donde se instalaron parcelas permanentes bosque / estepa durante todo el tiempo del proyecto (4 años). Ambos lugares presentaban rodales de pino ponderosa, siendo uno más seco, con propiedades mólicas (Ea. El Parque) y el otro húmedo, con características de suelo ándicas (Lag. Terraplén). La estepa en Ea. El Parque presentaba un buen manejo, con una cobertura del 80 % y con abundantes pastos (predominaban las gramíneas). En Lag. Terraplén, en cambio, con una cobertura del 40 %, había evidencias de degradación por sobrepastoreo debido a la presencia excesiva de *Acaena* sp., con la consecuente disminución de pastos palatables.

## Muestreo

En los 29 lugares, entre el 6/11/02 y el 5/5/03, se efectuaron descripciones de suelo en el bosque y en la estepa (58 perfiles) según las normas de reconocimiento y muestreo más utilizadas en la Argentina (Schoeneberger *et al.* 2000). Se clasificaron luego según la taxonomía de suelos del USDA (Soil Survey Staff 1999) hasta Subgrupo (ver Anexo 1).

Para caracterizar los lugares dasométricamente, se realizaron 28 parcelas circulares en los sitios con bosque (Tabla 2). Las mismas tenían 300 m<sup>2</sup>, salvo en el sitio 309, en donde por las características del rodal se tomó una parcela rectangular de 127 m<sup>2</sup>. Los rodales seleccionados no estaban raleados, salvo en el sitio 284, en donde este tratamiento se había efectuado en forma reciente. Las densidades variaron entre 700 y 3.228 árb ha<sup>-1</sup>. A todos los árboles de cada parcela se les midió el diámetro a la altura del pecho (DAP = 1,30 m) y a los más representativos, según las clases diamétricas, la altura total. Además, se seleccionaron 3 ejemplares según el criterio de los 100 árboles más gruesos por hectárea, para determinar el largo de los 5 entrenudos por arriba del DAP, como un indicador de la calidad de sitio (Gonda, Cortés 2001) y la edad, contando el total de entrenudos desde la base del tronco hasta el ápice. Si alguno de ellos presentó algún defecto (bifurcación, ataque de mariposita del brote, etc.) no fue considerado, tomándose el que seguía en orden de grosor, a fin de estimar el real potencial de cada sitio. Los rodales estudiados comprendieron un rango de edad de 10 a 46 años, siendo el promedio de 21 años.

Tabla 2. Caracterización dasométrica de los 29 sitios bajo bosque de pino ponderosa.

Rodal	Edad (años)	Densidad actual (árb ha <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Altura media (m)	Altura media árb. dominantes (m)	Largo de 5 entrenudos (m)
293	27	1.400	72,45	15,51	19,11	4,50
299	25	1.767	87,38	18,56	22,67	3,77
289	19	933	56,85	13,10	14,52	3,91
291	16	1.467	31,54	7,40	8,61	3,30
295	17	1.600	38,87	9,05	11,32	2,02
297	16	1.633	32,31	8,03	9,21	3,69
279	20	1.167	16,10	5,45	6,75	2,31
274	22	1.267	39,91	11,42	17,51	4,17
276	23	1.933	68,74	11,40	15,60	3,87
280	17	867	45,16	9,67	11,55	3,69
284	36	933	105,97	22,06	27,42	3,84
282	46	1.133	127,66	21,62	22,58	3,31
309	30	3.228	105,64	11,58	15,64	2,61
55	42	1.500	135,64	21,20	25,09	2,61
257	10	1.033	2,57	2,77	3,37	2,17
17	21	700	56,19	13,73	14,72	3,96
287	12	1.067	5,75	3,81	4,61	1,87
272	15	1.100	22,34	6,40	7,13	2,77
307	14	833	21,62	6,34	7,80	3,23
305	13	1.100	21,00	6,05	7,43	3,55
259	12	1.467	7,11	3,46	5,09	3,22
265	14	767	9,19	4,59	5,95	2,62
263	21	700	9,07	4,41	5,89	1,67
247**	25	1.000	31,40	6,77	7,91	2,22
245*	23	1.733	53,95	8,43	11,43	2,90
260	23	1.100	44,97	8,53	10,54	3,04
267	37	933	119,28	21,19	24,55	2,50
169	17	1.667	28,71	5,79	7,15	2,81
270	16	1.700	11,70	3,24	5,11	1,90

\* Ea. El Parque, \*\* Lag. Terraplén.

En gabinete se calculó la altura de todos los árboles no medidos según el modelo propuesto por Gonda *et al.* (2004) y la biomasa de los fustes, ramas,

acículas y raíces con las ecuaciones<sup>3</sup> propuestas por Loguercio *et al.* (manuscrito en preparación). En el sitio 284 se estimaron los DAP de los árboles recientemente raleados en base al diámetro del tocón, utilizando una regresión ajustada con las mismas variables medidas en los árboles que se encontraban en pie.

También se describió la vegetación no arbórea más representativa, tanto en el bosque (sotobosque) como en la estepa adyacente, realizando observaciones en proximidades de cada una de las 58 calicatas. Esta vegetación comprende en general al Distrito Occidental de la Provincia Fitogeográfica Patagónica (Soriano 1956) y en Neuquén, al de la Payunia (Cabrera 1976). En la Tabla 3 se mencionan las especies dominantes, que junto a su cobertura del suelo, son principalmente el producto del disturbio provocado por distintas intensidades de pastoreo en cada uno de los lugares muestreados.

Tabla 3. Caracterización de la vegetación herbácea de los 29 lugares estudiados con sus 2 sitios respectivamente (bosque, estepa).

Sobosque		Estepa	
Sitio	Vegetación representativa	Sitio	Vegetación representativa
293	sin sotobosque	294	neneo, palo piche (30 % de cobertura)
299	sin sotobosque	304	cardo ruso, palo piche, arbustos (70 % de cobertura)
289	sin sotobosque	292	chuquiraga, coirón, neneo, vinagrillo (50 % de cobertura)
291	sin sotobosque	290	chuquiraga, coirón, neneo, vinagrillo (40 % de cobertura)
295	sin sotobosque	296	cardo ruso, coirón (60 % de cobertura)
297	sin sotobosque	298	chuquiraga, coirón (20 % de cobertura)
279	acaena, coirón	278	coirón, arbustos (60 % de cobertura)
274	sin sotobosque	275	coirón, neneo (50 % de cobertura)
276	sin sotobosque	277	coirón, neneo (40 % de cobertura)
280	sin sotobosque	281	coirón, neneo (50 % de cobertura)
284	sin sotobosque	285	acaena, coirón (95 % de cobertura)
282	sin sotobosque	283	coirón, gramíneas varias (100 % de cobertura)
309	sin sotobosque	310	coirón, semi arbustivas varias (60 % de cobertura)
55	sin sotobosque	286	gramíneas varias (100 % de cobertura)
257	acaena	262	acaena, coirón, neneo, vinagrillo (40 % de cobertura)
17	sin sotobosque	269	acaena, coirón, cola de zorro, vinagrillo (60 % de cobertura)
287	coirón, neneo	288	acaena, coirón (20 % de cobertura)
272	acaena, coirón, neneo, vinagrillo	273	acaena, coirón, neneo, vinagrillo (50 % de cobertura)
307	acaena, coirón, neneo, vinagrillo	308	acaena, coirón, neneo, vinagrillo (40 % de cobertura)
305	coirón, vinagrillo	306	coirón, vinagrillo (90 % de cobertura)
259	coirón, vinagrillo	258	cardo, coirón, vinagrillo (100 % de cobertura)
265	coirón, gramíneas varias	266	coirón, neneo, vinagrillo (60 % de cobertura)
263	coirón, neneo	264	coirón, neneo (50 % de cobertura)
247	acaena	248	acaena, coirón (40 % de cobertura)
245	sin sotobosque	244	gramíneas varias (80 % de cobertura)
260	gramíneas varias	261	gramíneas varias (100 % de cobertura)
267	sin sotobosque	268	coirón, neneo, vinagrillo (70 % de cobertura)
169	sin sotobosque	170	acaena (40 % de cobertura)
270	acaena, coirón, neneo	271	coirón, neneo (50 % de cobertura)

<sup>3</sup> Biomasa = f (altura, área basal).

## Capítulo 1: distribución del agua de lluvia dentro del bosque de pino ponderosa y su relación con El pH edáfico superficial

### INTRODUCCIÓN

El agua de lluvia que incide sobre una cubierta vegetal puede ser interceptada por hojas y ramas, de donde se evapora, o llegar al suelo goteando a través del follaje o escurriendo por el fuste (Ecuación 1.1).

$$P_i = I + P_d + E_f \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:

$P_i$  = precipitación incidente.

$I$  = intercepción.

$P_d$  = precipitación directa (agua que llega al suelo atravesando el follaje).

$E_f$  = escurrimiento por el fuste.

Si se realiza un cambio en la cobertura vegetal, por ejemplo de estepa a bosque, la cantidad de agua que vuelve a la atmósfera o ingresa al suelo se modifica, pues diferentes variables del ciclo hidrológico dependen de la especie vegetal, del manejo y de las condiciones climáticas del sitio (Ford, Deans 1978, Oyarzún *et al.* 1985, Stadtmüller 1994, Crockford, Richardson 2000).

En cualquier sitio, la intercepción de la lluvia por una cobertura boscosa produce un efecto hidrológico muy significativo, equivalente a una fracción del agua precipitada, pudiéndose determinar por la Ecuación 1.1 (Branson *et al.* 1981, Huber, Oyarzún 1984, Dunkerley 2000). Esta cantidad de agua depende fundamentalmente de la densidad del dosel, siendo en bosques cerrados más alta que en superficies herbáceas (Ford, Deans 1978, Kelliher *et al.* 1993). En un bosque, la mayor intercepción se produce a edades intermedias, cuando se cierran las copas, disminuyendo luego con la edad del rodal (Donoso 1992). Esto indica que el agua precipitada que alcanza el suelo decrece a medida que el dosel es más denso, dependiendo también de la altura, área basal, tipo de ramificación (horizontal o descendente) y follaje (perenne o caducifolio) de los árboles (Hutchinson, Roberts 1981, Branson *et al.* 1981, Huber, Oyarzún 1983, Donoso 1992, Abrahamson *et al.* 1998). Lee (1980) ordena las diferentes cubiertas vegetales de acuerdo a las cantidades de agua interceptada en: pinos > eucaliptos > otros árboles caducifolios > rastrojos > pastizales.

El agua interceptada por el dosel puede regresar a la atmósfera bajo ciertas condiciones climáticas (humedad, insolación, viento, intensidad y duración de la lluvia) o llegar al suelo por goteo y escurrimiento por el fuste a medida que la precipitación satura la capacidad de almacenaje del follaje (Klaassen *et al.* 1998). Tanto la precipitación directa (goteo), como el escurrimiento fustal, representan entonces los aportes efectivos de humedad al suelo (precipitación efectiva) (Figura 1.1). Generalmente la cantidad de agua que atraviesa el dosel es más importante que la canalizada por el fuste (Huber, Oyarzún 1983, Hutchinson, Roberts 1981, Santa *et al.* 1989, Huber 1991). No obstante, el agua que ingresa muy cerca de la base del tronco se pone rápidamente en contacto con las raíces, penetrando profundamente en el perfil (Kimmins 1997) y tiene mucha importancia durante la época seca del año (Huber, Oyarzún 1983, Cecchi *et al.* 2000). Sin embargo, cuando en el bosque está presente el horizonte orgánico, la intercepción puede aumentar, disminuyendo el agua que llega al suelo mineral, pues parte de la misma no

infiltra en el perfil al ser absorbida por la hojarasca (Branson *et al.* 1981, Crockford, Richardson 2000). Este patrón espacial de la precipitación es el responsable de la distribución de raíces finas en el suelo (Ford, Deans 1978).

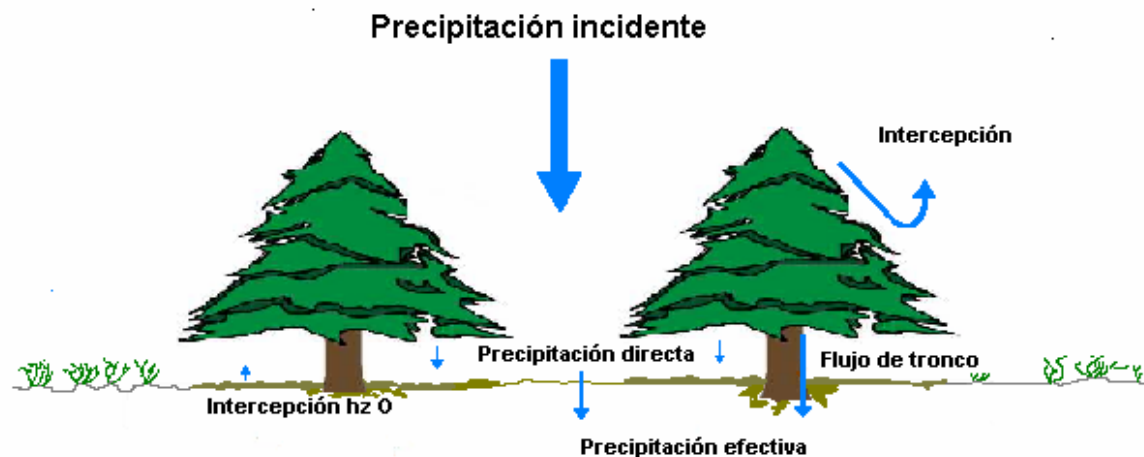


Figura 1.1. Distribución de la precipitación incidente en el bosque y la estepa.

El área proyectada por la copa de un árbol está vinculada con la cantidad de agua que escurre por el fuste (Ford, Deans 1978) y la contribución de las diferentes partes de la copa al flujo del tronco no está relacionada directamente con la capacidad de intercepción de las ramas, sino con el ángulo que las mismas presentan respecto al tronco principal. Al respecto, Hutchinson y Roberts (1981) encontraron que la parte superior de la copa, con escasa superficie de follaje pero con ángulos de inserción al tronco de 70 – 80°, que se mantienen a lo largo de toda la rama, producen el 98,3 % del escurrimiento por el fuste. En cambio, la parte baja de la copa, con gran superficie de intercepción, pero con ramas que tienden a la horizontal por la longitud y el peso, no contribuyen con el escurrimiento del tronco y provocan principalmente la llegada del agua al suelo a través del follaje (precipitación directa). También la forma de las ramas y la rugosidad, grosor y absorción de la corteza se relacionan con la cantidad de agua necesaria que debe caer para que se inicie el flujo de tronco (Ford, Deans 1978, Huber, Oyarzún 1983).

Oyarzún *et al.* (1985) comprobaron que a medida que aumenta la densidad de la plantación se incrementan los porcentajes de escurrimiento fustal con respecto a la precipitación incidente y decrecen los montos absolutos de escurrimiento fustal por árbol. Es decir, mientras más árboles hay por unidad de superficie, mayor es el área de intercepción, condición que favorece el escurrimiento por el fuste.

El agua que tiene contacto con la vegetación, puede provocar el arrastre de sustancias que alteran su composición química (Gersper, Holowaychuk 1970 b, 1971, Santa *et al.* 1989, Neary, Gizyn 1994, Andrade *et al.* 1995, Lovett *et al.* 1996). En este sentido, el flujo de tronco puede presentar valores de pH que varían entre 3,1 y 5,5 según la especie forestal considerada (Satake *et al.* 1996), debido a diferencias en la composición de la corteza. Ando *et al.* (2003) señalan que las coníferas tienen menor porcentaje de calcio, magnesio y potasio en comparación con las latifoliadas. Esto significa que al pie del árbol se recibe un

flujo concentrado de agua, que por sus características, puede modificar la reacción del suelo y los procesos edafogenéticos y biológicos asociados (Zinke 1962, Riha *et al.* 1986, Gersper, Holowaychuk 1970 b, Birkeland 1998, Kaneko, Kofuji 2000, Amiotti *et al.* 2000).

El objetivo particular de este capítulo fue evaluar, dentro del bosque de pino ponderosa, la distribución de la precipitación y las variaciones que ésta provoca en el pH del suelo mineral en los primeros 5 cm de profundidad en relación con la distancia (0, 50 y 100 cm) a la base del tronco. En base a este objetivo se propuso para el ecotono estepa / bosque andino patagónico, la siguiente hipótesis:

- Las modificaciones que la plantación de pino ponderosa produce en la distribución de la precipitación dentro del bosque y en el pH del agua que llega al suelo (precipitación directa y flujo de tronco) no provocan cambios en el pH del suelo a 5 cm de profundidad, manteniéndose constante la reacción del suelo bajo la copa de cada árbol.

La primer parte de esta hipótesis asume que el bosque de pino ponderosa en áreas de estepa modifica la distribución de la precipitación incidente. Dicha suposición está basada en innumerables evidencias aportadas por diferentes trabajos de investigación (Branson *et al.* 1981, Huber *et al.* 1985, Kelliher *et al.* 1993, Kimmins 1997) y por lo tanto no fue objeto de prueba alguna. Tomando en cuenta esta aseveración, se plantea en la segunda parte de la hipótesis, que la plantación produce modificaciones también en el pH del agua que llega al suelo, tanto en la precipitación directa como en el flujo de tronco. Este cambio en la calidad del agua, en comparación con la precipitación incidente, no sería suficiente para modificar la reacción edáfica superficial (5 cm) en relación con la distancia a la base del tronco. Esto es, porque podría suceder que la concentración de protones recibida bajo la copa de cada árbol con el agua de lluvia no sea de suficiente magnitud como para alterar la reacción del suelo, pues los mismos se neutralizarían con la importante cantidad de bases que posee la ceniza volcánica holocénica de la región (material originario del suelo) (Colmet Dâage 1993, Broquen *et al.* 1995).

## **METODOLOGÍA**

### **Distribución de la precipitación en el bosque y pH del agua de lluvia**

En las 2 parcelas permanentes (Ea. El Parque y Lag. Terraplén), según lo explicado en la Metodología General, se estudió la distribución de la precipitación y el pH del agua de lluvia. Para cuantificar la precipitación incidente se instalaron, en los 2 sitios fuera del bosque, 10 pluviómetros al nivel del suelo, separados cada 2 m y lo suficientemente alejados como para evitar interferencia de los árboles. Para determinar la precipitación directa se dispuso, dentro de cada rodal y alrededor de 2 árboles dominantes, pluviómetros a nivel del suelo según 4 ejes (Norte, Sur, Este, Oeste). En cada uno de éstos, se ubicaron 3 pluviómetros en relación con la distancia a la base del tronco (5, 100 y 200 cm). De esta manera en cada árbol dominante seleccionado fueron instalados 12 pluviómetros (24 por sitio) (Figura 1.2). Para cuantificar el volumen de agua por escurrimiento fustal, se instalaron en cada uno de los árboles dominantes, rodeando al tronco, canaletas de aluminio conectadas a bidones recolectores. Las mediciones se realizaron entre el 9/2/00 y el 1/3/02 en forma periódica, dependiendo la frecuencia de medición de la época del año y de la lluvia caída.

En total se registraron 42 eventos en Ea. El Parque y 35 en Lag. Terraplén, representando los mismos, sólo una parte de la precipitación total durante dicho período.

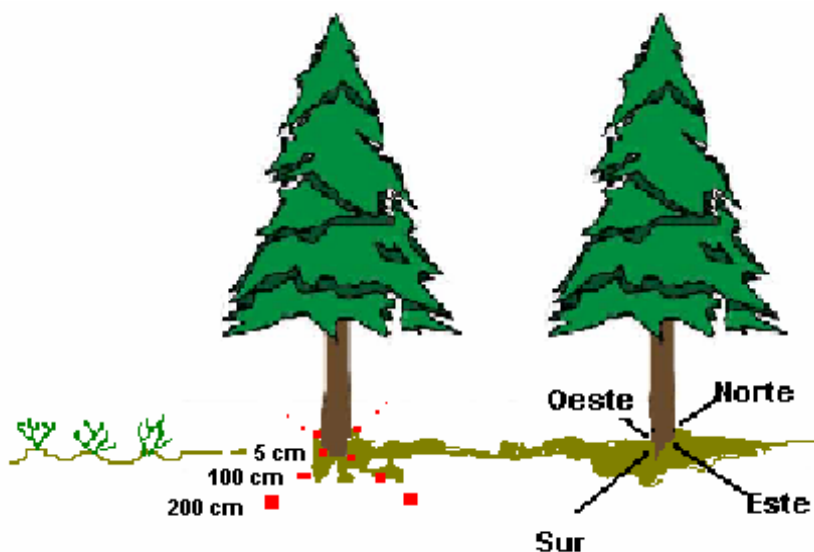


Figura 1.2. Disposición de los pluviómetros dentro del bosque a 5, 100 y 200 cm de la base del tronco de un árbol dominante.

El agua interceptada fue calculada según la Ecuación 1.1 ( $I = P_i - P_d - E_f$ ), mientras que el flujo de tronco por hectárea se determinó sobre la base de la densidad del rodal (árboles  $ha^{-1}$ ) y el valor promedio por árbol. Además, para estimar la interceptación de la hojarasca, se calculó en laboratorio la capacidad máxima de retención de humedad de las acículas de pino. Para ello se recolectaron acículas secas sobre árboles ubicados en cercanías del CIEFAP<sup>4</sup>, en la Ciudad de Esquel (ver Figura 1, en Metodología General). Todo el material vegetal cosechado fue mezclado y secado al aire en laboratorio durante 15 días. Luego se humedecieron 4 muestras de 50 g c/u en palanganas con agua durante 7 días y se dejaron escurrir hasta finalizar el goteo (aproximadamente 1 hora), determinándose la humedad por diferencia de peso.

El pH de la precipitación incidente, directa y del escurrimiento por el tronco fue determinado periódicamente en el laboratorio, entre el 13/7/00 y el 17/1/03. En cada oportunidad se obtuvieron 5 muestras por lugar (1 para la precipitación incidente, 2 para la precipitación directa y 2 para el flujo de tronco).

La variación en la distribución de la precipitación directa se analizó por medio de un diseño jerárquico o anidado de 2 etapas con el programa estadístico SAS (SAS 1999). El factor distancia está anidado bajo el factor árbol.

### **Determinación del pH edáfico en relación a la distancia al tronco**

El pH edáfico bajo la copa de los árboles fue determinado en los 29 rodales elegidos para el estudio a nivel regional. En cada sitio, se seleccionaron 3 árboles dominantes, de acuerdo a los criterios especificados en la Metodología General. Se tomaron muestras de los primeros 5 cm del suelo mineral, considerando los 4 puntos cardinales (Pallant, Riha 1990), a 3 distancias desde

<sup>4</sup> Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico.



la base del tronco (0, 50 y 100 cm). Se muestreó entonces el suelo por debajo de 87 árboles, que significó un total de 1.044 muestras. Las mismas fueron secadas al aire y pasadas por tamiz de malla de 2 mm. Se midió luego el pH en agua en una relación 1:1 a los 60 minutos. Cada determinación se realizó por duplicado con una exactitud igual o menor a 0,14 unidades de pH.

Los datos de pH se analizaron por medio de un diseño jerárquico o anidado de 3 etapas con el programa estadístico SAS (SAS 1999). El factor árbol está anidado bajo los niveles del factor sitio. A su vez las distancias están anidadas bajo el factor árbol.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Distribución de la precipitación en el bosque

La intercepción del dosel del bosque con respecto a la precipitación incidente varió entre el 47 y el 100 % en Ea. El Parque y entre el 32 y el 100 % en Lag. Terraplén, siendo en la mayoría de los eventos estudiados cercana al 50 % o superior (ver Anexo 2). Los valores promedios de intercepción para las precipitaciones registradas fue de 66 y 57 % respectivamente (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Precipitación incidente total, porcentaje promedio de precipitación interceptada, directa y flujo de tronco en las 2 parcelas permanentes instaladas en Ea. El Parque (n = 42) y Lag. Terraplén (n = 35), en el período comprendido entre el 9/2/00 y el 1/3/02.

		Ea. El Parque	Lag. Terraplén
Precipitación incidente total	(mm)	970	1.422
Promedio precipitación interceptada	(%)	65,90	57,47
Promedio precipitación directa	(%)	32,22	38,56
Promedio flujo de tronco	(%)	1,80	3,97

En promedio para los 2 lugares, el 61,7 % de la lluvia incidente se evaporó desde la copa de los árboles en rodales no manejados (sin poda y raleo) y con las características dasométricas que se detallan en el Tabla 2 (ver Metodología General). Otros autores citan que este valor puede fluctuar entre 8 y 50 % según el lugar y la especie (Ford Deans 1978, Branson *et al.* 1981, Roberts *et al.* 1982, Huber, Oyarzún 1983, Oyarzún *et al.* 1985, Santa *et al.* 1989, Llorens *et al.* 1997, Kimmins 1997, Schellekens *et al.* 1999, Iroume, Huber 2000, Huber, Trecaman 2000). Valores de intercepción superiores al 70 % son reportados por Huber y Oyarzún (1984), en un rodal de pino radiata (Chile), cuando la intensidad de la lluvia es inferior a 2 mm h<sup>-1</sup> y tiene una duración menor a 1 hora. Posiblemente las diferencias con nuestros resultados se deban a que la precipitación media anual de la mayoría de los otros lugares es superior y porque los pluviómetros en nuestro estudio, fueron colocados bajo la copa de árboles dominantes con una cobertura del 100 %, sin considerar los claros del bosque. Al respecto, Crockford y Johnson (1983) encontraron diferencias en la intercepción en un mismo rodal utilizando pluviómetros (30 %) o canaleta de varios metros de largo (11 %). Los valores que se encuentran en la literatura hacen referencia a diferentes tipos de bosque y son promedios obtenidos a partir de una serie de eventos individuales que pueden variar considerablemente entre

sí (Huber, Oyarzún 1984). Por eso, la intercepción no se puede explicar sólo por la cantidad de precipitación incidente, sino que es necesario considerar otros aspectos como características de la precipitación (intensidad, duración), condiciones meteorológicas predominantes (viento, intervalo entre lluvias, temperatura, déficit de saturación del aire) y características de la vegetación (densidad, edad, especie, manejo) (Crockford, Richardson 2000).

En la Figura 1.3 se observa que los mayores porcentajes de intercepción se dan cuando disminuye el agua caída, pues pequeñas precipitaciones no saturarían de humedad el follaje, impidiendo de esa manera, el goteo hacia el suelo. En Ea. El Parque lluvias menores de 15 mm implican intercepciones mayores al 76 %. Estos valores son algo más bajos en Lag. Terraplén, en donde con lluvias iguales o menores a 7 mm, se registran altos porcentajes de intercepción (> 76 %). Estos resultados posiblemente también estén asociados a las características de las precipitaciones (intensidad), del viento (mayor exposición a los vientos) y del bosque de cada lugar. Similares resultados son presentados por Llorens *et al.* (1997) quienes para bosque de pino y en clima mediterráneo registraron que la intercepción decrece con el tamaño del evento. Los mismos autores señalan que las variables más importante para considerar serían la duración y la magnitud de cada lluvia.

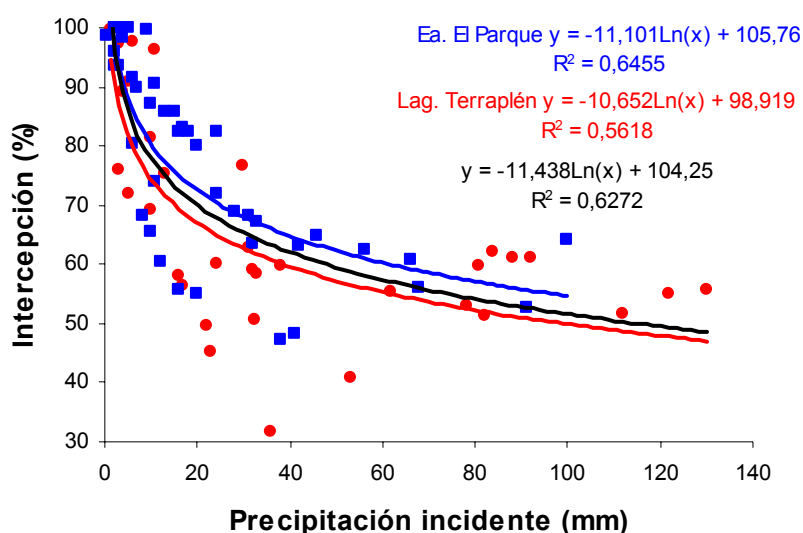


Figura 1.3. Relación entre el porcentaje de intercepción y la precipitación incidente en Ea. El Parque (n = 42), Lag. Terraplén (n = 35) y considerando todos los datos.

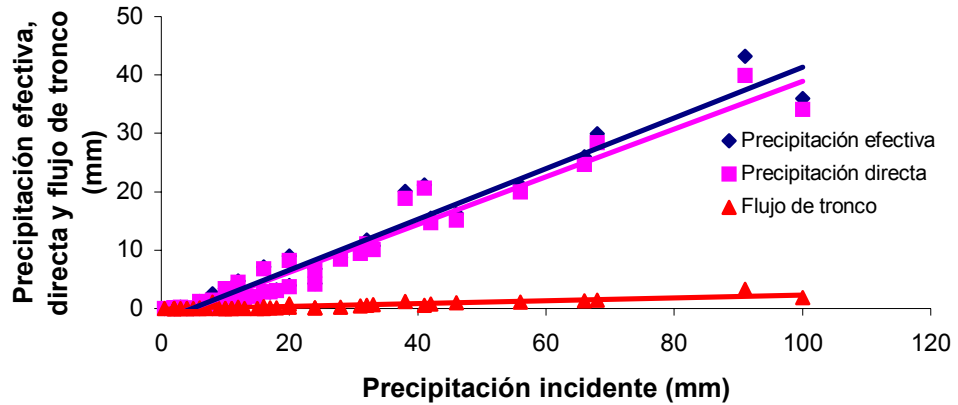
Cuando las lluvias tienen baja intensidad no sólo el agua caída no logra saturar el follaje, sino que además, las condiciones meteorológicas permiten generalmente una pequeña evaporación desde el dosel, aumentando las pérdidas por intercepción (Huber, Oyarzún 1984). Al contrario, las precipitaciones con alta intensidad se caracterizan por las gotas de mayor tamaño, que al estrellarse contra el follaje, alcanzan el suelo aún antes que se sature la totalidad de la copa del árbol (Calder 1996 a, 1999, Calder *et al.* 1996, Hall *et al.* 1996). Además, bajo estas últimas condiciones, el aire está siempre saturado con vapor de agua, disminuyendo las posibilidades de evaporación (Huber, Oyarzún 1984). Esto es común en bosques tropicales con lluvias de tipo

convectivas (mayor intensidad de la lluvia con tamaño de gota grande y menor tiempo para la evaporación) en donde la intercepción es menor en comparación con los bosques desarrollados bajo climas templados (Calder 1996 a, Calder *et al.* 1996). En este último tipo de clima los pinos presentan alta intercepción debido a que en general las gotas de lluvia son pequeñas y porque sus hojas, al ser más reducidas, provocan que la precipitación directa, al estrellarse en la parte superior del follaje, origine gotas chiquitas que mojan de manera más uniforme el interior de las copas (Calder 1996 b, 1999). Por su parte, el viento, al sacudir el follaje, también puede influir en la intercepción sin importar el tipo de clima (Klaassen *et al.* 1996). Factores como intensidad y duración de la lluvia, velocidad del viento y dirección durante y después de la lluvia, temperatura del aire y humedad, no fueron estudiados. Sin embargo, los porcentajes de intercepción tendieron a ser mayores en los meses de primavera - verano, posiblemente debido a la presencia de condiciones climáticas más favorables para la evaporación (ver Anexo 2).

Con respecto a la intercepción provocada por la estepa no se obtuvieron datos, aunque en base a la bibliografía y a las características de la vegetación herbácea de los lugares seleccionados (ver Tabla 3, en Metodología General) se puede suponer que la misma fue mucho menor o inclusive, casi nula. Kelliher *et al.* (1993) sostienen que la pérdida por intercepción en el bosque (30 %) es aproximadamente el doble en comparación con la estepa (15 %). Por su lado, Huber *et al.* (1985) señalan que los valores de intercepción son menores en sistemas silvopastoriles en relación a un bosque tradicional de pino que posee mayor densidad de árboles. Estos últimos autores encontraron en una pradera adyacente a ese tipo de sistema, que la precipitación incidente es similar a la directa, con lo cual no registraron pérdida por intercepción. Por otro lado, en una estepa arbustiva patagónica, Cecchi *et al.* (2000) midieron 25 % menos de agua bajo las plantas que a cielo abierto. Mientras que en una pradera árida canadiense las pérdidas por intercepción alcanzaron valores entre 21 y 32 % (Couturier, Ripley 1973). En nuestro caso, la menor intercepción de la estepa también se puede deducir por el retardo en el tiempo que presenta un bosque en la recarga de la humedad edáfica en comparación con el pastizal adyacente (Huber, Trecaman 2000). Este aspecto se refleja en la información presentada en el Anexo 3.

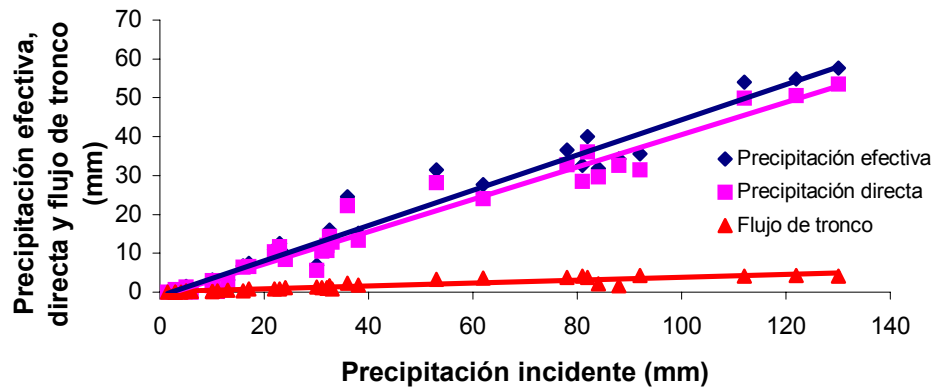
La mayor precipitación efectiva (precipitación directa + escurrimiento por el tronco) se observó cuando se registraron las lluvias más abundantes (Figura 1.4) y comenzó generalmente cuando el follaje se saturó de humedad o cuando otros factores lo permitieron, independientemente de la precipitación incidente. Parte de esta precipitación efectiva humedece el horizonte orgánico y el resto puede infiltrar en el suelo mineral, satisfaciendo las necesidades hídricas del bosque y produciendo procesos edafogenéticos. En nuestro estudio el agua máxima estimada que absorbió la hojarasca fue de 78 cm<sup>3</sup> cada 50 g de acículas. Considerando que el horizonte orgánico de Ea. El Parque tiene 30.502 kg ha<sup>-1</sup> (ver Capítulo 3), la hojarasca interceptaría como máximo 4,8 mm y en Lag. Terraplén (11.917 kg ha<sup>-1</sup>) 1,9 mm. Es decir, que con precipitaciones menores a dichos valores no se humedecerían los horizontes minerales subyacentes. Sin embargo, estos valores podrían verse modificados, pues el horizonte orgánico presenta una distribución heterogénea sobre el suelo del bosque (ver Capítulo 3) que podría provocar una mayor complejidad en el humedecimiento del perfil edáfico.

### Ea. El Parque



Precipitación efectiva	$y = 0,4341 x - 2,0965$	$R^2 = 0,95$
Precipitación directa	$y = 0,4092 x - 1,9529$	$R^2 = 0,95$
Flujo de tronco	$y = 0,0249 x - 0,1436$	$R^2 = 0,78$

### Lag. Terraplén



Precipitación efectiva	$y = 0,4544 x - 1,0742$	$R^2 = 0,96$
Precipitación directa	$y = 0,4168 x - 1,1617$	$R^2 = 0,96$
Flujo de tronco	$y = 0,0376 x - 0,0875$	$R^2 = 0,84$

Figura 1.4. Relación entre la precipitación efectiva, directa y el flujo de tronco con la precipitación incidente en Ea. El Parque (n = 42) y Lag. Terraplén (n = 35).

Los resultados hasta aquí presentados también tendrían importancia a nivel regional por el efecto sobre el ciclo hidrológico en las diferentes cuencas. Por ejemplo, al considerar la magnitud de cada uno de los registros diarios de precipitación en el período 1983 – 2004 de la Ciudad de Esquel (Berwyn, datos no publicados) se puede inferir la precipitación efectiva dentro del bosque (Tabla 1.2). Sobre un total de 13.247 mm de precipitación incidente en dicho período, aproximadamente el 25 % (3.247 mm) podría haber llegado hasta el suelo en bosques con características similares a los estudiados.

Tabla 1.2. Precipitación media anual e incidente en la Ciudad de Esquel entre 1983 – 2004 (Berwyn, datos no publicados) y valores calculados de intercepción, precipitación directa y escurrimiento por el fuste (n = 1.500).

Ciudad de Esquel		
Precipitación media anual	(mm)	602
Precipitación incidente total	(mm)	13.247
Intercepción*	(mm)	10.001
Precipitación directa**	(mm)	2.977
Escurrimiento por el fuste***	(mm)	270

\*  $y=0,5465x+1,8321$ , \*\* $y=0,417x-1,6903$ , \*\*\* $y=0,0365x-0,1418$

La pérdida de la precipitación por efecto de la intercepción se podría deber a que el 71 % de los registros diarios fueron menores a 10 mm (registro diario promedio 8,83), siendo el rango total de los datos de 0,3 a 72,2 mm. Al considerar los datos de los meses más lluviosos (junio, julio y agosto) no se observaron diferencias en el porcentaje de intercepción. Seguramente estos valores varían en lugares que presentan diferentes intensidades de lluvia. Es decir, en lugares con registros diarios de menor magnitud, posiblemente más secos y ubicados hacia el Este de nuestra zona de estudio, habría mayor intercepción que en lugares con registros más abundantes. Sin embargo, es necesario un estudio más detallado, registrando eventos individuales de lluvia junto a otros factores no medidos en esta tesis, como ya fue señalado, que permitiría mejorar la descripción de este importante efecto del bosque.

Dentro del bosque, como consecuencia de todo lo explicado, la distribución de la precipitación directa es heterogénea, siendo los puntos más alejados de la base del tronco los que reciben más agua (Tabla 1.3).

Tabla 1.3. Precipitación directa promedio ( $\pm 1$  error estándar) que se recibió dentro del bosque considerando 3 distancias (5, 100 y 200 cm) a la base del tronco en Ea. El Parque y Lag. Terraplén. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p<0,05$ ) según Tukey (n = 8).

Distancia al tronco (cm)	Precipitación directa (mm)	
	Ea. El Parque	Lag. Terraplén
5	264,1 <sup>b</sup> $\pm$ 30,37	422,1 <sup>b</sup> $\pm$ 48,56
100	295,5 <sup>ab</sup> $\pm$ 20,03	707,9 <sup>a</sup> $\pm$ 18,70
200	396,5 <sup>a</sup> $\pm$ 35,94	717,6 <sup>a</sup> $\pm$ 62,57

Por otro lado, el agua que proviene del escurrimiento por el fuste lo hace en un sector muy localizado alrededor del mismo y no representa un porcentaje importante de la precipitación incidente. La bibliografía cita valores entre el 0 y 15 % (Hutchinson, Roberts 1981, Huber, Oyarzún 1983, Hanchi, Rapp 1997, Abrahamson *et al.* 1998, Santa *et al.* 1989, Iroume, Huber 2000), similares a los registrados en Ea. El Parque y Lag. Terraplén, en donde el promedio fue de 2 y 4 % respectivamente (Tabla 1.1). Sin embargo, el volumen de agua por árbol puede ser importante. En Ea. El Parque ingresó en promedio, durante los 42 eventos registrados, 100 l al pie de cada árbol y en Lag. Terraplén, con 35

eventos medidos, 560 l. Esta diferencia se debería principalmente a las características del rodal y de las precipitaciones. El rodal en Lag. Terraplén era menos denso y por su ubicación, la lluvia incidente podría haber mojado los fustes con ángulos más perpendiculares durante los eventos desarrollados con vientos fuertes, similar a lo señalado por Oyarzún *et al.* (1985).

### **pH del agua de lluvia que ingresa al bosque**

El agua que ingresa por goteo y por flujo de tronco determinan un patrón de humedecimiento heterogéneo del suelo (Ford, Deans 1978, Huber, Trecaman 2000). Además, al estar en contacto con la superficie vegetal, pueden alterar su pH por arrastre de diferentes sustancias orgánicas y/o inorgánicas (Tabla 1.4).

Tabla 1.4. pH promedio de la precipitación incidente, directa y escurrimiento por el tronco en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.

	Ea. El Parque	pH*		n
		n	Lag. Terraplén	
Precipitación incidente	6,53	19	6,80	23
Precipitación directa	6,48	61	6,47	68
Escurrimiento por el tronco	4,50	56	4,23	80

\* Los valores fueron transformados a concentración de H<sup>+</sup> para los cálculos estadísticos.

El pH de la lluvia incidente es más alto que lo señalado por la bibliografía, que indica un valor teórico cercano a 5,6 (Ugolini *et al.* 1988). Esto podría deberse al arrastre de partículas que se encuentran suspendidas en el aire, aunque esta explicación no deja de ser una mera hipótesis que deberá ser debidamente estudiada. Por su parte Nguyen y Valenta (1987), al medir el pH del agua de lluvia en Alemania, identifican como una posible causa de error la muy baja conductividad que poseen las muestras. Independientemente de lo expresado, la reacción de la precipitación directa no presentó un cambio importante en comparación a los valores registrados en la precipitación incidente. En cambio, al considerar el flujo de tronco, sí se observó una fuerte disminución en los valores de pH. Esto posiblemente se deba a la diferencia en el tiempo de contacto entre el agua y la superficie vegetal, que es mayor en el agua que escurre por el tronco. Satake *et al.* (1996) explican que los grupos ácidos insolubles en agua (carboxilos), contenidos en la parte externa de la corteza, provocan la importante disminución del pH.

Nuestro estudio mostró que en Ea. El Parque, el pH del flujo de tronco varió entre un valor mínimo de 4,14 a un máximo de 6,85. En Lag. Terraplén, por su parte, los valores fueron entre 3,49 y 5,53. Estos registros mostraron una tendencia a la acidez durante primavera - verano, posiblemente por el poco lavado de los ácidos orgánicos o por un efecto diluyente del agua durante la estación húmeda de otoño - invierno (Santa *et al.* 1989).

### **pH edáfico en relación a la distancia a la base del tronco**

El flujo de tronco representa una importante cantidad de agua, que como ya se dijo, ingresa al bosque en un área muy concentrada y con un pH más

ácido que cualquier otra fracción del agua precipitada, pudiendo generar cambios en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Del análisis de los 29 lugares (87 árboles) se observó, en contraposición a lo planteado en la hipótesis, que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la reacción del suelo mineral en los primeros 5 cm considerando la distancia a la base del tronco (Tabla 1.5). El pH pegado al tronco estuvo por debajo del valor promedio ( $6,18 \pm 0,01$ ) y fue más ácido que las posiciones alejadas de la base. La reacción a los 50 cm fue algo superior que a los 100 cm. La diferencia entre 50 y 100 cm se podría deber a la cantidad de agua recibida por precipitación directa (Tabla 1.3), pues a mayor lavado la reacción del suelo tiende a ser más ácida.

Tabla 1.5. pH promedio ( $\pm 1$  error estándar) del suelo mineral en los primeros 5 cm de profundidad considerando 3 distancias (0, 50 y 100 cm) a la base del tronco. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según Tukey (n = 348).

Distancia al tronco (cm)	pH
0	$6,05^c \pm 0,02$
50	$6,28^a \pm 0,02$
100	$6,20^b \pm 0,02$

Al igual que Pallant y Riha (1990) no se encontraron diferencias entre la orientación, según los puntos cardinales, para una misma distancia. Esto hace suponer que el efecto del escurrimiento por el tronco es concéntrico al mismo (Tabla 1.6).

Tabla 1.6. pH promedio ( $\pm 1$  error estándar) en los primeros 5 cm de profundidad considerando 4 orientaciones (Norte, Este, Sur y Oeste) a 3 distancias (0, 50 y 100 cm) de la base del tronco. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas en una misma fila ( $p < 0,05$ ) según Tukey (n = 87).

Distancia (cm)	pH			
	Norte	Este	Sur	Oeste
0	$6,09^c \pm 0,04$	$6,04^c \pm 0,04$	$6,01^c \pm 0,04$	$6,05^c \pm 0,04$
50	$6,28^a \pm 0,04$	$6,30^a \pm 0,04$	$6,27^a \pm 0,04$	$6,26^a \pm 0,04$
100	$6,17^b \pm 0,04$	$6,23^b \pm 0,04$	$6,21^b \pm 0,03$	$6,20^b \pm 0,04$

Asimismo, comparando los rodales “jóvenes” (10 a 19 años) con los “viejos” (20 a 46 años) se observaron similares resultados. Esto indicaría que el efecto del escurrimiento por el fuste se manifiesta de manera equivalente desde edades tempranas.

Si bien no se tienen datos de los 29 sitios estudiados, se puede especular, en base a los registros de las 2 parcelas permanentes (Ea. El Parque y Lag. Terraplén) que el 2 y 4 % de la lluvia incidente se canaliza por el fuste (Tabla 1.1). Considerando la precipitación media anual de cada lugar (ver Tabla 1, en Metodología General) entre 14 y 29 mm de agua ingresarían por esa vía con un pH de entre 4,5 y 4,2 (Tabla 1.4) respectivamente. Es decir, el ingreso anual de  $H^+$  por arrastre del agua que escurre por el fuste estaría en el orden de

4,4 y 18,3 gr l<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> en cada rodal. Esta concentración de H<sup>+</sup> podría ser la causa principal de los cambios observados. Sin embargo, en virtud de los resultados presentados, la modificación en la reacción del suelo estaría muy amortiguada porque la suma de bases de cambio en los suelos estudiados es alta, principalmente calcio y magnesio (Irisarri, comunicación personal).

Por otro lado, las variaciones de pH edáfico en relación a la distancia a la base del tronco es asociado también al aporte de corteza al pie del fuste (Zinke 1962, Birkeland 1998, Kaneko, Kofuji 2000). Sin embargo, esta última causa no pareciera ser la más importante para el área en estudio, pues como se explica en el Capítulo 3, el aporte de dicha fracción en la hojarasca del bosque es poco significativa (ver Tabla 3.4, en Capítulo 3), por lo menos en rodales de 23 – 25 años de edad.

Como hemos visto y según lo asumido en la primer parte de la hipótesis del presente capítulo, la implantación de pino ponderosa posee un patrón de distribución de la precipitación incidente que sería sustancialmente diferente al de la estepa adyacente. Dentro del bosque, la precipitación directa fue significativamente mayor a medida que la distancia a la base del tronco aumentaba, mostrando un patrón heterogéneo que, en otras áreas de plantación, podría relacionarse con las características propias de cada rodal (superficie, edad, densidad, altura, manejo, etc.). Si bien la precipitación que escurrió por el tronco fue de escasa magnitud, este flujo aparece como importante en términos de volumen de agua, por su incidencia directa en la zona radical de cada árbol. Por otro lado, también se modificó la calidad del agua que ingresó al bosque, principalmente la canalizada por el flujo de tronco, que mostró un pH significativamente menor que la precipitación incidente o directa. Contrariamente a lo esperado y propuesto en la segunda parte de la hipótesis de este capítulo, la distribución heterogénea y las características químicas del agua precipitada dentro del bosque provocaron cambios en el pH en los primeros 5 cm del suelo mineral a distintas distancias desde la base del tronco. Esto se produjo a pesar del efecto neutralizante que tendría el complejo básico del suelo, enriquecido continuamente por nuevos aportes de ceniza volcánica (Broquen *et al.* 1995).

Es importante conocer ahora, si estos cambios en el pH del suelo superficial, por implantación de pino ponderosa en áreas de estepa patagónica, podrían manifestarse en el resto del perfil edáfico, en los que la modificación y aumento de la rizósfera y los continuos aportes de material originario podrían jugar un papel preponderante.



## Capítulo 2: El pH del suelo y su relación con el bosque de pino ponderosa

### INTRODUCCIÓN

Una característica edáfica que refleja la compleja interacción entre los distintos factores formadores del suelo (material originario, organismos, clima, topografía y tiempo) (Jenny 1961), es el pH edáfico o reacción del suelo. El pH brinda información sobre la pedogénesis y la actividad biológica asociada (Buol *et al.* 1991) y se determina como la recíproca del logaritmo de la actividad de protones. Existe en la bibliografía diversas maneras de obtener su valor, siendo la más utilizada, la que refleja la actividad de los iones hidrógeno en una solución suelo – agua (pH actual).

Se reconocen diversas fuentes de acidez que influyen junto a los iones hidrógeno sobre el pH de la solución edáfica. Ellas son, la originada en el complejo de intercambio (acidez intercambiable), la que aporta los hidróxidos de Fe y Al, los cationes de Al retenidos por la materia orgánica y la que proviene de los ácidos orgánicos. Todas son importantes en la regulación del pH de los suelos (Binkley, Richter 1987). Entonces, el valor de pH del suelo está determinado por el equilibrio dinámico que existe entre los diferentes agentes formadores y fuentes de acidez. El mismo puede ser desde extremadamente ácido (pH < 4), como en los suelos con características espódicas, a fuertemente alcalino (pH > 10), como en los suelos con propiedades sódicas (Buol *et al.* 1991, Porta *et al.* 1999). Asimismo, el pH en un mismo lugar puede variar a lo largo del año dentro de ciertos límites por la respiración (efecto del dióxido de carbono) y absorción de las raíces y microorganismos, por los cambios en la tasa de descomposición de la materia orgánica y por el proceso de nitrificación (Binkley, Richter 1987, Thompson, Troeh 1988, Skyllberg 1991, Richter, Markewitz 1995).

La disminución del pH edáfico o “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 de la Región Andino Patagónica (Buduba 2001). Si bien la introducción de árboles en suelos de pastizales puede alterar el equilibrio de los protones de hidrógeno, la acidificación se la asocia generalmente a las plantaciones de coníferas, especialmente del género *Pinus* (Binkley, Richter, 1987). Esta idea tiene su 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). Las observaciones realizadas en el siglo XVIII y XIX en bosques de coníferas indujeron a pensar erróneamente que esa acidificación progresiva de los suelos, producida sólo por la presencia de determinadas especies forestales, era la causal de la pérdida de productividad. Sin embargo, la cosecha de la hojarasca, como la de cualquier producto agrícola, ganadero y/o forestal, implica exportación de nutrientes, que de no ser incorporados, causan modificaciones que pueden llevar a una acidificación progresiva del suelo (Wild 1992).

En muchos lugares, la acidificación edáfica producida bajo diferentes tipos de bosque origina lixiviación de bases, modificando la disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica. Esos cambios están asociados a diferentes procesos pedogenéticos. Entre ellos se destacan, por su intensidad sobre las características físicas y químicas del suelo, la podsolización y la laterización

(Ugolini *et al.* 1988, Pritchett 1991, Richter *et al.* 1994, Noble *et al.* 1999). Inclusive una acidificación muy intensa puede generar problemas de fitotoxicidad por la presencia de Al y/o Mn e indisponibilidad de otros nutrientes (por ejemplo precipitación del fósforo) (Thompson, Troeh 1988).

Por otro lado, esta disminución del pH puede acompañar algunos procesos de sucesión, aumentando progresivamente la productividad primaria (Barbour *et al.* 1998). Un ejemplo lo constituye el caso de los bosques de *Picea sitchensis* en Bahía Glaciar, Alaska. En esa área, el retroceso del glaciar permitió, en 200 años, el registro de una sucesión primaria completa, desde los primeros estadios en que prevalecían las algas azules, algunas especies del género *Equisetum* y algunos líquenes (partiendo de un suelo con pH 7,22), hasta el estadio seral climácico, en el que dominaba *Picea sitchensis* y en el cual el pH del suelo había descendido a 3,57 (Chapin *et al.* 1994). Además, en ese lapso de tiempo, el horizonte superficial pasó de los 5,2 cm de espesor, en los estadios pioneros, hasta llegar a los 15,1 cm en el climax, habiéndose incrementado la reserva de carbono y nitrógeno.

En un suelo mineral en contacto con raíces de coníferas, la disminución del pH está asociada a la presencia de grupos carboxilos en la superficie de la rizodermis, provocando una reacción muy ácida en dicho sector (Satake *et al.* 1996). Esto podría causar, en dichas especies, la acidificación del suelo que está en inmediación con dicha porción de la raíz. Contrastando con lo anterior, Wild (1992) sostiene que “*parece haber pocas dudas que la mayoría de las plantas que crecen en condiciones naturales elevan el pH del suelo en cercanías de la raíz*”. Esta aparente contradicción podría subsanarse si se tiene en cuenta el tipo de vegetación o grupo de especies considerada. Al respecto, Thompson y Troeh (1988) sostienen que en regiones templadas, los suelos de pastizal suelen ser menos ácidos que los encontrados bajo bosque. Esta diferencia se debería a la calidad de los aportes en superficie, pues las plantas herbáceas tienen anualmente, en comparación con los árboles, mayor necesidad de absorción de bases. Sin embargo, Jobbágy y Jackson (2004) señalan que las hojas de las especies arbóreas latifoliadas tienen 3 veces más calcio que la de los pastizales, con lo cual su aporte sería mayor. Por otro lado, Pritchett (1991) sostiene que las hojas y el horizonte orgánico producido por las coníferas poseen menor contenido de bases en comparación con los árboles de madera dura, provocando que los suelos sean más ácidos. En el bosque andino patagónico, por otra parte, el *Austrocedrus chilensis* (conífera nativa), a pesar de presentar hojas senescentes con alta relación C/N y lignina/N, genera una hojarasca con pH alcalino en comparación con otras especies arbóreas dominantes (Mazzarino 2002). También Alban (1982) observó que la reacción del suelo era más ácida en bosques de álamo y picea que bajo pino, explicando que las diferencias se deberían al contenido de Ca del horizonte orgánico o del suelo mineral que estaría vinculado con la absorción radical. En este sentido el comportamiento fisiológico de las plantas podría tener influencia si se considera el ciclado que realizan los árboles en el perfil del suelo con los nutrientes más importantes (Jobbágy, Jackson 2001).

En cuanto a la composición química de la hojarasca de pino, Schlatter y Otero (1995) señalan que posee poco calcio y nitrógeno y abundante lignina, cera y resina. Bajo esa situación, la acidificación del suelo se puede originar por aumento en la concentración de lípidos, sustancias solubles en solventes orgánicos que incluyen en el suelo a los ácidos grasos. La fracción lipídica ácida, apta para modificar el pH, se acumularía en el suelo por la incapacidad de los microorganismos para descomponerla desde los tejidos y/o por síntesis microbiana (Panno *et al.* 1986). Además, los cambios en la reacción del suelo

pueden depender de la capacidad de la especie para neutralizar el complejo de intercambio a medida que el bosque se desarrolla (Rhoades, Binkley 1996) y de la actividad fúngica cuando el suelo no está bajo el efecto del flujo de tronco (Pallant, Riha 1990).

Estos cambios en la reacción del suelo deben ser considerados como un factor que puede afectar, entre otros, la disponibilidad de nutrientes, la génesis edáfica o la dinámica de las poblaciones de microorganismos que viven en la rizósfera. A nivel de comunidades vegetales, cambios abruptos o progresivos del pH edáfico pueden influenciar los procesos sucesionales o afectar la diversidad. En esto radica la importancia de su estudio cuando se introducen especies exóticas en ecosistemas naturales. En la Patagonia Andina Argentina, al implantarse un bosque sobre la vegetación de estepa, se está alterando significativamente el factor "organismos" en la ecuación de formación del suelo (Jenny 1961). Este cambio influye en el aporte cualitativo y cuantitativo de materia orgánica, pudiendo alterar la reacción del suelo, del que depende el balance nutricional de todo el ecosistema.

Los objetivos particulares de este capítulo fueron, en primer lugar, determinar bajo vegetación de bosque y estepa las variaciones de pH en un mismo lugar a lo largo del año en función de los cambios en las estaciones. En segundo lugar, evaluar el efecto que sobre el pH del suelo a 5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad tienen las forestaciones en la estepa, en comparación con el pH a las mismas profundidades en áreas similares adyacentes no forestadas. En base a estos objetivos se propusieron, para el ecotono estepa / bosque andino patagónico, las siguientes hipótesis:

- La dinámica estacional del pH a diferentes profundidades en la estepa y en el bosque presentan el mismo patrón estacional a 5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad.
- El desarrollo del bosque implantado de pino ponderosa no cambia significativamente en el tiempo el pH del suelo de estepa a 5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad.

Asociado a diferencias en la vegetación, en varios lugares del mundo se reportan cambios en el pH de suelos derivados de ceniza volcánica semejantes a los de Patagonia (Ugolini *et al.* 1988, Hawke, O' Connor 1993, Rhoades, Binkley 1996, Kaneko, Kofuji 2000). Los escasos antecedentes para nuestra región muestran que no se producirían cambios (Schlatter, Otero 1995, Broquen *et al.* 1995, 2000). Posiblemente, las contradicciones en estos resultados se deban a las propiedades particulares del material originario de los suelos de Patagonia (ceniza volcánica holocénica, básica y finamente dividida) y a los sucesivos aportes en el tiempo de dicho material (Apcarian *et al.* 1993, Valenzuela *et al.* 2002), que no permitiría la acidificación progresiva que ocurre en otros ecosistemas. Por otro lado, el material originario del suelo no influiría sobre el patrón estacional, pues el mismo depende principalmente de las relaciones entre los factores climáticos y biológicos.

## **METODOLOGÍA**

### **Modificaciones de pH en el suelo**

En las 2 parcelas permanentes (Ea. El Parque y Lag. Terraplén), según lo explicado en la Metodología General, se realizaron muestreos de suelo a 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad, tanto en el bosque como en la estepa adyacente, para determinar la dinámica del pH a cada profundidad y en cada lugar de

manera estacional. Los muestreos se realizaron entre el 10/2/00 y el 22/1/02 a intervalos irregulares, pero tratando que cada uno de ellos cubra al menos una estación del año.

Por otro lado, en los 29 lugares seleccionados de acuerdo a lo especificado en la Metodología General, se realizó un muestreo del suelo con 4 repeticiones en puntos ubicados al azar en cada uno de los 2 sitios (bosque, estepa) y a 6 profundidades (5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm) desde la superficie del primer horizonte mineral. Las muestras dentro del bosque se tomaron lo más alejadas posible de la base de los troncos, para descartar la influencia que el escurrimiento ácido del fuste tiene en el pH del suelo (ver Tabla 1.5, en Capítulo 1). Se obtuvieron en total 1.352 muestras, 48 por lugar. En 5 lugares no se pudieron extraer muestras a 90 cm por la abundante presencia de fragmentos gruesos. La totalidad de las muestras fueron secadas al aire y pasadas por tamiz de malla de 2 mm. Se determinó el pH en agua en una relación 1:1 a los 60 minutos. Cada determinación se realizó por duplicado con una exactitud igual o menor a 0,14 unidades de pH.

Además, se utilizó el espesor del horizonte A de las 58 calicatas descriptas (ver Anexo 1), según lo señalado en la Metodología General, para estimar el efecto de entrapamiento que tuvo el bosque sobre las partículas transportadas por el viento. También se obtuvo la densidad aparente con cilindro metálico de 100 cm<sup>3</sup> en los 29 lugares seleccionados, en donde se tomaron muestras por duplicado a 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad (532 muestras). En 5 lugares no se pudieron extraer muestras a más de 40 cm y en 14 a más de 60 cm, por la abundante presencia de fragmentos gruesos.

Los datos de pH de los 29 lugares (bosque / estepa) se analizaron mediante la prueba del signo (método no paramétrico) con el programa estadístico SAS (SAS 1999). Con el mismo análisis se compararon los espesores del horizonte A y densidad aparente en los sitios con bosque y con estepa.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Modificaciones estacionales de pH en el suelo**

La reacción del suelo en Ea. El Parque y Lag. Terraplén a lo largo de las estaciones del año fue más variable en superficie que en profundidad, tanto en el bosque como en la estepa y en general, los valores más bajos se observaron a principios de otoño y en primavera (Figura 2.1). Este comportamiento estaría relacionado con la actividad biológica, pues la disolución de CO<sub>2</sub> proveniente de la respiración y la mineralización de la materia orgánica reducen el pH edáfico (Wild 1992). En este sentido, la acción microbiana podría activarse a principios del otoño, cuando se rehumedece el suelo todavía caliente y en primavera, al aumentar la temperatura en un sustrato con suficiente humedad. En cambio, en el verano, cuando el déficit hídrico es marcado (ver Figura 3.6, en Capítulo 3 y Anexo 3) y los procesos biológicos estarían relentizados, se observan los valores más altos de pH. Al respecto Black (1975) minimiza el efecto de la respiración biológica, dándole mayor importancia, por la estabilidad de los compuestos, a la producción microbiana de ácido nítrico y sulfúrico. También podría relacionarse este comportamiento con el ciclo del nitrógeno, aunque a diferencia de lo observado en nuestro estudio, los valores más bajos de pH por efecto de la nitrificación se darían cuando el suelo se encuentra seco (Ulrich 1983, citado en Binkley, Richter 1987). Por otro lado, Skjellberg (1993) señala que la disminución

del pH en un horizonte orgánico formado bajo bosque de conífera al inicio de la estación de crecimiento es debida a la absorción de nutrientes. Es importante remarcar que esta tendencia general se manifiesta de manera similar tanto en el bosque como en la estepa, comportándose también de la misma manera en las distintas profundidades estudiadas, según lo propuesto en la primer hipótesis.

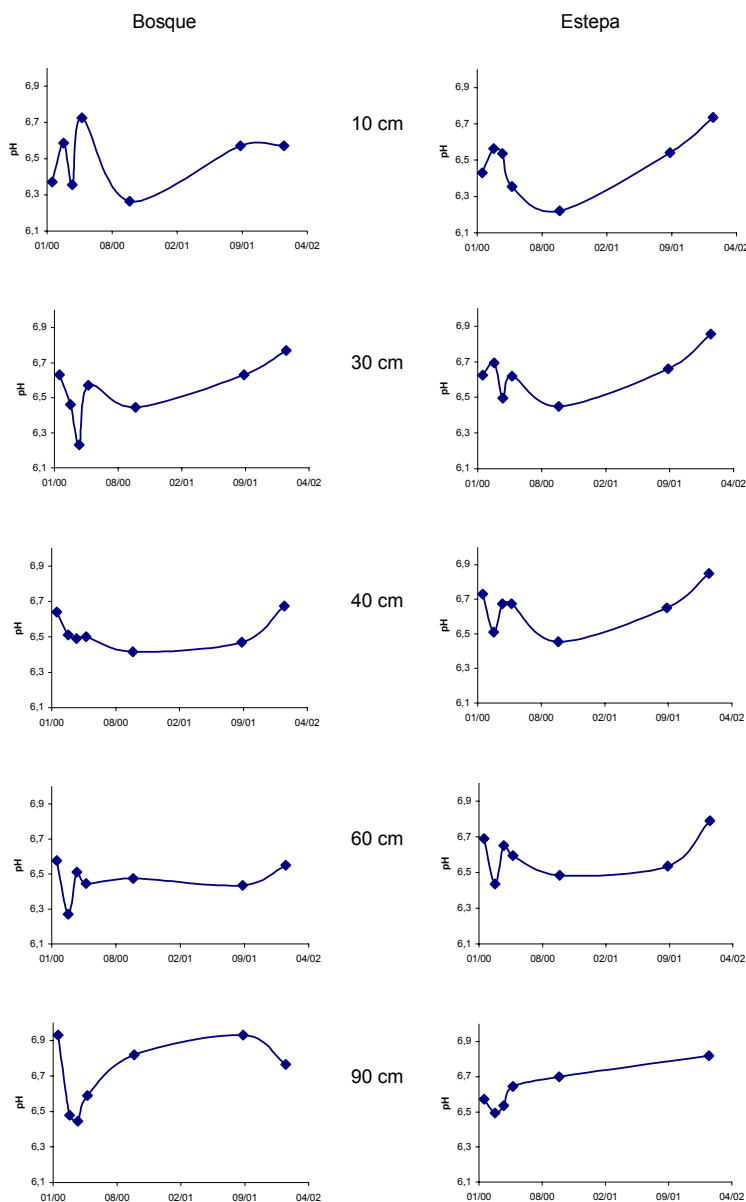


Figura 2.1. pH en el bosque y la estepa a 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad en relación a la época del año en Ea. El Parque y Lag. Terraplén. En cada caso el error estándar no excede  $\pm 0,5$  unidades de pH del valor promedio ( $n = 2$ ).

### Modificaciones de pH en el suelo a nivel regional

Los 29 lugares estudiados a nivel regional presentaron un rango de pH entre 5,3 y 8,6, considerando ambos sitios (bosque, estepa) y profundidades

estudiadas (Figura 2.2). El valor promedio de pH fue de 6,4<sup>5</sup> y la moda (valor de la clase más frecuente) fue de 6,55. Salvo los extremos mencionados, los valores de pH edáfico encontrados aseguran la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de las especies vegetales (Thompson, Troeh 1988, Pritchett 1991, Porta *et al.* 1999).

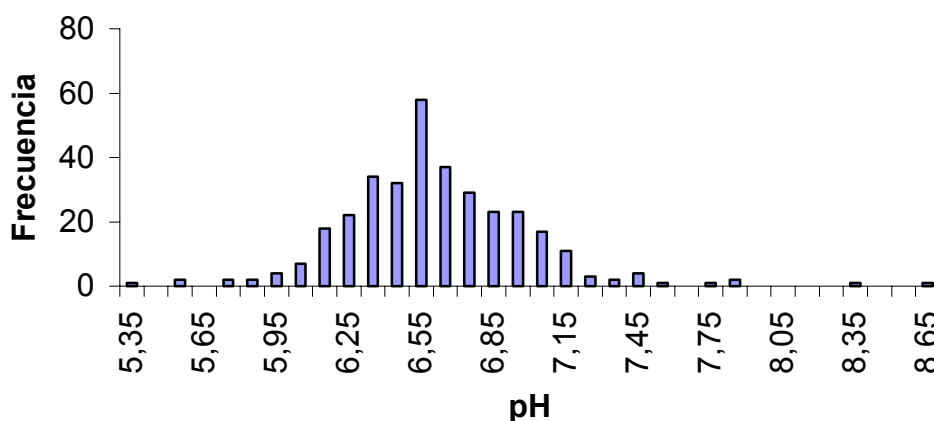


Figura 2.2. Frecuencia según rangos de pH de los 29 lugares estudiados, incluyendo ambos sitios (bosque, estepa) y profundidades analizadas (5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm) (n = 1.352).

Tanto en el bosque como en la estepa, de manera similar a lo descrito en otros suelos, se observaron los valores más bajos en superficie, existiendo una tendencia hacia la basicidad a medida que se profundiza en el perfil (Figura 2.3). Este comportamiento se repitió en los 29 lugares analizados y podría deberse a las diferencias en la actividad biológica (respiración y absorción), asociada a la cantidad de materia orgánica en las diferentes secciones del perfil (ver Tabla 4.2, en Capítulo 4) y a las mejores condiciones de vida que se presentan en superficie (humedad, temperatura, oxígeno). Sin embargo, Richter y Markewitz (1995), encontraron en suelos muy intemperizados (Ultisoles) que si bien la cantidad de microorganismos y producción de dióxido de carbono es alta en la superficie del suelo, la concentración del dióxido aumenta en profundidad por las restricciones en la difusión gaseosa. Posiblemente los valores de pH en profundidad estén más relacionados con los procesos edafogénicos de los suelos derivados de ceniza volcánica.

<sup>5</sup> El cálculo se efectuó con la concentración de H<sup>+</sup> obtenida a partir del pH.

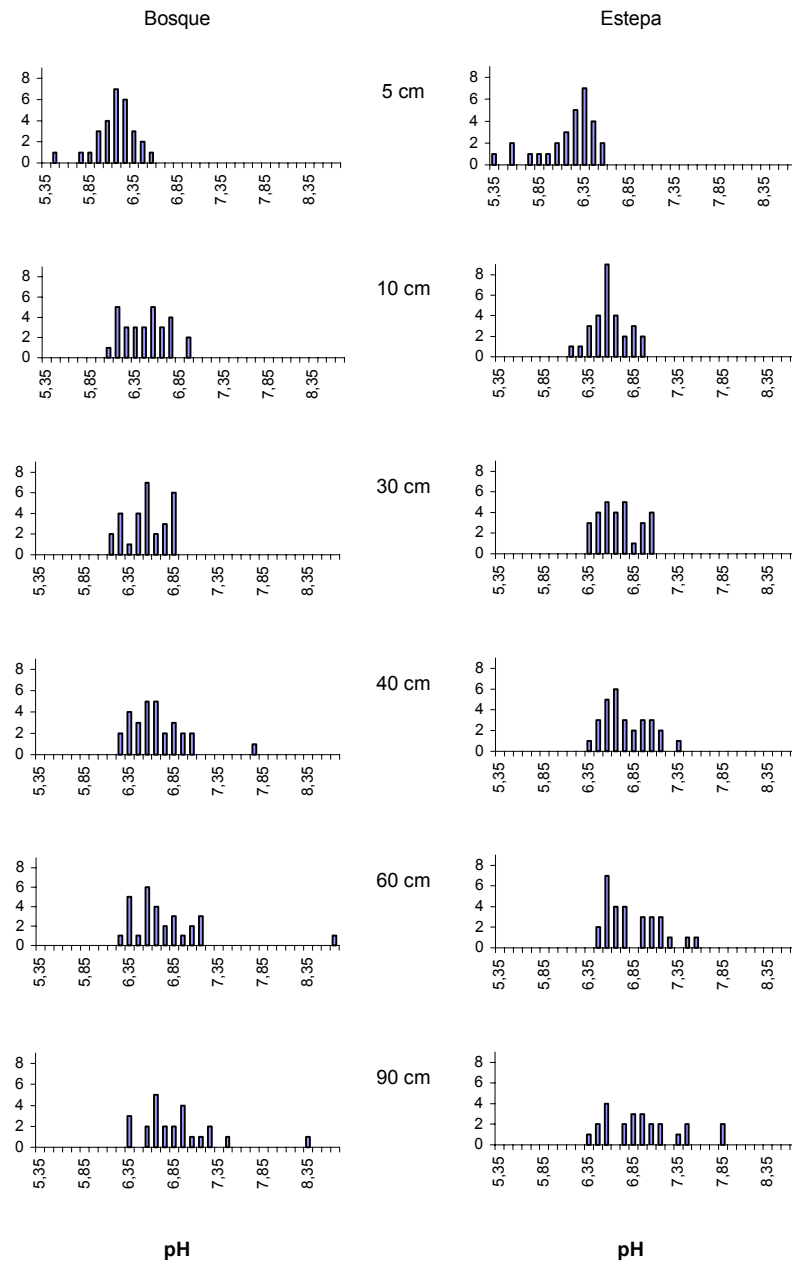


Figura 2.3. Frecuencia según rangos de pH en el bosque y la estepa a 5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad en los 29 lugares estudiados (n = 338).

A nivel regional, los valores de pH no se pudieron relacionar con la longitud geográfica de cada lugar (asociada a la precipitación según lo explicado en la Metodología General), como se desprende del estudio de Broquen *et al.* (1995). Dicho trabajo se basa en una transecta Oeste / Este, con un rango muy marcado de precipitaciones (2.000 a 500 mm) y considera la vegetación nativa del bosque y la estepa. Investigaciones realizadas por Zuccardi *et al.* (1969), en otra región del país, sugieren que esta relación con la precipitación hace susceptible al pH de poder ser cartografiado.

En nuestro caso, al comparar los 29 sitios con bosque, con sus pares bajo estepa, se observó que la reacción del suelo dentro del bosque siempre fue menor en 0,1 unidades de pH en promedio. Esta diferencia fue significativa ( $p < 0,05$ ) entre los 10 y 60 cm de profundidad (Tabla 2.1) contradiciendo en parte la segunda hipótesis planteada en la introducción.

Tabla 2.1. pH promedio ( $\pm 1$  error estándar), estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados a 5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad.

Profundidad (cm)	pH		n	Signo M	Valor p
	Bosque	Estepa			
5	6,14 $\pm$ 0,04	6,17 $\pm$ 0,06	29	-2,5	0,4583
10	6,46 $\pm$ 0,04	6,57 $\pm$ 0,04	29	-6,5	0,0241
30	6,56 $\pm$ 0,04	6,68 $\pm$ 0,04	29	-8,5	0,0023
40	6,65 $\pm$ 0,06	6,76 $\pm$ 0,05	29	-8,5	0,0023
60	6,74 $\pm$ 0,08	6,83 $\pm$ 0,05	29	-9,5	0,0005
90	6,86 $\pm$ 0,09	6,95 $\pm$ 0,08	24	-3	0,2863

Para un mismo lugar y considerando las diferentes profundidades estudiadas, a veces no se detectaron diferencias en la reacción del bosque en relación con la estepa, o por el contrario, las mismas fueron negativas o positivas. La disminución de pH por efecto de los pinos rondó, en algunos sitios, las 0,5 unidades de pH, sin importar la porción del perfil (Figura 2.4).

Estos resultados difieren a los señalados por Broquen *et al.* (1995), quienes tomando muestras compuestas a 2 profundidades (0 – 25 y 50 – 75 cm), no encontraron diferencias significativas en 13 lugares con vegetación nativa de bosque y estepa / pino ponderosa de más de 15 años en el Suroeste de Neuquén. 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 si cuando se reemplazó el bosque de ciprés de la cordillera (conífera nativa) con dicho pino.

La acidificación del suelo con árboles implantados en pastizales se debería principalmente, según Jobbágy y Jackson (2003), a 3 mecanismos simultáneos: aumento de la respiración biológica (raíces y microorganismos), absorción y redistribución de cationes en el perfil del suelo y al efecto de los ácidos orgánicos. Si bien en nuestro trabajo ninguno de dichos efectos fue evaluado, con respecto al primero, otros autores sostienen que la tasa respiratoria edáfica sería más baja en el bosque (Parfitt *et al.* 1997, Raich, Tufekcioglu 2000). El efecto de la absorción radical de nutrientes edáficos se podría relacionar con la mayor densidad de raíces de los árboles a lo largo del perfil (ver Tabla 4.5, en Capítulo 4) que podrían estar demandando más nutrientes y provocando un aumento de la concentración de  $H^+$ . Esto podría explicar las diferencias encontradas en el pH entre los 10 y 60 cm de profundidad, aunque no se observó diferencias en el volumen de raíces entre el bosque y la estepa en los primeros 10 cm. Por otro lado, a los 90 cm, en forma opuesta a lo observado en superficie, no existen cambios significativos en la reacción del suelo, a pesar que el bosque presentó mayor volumen de raíces. Las consecuencias de una posible redistribución de nutrientes por parte del sistema radical se podría profundizar con la obtención de nuevas características del suelo (bases y acidez de intercambio), aunque a priori, no se observaría un



patrón vertical del perfil del suelo que lo sugiera. También habría que caracterizar, en estudios futuros, el ciclo del nitrógeno como posible agente acidificante, determinando el papel que cumple el pino ponderosa, incluido el horizonte orgánico (ver Capítulo 3).

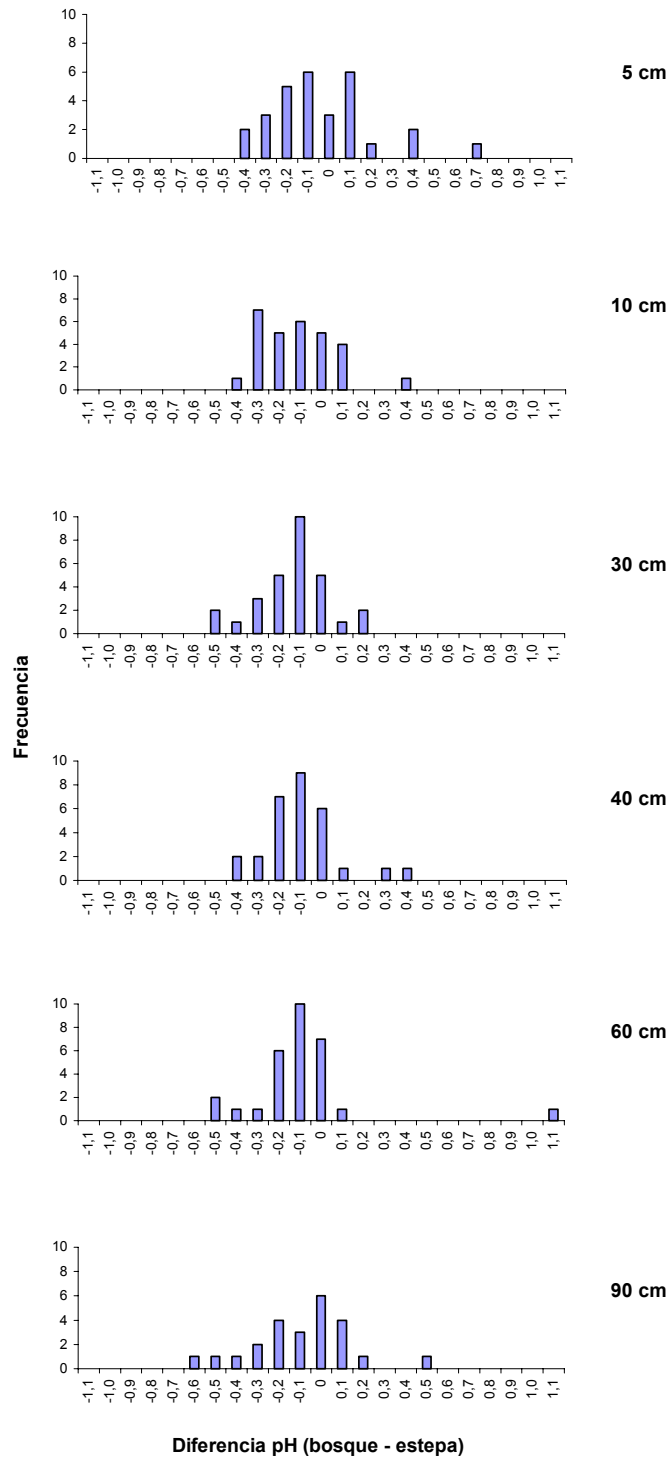


Figura 2.4. Frecuencia de las diferencia de pH (bosque – estepa) a 5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad en los 29 lugares estudiados (n = 338).

Los primeros 5 cm de profundidad del perfil, representan la sección más propicia para la acidificación, por ser netamente eluvial (Zuccardi *et al.* 1969) y por estar en contacto con el horizonte orgánico que produce sustancias ácidas. En nuestro trabajo, por la forma en que se comporta el pH con respecto a la profundidad del suelo, pareciera que las sustancias orgánicas ácidas son una de las principales causas de los cambios observados. Sin embargo, aunque dicha porción del perfil presentó valores más bajos de pH, estas diferencias no fueron significativas ( $p < 0,05$ ) entre el bosque y la estepa. Esto se podría relacionar con el pH del horizonte orgánico que se forma bajo el pino ponderosa, que según el tiempo transcurrido desde su caída, puede variar entre 5,3 y 6,5 (valores obtenidos de diferentes horizontes Oi, Buduba inédito). Al respecto Nykvist y Skyllberg (1989) afirman que hay una gran variación espacial en el pH del horizonte orgánico a pesar de que exista similitud en la mineralogía del suelo y en la comunidad vegetal. También puede existir una acidificación dentro del mismo horizonte orgánico en relación a la profundidad de muestreo (Skyllberg 1990).

Debemos recordar que, en el bosque, los puntos muestreados de los primeros 5 cm del suelo mineral se corresponden con los más alejados a los troncos, ello indica que los valores se asemejan a los pH más distanciados de la base del fuste presentados en el Capítulo 1 (ver Tabla 1.5), que posiblemente estarían asociados al efecto de lavado producido por la mayor cantidad de precipitación efectiva recibida en el suelo (ver Capítulo 1, Tabla 1.3). En suelos derivados de ceniza volcánica, similares resultados presentó Broquen (2000), quien estudió la misma profundidad del perfil tomando muestras cada 1 cm, y Schlatter y Otero (1995), quienes tomaron muestras de 0 a 2 cm y de 2 a 5 cm en un solo lugar bajo vegetación nativa de bosque / pino radiata. Estos últimos explican que la alta reserva en bases del material originario del suelo no sólo interviene en la reacción de los primeros centímetros del horizonte mineral, sino que por bioturbación, se neutraliza también la reacción del horizonte orgánico. Por otro lado, 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 (Broquen *et al.* 1995).

En este sentido, la presencia de los pinos podría actuar como un filtro, reteniendo las partículas que son transportadas por el viento (Augusto, Ranger 2001) por disminuir su velocidad dentro del bosque (ver Figura 3.1, en Capítulo 3). Esta ganancia de material podría provocar una modificación en la densidad aparente del suelo. Sin embargo, no se observaron cambios significativos en esta propiedad a lo largo del perfil (Tabla 2.2), aunque pareciera que los valores son algo mayores dentro del bosque.

Tabla 2.2. Densidad aparente promedio ( $\pm 1$  error estándar), estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados.

Profundidad (cm)	Densidad aparente ( $\text{gr cm}^{-3}$ )		n	Signo M	Valor p
	Bosque	Estepa			
10	1,14 $\pm$ 0,04	1,14 $\pm$ 0,04	29	1,5	0,7011
30	1,15 $\pm$ 0,04	1,13 $\pm$ 0,04	29	1,5	0,7011
40	1,14 $\pm$ 0,04	1,12 $\pm$ 0,04	29	2	0,5716
60	1,16 $\pm$ 0,05	1,15 $\pm$ 0,05	26	2	0,5413
90	1,16 $\pm$ 0,06	1,08 $\pm$ 0,06	16	2	0,4545

No obstante lo señalado, existe un incremento en el espesor del horizonte A dentro del bosque (3 cm en promedio), que estaría avalando esta hipótesis (Tabla 2.3) y que en algunos lugares se manifiesta con un leve cambio en el color del horizonte superficial (Figura 2.5), aunque no se detectaron diferencias significativas al comparar color, intensidad y luminosidad en la parte superficial del perfil. Tampoco se encontraron cambios al analizar la estructura y la textura, si bien ésta última sólo fue descripta al tacto en el campo. Por su parte, Ciampoli *et al.* (2004) en los mismos 29 lugares, en un estudio simultáneo a esta tesis, determinaron que la infiltración básica dentro del bosque (sin considerar el horizonte orgánico) aumentó significativamente. Estos autores atribuyen el cambio a diferentes variables que interactúan de manera compleja debido a la intrusión de las raíces del bosque, que modifican el sistema poroso, facilitando el pasaje del agua a través del perfil.

Desde el punto de vista mineralógico, también se podría considerar la presencia de haloisita en la parte superficial del perfil del suelo como un posible indicador de aportes de nuevo material. Esto se debería a que, según Besoain (1985), dicha arcilla necesita de aportes periódicos de ceniza volcánica para formarse. Sin embargo, en nuestro estudio la haloisita domina tanto en los suelos de bosque como en los de estepa (ver Capítulo 4). A pesar de lo dicho, el aporte de material no podría neutralizar el efecto del flujo de tronco en los 5 primeros centímetros, según lo discutido en el Capítulo 1. Estudios futuros, enfocados a esta temática, podrían brindar información sobre el efecto del bosque de pino ponderosa en el entrapamiento de partículas y su relación con el pH superficial en sitios con alto grado de deterioro.

Tabla 2.3. Espesor del horizonte A promedio ( $\pm 1$  error estándar), estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados (n = 29).

	Espesor del horizonte A (cm)	Signo M	Valor p
Bosque	27,93 $\pm$ 1,82	5,5	0,052
Estepa	24,97 $\pm$ 1,64		

Como ya se mencionó, a los 90 cm de profundidad, tampoco se encontraron cambios en el pH. Esto indicaría que la actividad de las raíces y la materia orgánica producida por el bosque, fundamentalmente derivada del sistema radical, no afectaría esa porción del perfil. Esto seguramente podría cambiar con la edad de los rodales y cuando en la segunda rotación y sucesivas, las raíces de los árboles aprovechados (tocones) empiecen a participar de forma más activa en los procesos de humificación.

Era de esperar que la disminución del pH del bosque en comparación con el de la estepa, pudiese estar vinculada con la edad del rodal o con alguna característica del mismo. Sin embargo, no se pudo encontrar ninguna relación con las variables dasométricas o de biomasa obtenidas, según lo detallado en la Metodología General. Para confirmar esta hipótesis se necesitan mayor cantidad de rodales con edades superiores a los 25 años y que estén distribuidos de manera uniforme en el ecotono estepa / bosque. En la actualidad esto no es posible pues la mayor parte de las plantaciones con ese rango de edad se encuentran ubicadas al Oeste, reemplazando al bosque nativo.

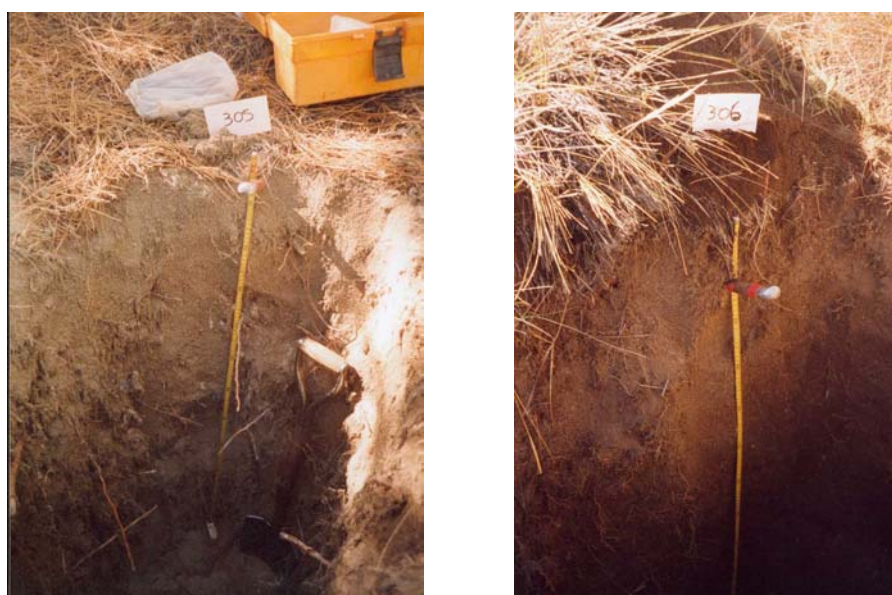


Figura 2.5. Perfil bajo bosque de pino ponderosa (sitio 305) y estepa (sitio 306). En el descrito bajo bosque se presume ganancia de material (más claro) en la matriz del horizonte A (34 cm de espesor).

En contra de lo planteado en la segunda hipótesis de este capítulo, se observó una acidificación significativa entre los 10 y 60 cm de profundidad en el bosque. La misma no tendría en general, hasta el presente, ninguna consecuencia biológica o edafogénica importante. De hecho no se registraron cambios evidentes, ni se encuentran mencionados en otros trabajos realizados en la región. Una de las causas de la nula o baja acidificación de estos suelos, formados bajo un clima de lluvias concentradas en invierno que deberían tener un efecto de lavado más efectivo, podría deberse a la abundante suma de bases, principalmente calcio y magnesio (Irisarri, comunicación personal). Dichas bases de cambio estarían relacionadas a la existencia de material originario joven, característica de las áreas con vulcanismo activo, que proveería cationes a medida que se produce su meteorización en el perfil. Es decir, los sitios de intercambio serían compensados con el calcio y magnesio producidos durante la intemperización. No obstante, para evaluar posibles implicancias sobre la biodiversidad de los microorganismos, habría que realizar estudios específicos. Es importante considerar que las actuales plantaciones en la Región Andino Patagónica no han cumplido todavía su primer ciclo productivo y que este cambio en la reacción del suelo puede acentuarse en el tiempo con las sucesivas rotaciones. Por este motivo es importante dilucidar el mecanismo de acidificación para poder realizar un monitoreo y diseñar normas de manejo que minimicen este impacto.

En los primeros 5 cm y a los 90 cm de profundidad, por otro lado, se observó una pequeña acidificación en el suelo del bosque, que no fue de suficiente magnitud como para que las diferencias fueran significativas ( $p < 0,05$ ) en relación con la estepa. En superficie, el entrapamiento de partículas que provocaría las condiciones intrínsecas de la plantación, aumentarían el espesor del horizonte A, que sumado a los aportes diferenciales de hojarasca que los árboles producen en relación al pastizal, serían aspectos a considerar para

comprender mejor los mecanismos que permiten, en el tiempo, la diferenciación entre los suelos de bosque y los de estepa.

### CAPÍTULO 3: DINÁMICA DEL APORTE Y DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA DE PINO PONDEROSA Y ESTEPA

#### INTRODUCCIÓN

La hojarasca es, según Pritchett (1991), la responsable de las características edáficas más importantes de los suelos forestales, que entre otras cosas, permite diferenciarlos de los suelos agrícolas. Esta capa de restos vegetales u horizonte orgánico, ubicada por encima del suelo mineral, cumple la función de epidermis edáfica, pues protege al suelo de temperaturas extremas y de los diversos agentes erosivos. Participa además, en la recirculación de nutrientes y en el ciclo del agua, al interceptar una fracción de la precipitación y facilitar la infiltración hacia los horizontes inferiores (Branson *et al.* 1981, Daniel *et al.* 1982, Stadmüller 1994, Crockford, Richardson 2000).

El horizonte orgánico está formado principalmente por restos vegetales caídos desde el dosel y su espesor varía en función de la relación entre los aportes y la descomposición anual. La calidad y cantidad de los aportes dependen de las características del bosque (especie, edad, densidad) y del sitio (Hughes, Fahey 1994, Takahashi *et al.* 1999). La producción de hojarasca no es homogénea en el espacio, pues se relaciona con las particularidades de cada árbol (Covarrubias *et al.* 1994, Ottone 1997). Tampoco lo es en el tiempo, pues depende del momento fenológico, de factores climáticos (viento, lluvia, temperatura, nieve) (Cozzo, de Riveros 1969, Huber, Oyarzún 1983, Morrison 1991, Placci *et al.* 1994, Rezzano *et al.* 1997) y del manejo (Follet 2001), originando diferentes ofertas nutritivas a lo largo del año (Klemmedson *et al.* 1990). Por ejemplo, Huber *et al.* (1986) señalan, para pino radiata, que la alta participación de flores masculinas en la hojarasca aportada durante la primavera, implica una disminución en el suelo de la disponibilidad de fósforo, potasio y calcio durante dicho período. Para la misma especie, Baraqueta y Basagoiti (1990) encontraron un mayor aporte de nitrógeno, fósforo y sodio al final del invierno.

Los procesos de descomposición de la hojarasca son principalmente biológicos, siendo la variedad y actividad de los organismos del bosque que actúan sobre ella, más importantes que las observadas en los restos vegetales de praderas o cultivos (Pritchett 1991, Paul, Clark 1996). La presencia y actividad de los microorganismos dependen del tipo de sustrato, de las fluctuaciones en el aporte, de la temperatura, humedad, aireación, concentración de fósforo y pH del medio (Johansson 1994, Edmonds, Erickson 1994, Pérez Harguindeguy *et al.* 1997, Koide, Shumway 2000, Liski 2001), todos ellos determinados por las características de cada rodal (Kurka, Starr 1997). El poseer condiciones óptimas para el desarrollo de los microorganismos es importante para el mantenimiento de la productividad del sitio forestal, pues la descomposición asegura el ciclo de nutrientes (Riveros, Alberdi 1978, Huber *et al.* 1986). Procesos demasiado lentos dificultan la reabsorción de los nutrientes porque se acumulan en la hojarasca y si son muy rápidos, la disponibilidad puede superar la absorción vegetal, produciéndose una pérdida de los mismos en el sistema.

El espesor del horizonte orgánico también depende de la humedad del suelo, al influir sobre la relación aporte / descomposición (Wollum 1973). La falta o el exceso de humedad pueden provocar mayor caída de hojarasca (Broadhead *et al.* 2003) y definen las características metabólicas de los procesos biológicos del suelo.

La capa orgánica es el nexo entre la parte aérea de la vegetación y las sustancias húmicas del suelo mineral. En plantaciones de pino ponderosa de la Región Andino Patagónica, la acumulación de hojarasca generalmente origina, en rodales densos y sin tratamiento, una capa orgánica con características morfológicas tipo mor, que se puede separar fácilmente del horizonte mineral superficial. Es decir, el horizonte orgánico se presenta sin mezclarse con la fracción inorgánica y con bajo grado de descomposición, pudiéndose identificar su origen (principalmente acículas). Las condiciones edafo - ambientales (temperatura y humedad) que crea el bosque implantado y el tipo de material vegetal, rico en resinas, grasas y lignina (Schlatter, Otero 1995) favorecen principalmente la proliferación de hongos. Estos son los responsables de la descomposición de los tejidos resistentes al ataque bacteriano. Las bacterias, que poseen la capacidad de realizar las principales transformaciones químicas, se encuentran disminuidas en este ambiente, quizás también por las sustancias antibióticas que producen los hongos micorrícicos (Marx 1991). La descomposición fúngica genera compuestos ácidos, que pueden incrementar muy lentamente la materia orgánica en el perfil (ver Capítulo 4) y que, de no ser neutralizados por el suelo mineral, pueden producir cambios, por ejemplo, en el pH (ver Tabla 2.1, en Capítulo 2). Sin embargo, en varios ensayos de raleo (Neuquén y Chubut), ese horizonte desapareció rápidamente, posiblemente debido a que, al abrirse el dosel, se produjeron cambios en las condiciones micro climáticas, fundamentalmente en la temperatura y la humedad edáfica. Esta apertura del bosque, con los consecuentes cambios, estimularía a los microorganismos, que acelerarían la tasa de oxidación y la incorporación de la hojarasca al horizonte inorgánico superficial, rico en bases y arcillas alofánicas (ceniza volcánica), transformándolo en materia orgánica tipo mull. El mull es el tipo de materia orgánica del pastizal adyacente que se caracteriza por estar íntimamente asociada a la fracción mineral, siendo posible su separación sólo con procedimientos químicos (Moreno 1996).

El objetivo particular de este capítulo fue caracterizar las diferencias en la dinámica del aporte y en la descomposición de la hojarasca en el bosque implantado de pino ponderosa y en la estepa adyacente, relacionándola con algunas variables micro climáticas (velocidad del viento, temperatura y humedad del suelo dentro y fuera del bosque). El entendimiento de los mecanismos de aporte y descomposición de la hojarasca y los cambios ambientales producidos por el bosque implantado, permitirá abordar, de manera más integral, la problemática de la materia orgánica edáfica que se plantea en el Capítulo 4. En base al objetivo planteado se propusieron, para el ecotono estepa / bosque andino patagónico, las siguientes hipótesis:

- El aporte de hojarasca de pino que se distribuye en el suelo varía en función con la distancia al tronco, siendo esta distribución homogénea en cuanto a su orientación alrededor del mismo.
- Las características del aporte de hojarasca realizado por el pino y por la vegetación herbácea, más las condiciones micro climáticas originadas por el bosque, provocan diferencias en la tasa de descomposición de ambas hojarascas.

El bosque aumentaría, en relación a la estepa adyacente, la fitomasa de hojarasca en superficie, originando un horizonte orgánico compuesto principalmente por acículas (Huber, Oyarzún 1983, Klemmedson *et al.* 1990). La misma se distribuiría de manera heterogénea en la superficie por las particularidades de cada árbol (Covarrubias *et al.* 1994). Por otro lado, el efecto moderador que tendrían los árboles sobre el viento (Donoso 1992) no produciría diferencias en su distribución alrededor del fuste.

En cuanto a las diferencias entre la hojarasca de bosque y estepa, si bien el horizonte orgánico de la vegetación implantada estaría originado por un mayor aporte, las características de dicho material y las condiciones micro climáticas dentro del bosque (temperatura y humedad), provocaría que los procesos de descomposición de la hojarasca de pino sean menor en comparación a la broza de estepa (McTiernan *et al.* 2003).

## **METODOLOGÍA**

### **Aporte aéreo de hojarasca**

En las 2 parcelas permanentes (Ea. El Parque y Lag. Terraplén), según lo explicado en la Metodología General, se evaluó la cantidad y calidad del aporte de hojarasca realizado por el bosque de pino ponderosa y por la estepa. En cada lugar se instalaron 48 trampas de 0,096 m<sup>2</sup> c/u (24 en el bosque y 24 en la estepa adyacente). En cada uno de los rodales se seleccionaron 2 árboles dominantes y se dispusieron 12 trampas por árbol, considerando los 4 puntos cardinales a 5, 100 y 200 cm desde la base del tronco (ver Figura 1.2, en Capítulo 1). Se recolectaron muestras en forma periódica durante 37 meses, entre el 10/2/00 y el 13/3/03. Las trampas en la estepa se ubicaron según el mismo criterio a partir de un punto seleccionado al azar y lo bastante alejado del bosque como para evitar interferencias del mismo. Las muestras se recolectaron mensualmente durante 2 años, entre el 4/10/01 y el 27/11/03 y se determinó en laboratorio el peso seco en estufa (48 hs a 105° C), habiéndose separado previamente la hojarasca de pino en las siguientes fracciones: acículas, conos, amentos, semillas y otros<sup>6</sup>.

Para determinar la homogeneidad superficial de los aportes dentro del bosque, se analizaron los datos de cada trampa por medio de un diseño jerárquico o anidado de 3 etapas con el programa estadístico SAS (SAS 1999). El factor árbol está anidado bajo los niveles del factor sitio. A su vez las distancias están anidadas bajo el factor árbol.

En los 29 sitios con bosque de pino ponderosa seleccionados para el estudio regional, según lo explicado en la Metodología General, se determinó la profundidad del horizonte orgánico según su grado de descomposición y se realizó un muestreo de todo el material orgánico (hasta llegar al suelo mineral) en 4 parcelas de 0,25 m<sup>2</sup> ubicadas al azar. Todo el material recolectado fue pesado y en base a una alícuota, se determinó el peso seco en estufa (48 hs a 105° C).

### **Tasa de descomposición de la hojarasca**

La tasa de descomposición de la hojarasca se evaluó durante un año mediante las diferencias de peso registradas en muestras de acículas de pino ponderosa y hojas de coirón. Para ello se recolectaron, en una misma fecha, acículas de pino ponderosa y hojas de coirón muertas, tomadas sobre plantas ubicadas en cercanías del CIEFAP<sup>7</sup>, en la Ciudad de Esquel (ver Figura 1, en Metodología General). Las plantas de coirón correspondieron a las especies

---

<sup>6</sup> La fracción otros incluyó: ramas, alas, corteza y demás detritus.

<sup>7</sup> Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico.



*Stipa speciosa*, *Stipa humilis*, *Festuca pallescens* y *Poa ligularis*, que son las gramíneas más abundantes en los lugares de la estepa donde actualmente se foresta. Todo el material vegetal cosechado fue mezclado y secado al aire en laboratorio durante 15 días e introducido en 304 bolsas de malla de polietileno de 15 x 10 cm con cribas de 1,5 mm. La mitad de las bolsas se llenaron con 10 g de acículas de pino y el resto, con 10 g de hojas de coirón. Con estacas de alambre en forma de U se formaron pares con bolsas de acículas de pino / hojas de coirón. En cada parcela permanente (Ea. El Parque y Lag. Terraplén) se clavaron en el suelo los pares, ubicándose en los sitios con bosque y estepa en 2 puntos diferentes al azar. Cada 3 meses, entre el 13/6/02 y el 9/6/03, se retiraron 4 pares al azar de cada punto (8 pares por sitio, 16 pares por lugar) y el 19/9/03 (última recolección) 3 pares (6 pares por sitio, 12 pares por lugar). En Lag. Terraplén, la última recolección no se pudo realizar por pérdida de las bolsas. Trimestralmente se obtuvo el peso seco en estufa (48 hs a 105° C).

Para evaluar diferencias en la descomposición bajo cobertura de bosque y estepa se realizó un análisis de varianza según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey con el programa estadístico SAS (SAS 1999).

Además, se caracterizaron algunas variables micro climáticas en las parcelas permanentes (según lo explicado en la Metodología General) que están relacionadas con la dinámica del aporte y descomposición de la hojarasca. En cada sitio (bosque, estepa) se instalaron termómetros de mercurio a 10 y 20 cm de profundidad. Las mediciones de temperatura del suelo se realizaron periódicamente entre el 8/6/00 y el 13/3/03 (aproximadamente 65 registros por sitio). Las lecturas se efectuaron el mismo día en ambos lugares y en horarios aproximadamente coincidentes a lo largo del tiempo para cada sitio. En Ea. El Parque, la hora de medición fue entre las 13:30 y las 15:30 hs en la estepa y entre las 13:45 y las 15:45 hs en el bosque. En Lag. Terraplén, estas se realizaron entre las 15:00 y las 17:00 hs en ambos sitios. La diferencia horaria en cada día de registro para un mismo lugar (Ea. El Parque, Lag. Terraplén) fue de aproximadamente 15 minutos entre la estepa y el bosque. En la estepa no se pudo tener un registro continuo porque en varias ocasiones se rompió el instrumental. Al registrar la temperatura del suelo, se determinó también, en 17 oportunidades, la velocidad del viento ( $\text{km h}^{-1}$ ) en 2 puntos ubicados uno dentro y otro fuera del bosque, promediando las lecturas de 5 minutos. Estas mediciones se realizaron con un anemómetro manual a 1,5 m de altura aproximadamente.

También se evaluó el contenido hídrico del suelo con cápsulas de yeso ubicadas a 10 y 30 cm de profundidad. Se instalaron para ello, 2 sensores dentro del bosque y 2 en la estepa adyacente. También se extrajeron muestras de suelo con barreno a las mismas profundidades, para determinar el porcentaje de humedad (método gravimétrico) y poder calibrar el funcionamiento de los sensores. Las mediciones se realizaron entre el 9/2/00 y el 1/3/02 en forma periódica, dependiendo la frecuencia de medición de la época del año y de la lluvia caída.

Asimismo, en los 29 lugares estudiados a nivel regional, según lo explicado en la Metodología General, se obtuvieron, en el bosque y en la estepa, muestras de suelo por duplicado a 10 y 30 cm de profundidad (232 muestras), para determinar la humedad al momento del muestreo por el método gravimétrico, presentándose los datos en % del volumen de suelo.

Los valores de humedad de los 29 lugares (bosque / estepa) se analizaron mediante la prueba del signo (método no paramétrico) con el programa estadístico SAS (SAS 1999).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Aporte aéreo de hojarasca

El aporte aéreo de hojarasca dentro del bosque de pino ponderosa en los 37 meses de estudio fue de 28 tn ha<sup>-1</sup> en Ea. El Parque y 15,5 tn ha<sup>-1</sup> en Lag. Terraplén. Las diferencias seguramente están asociadas a las particularidades del sitio y que se reflejan en las características dasométricas de cada rodal (ver Tabla 2, en Metodología General). En ambos lugares, la hojarasca estuvo conformada principalmente por acículas (75 %) y por conos (17 %) (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Aporte aéreo realizado por las diferentes fracciones de la hojarasca de bosque de pino ponderosa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén durante 37 meses.

Fracción	Ea. El Parque		Lag. Terraplén	
	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)
Acículas	21.733	77,5	11.382	73,3
Conos	4.857	17,3	2.562	16,5
Amentos	1.152	4,1	1.264	8,1
Semillas	32	0,1	12	0,1
Otros	270	1,0	313	2,0
Total	28.046		15.535	

El aporte anual de hojarasca fue de 9 tn ha<sup>-1</sup> en Ea. El Parque y 5 tn ha<sup>-1</sup> en Lag. Terraplén. Klemmedson *et al.* (1990), para la misma especie, señalan valores anuales de 1,4 y 2,8 tn ha<sup>-1</sup> en Arizona (USA), con 633 y 4.120 árb ha<sup>-1</sup>, respectivamente. También encontraron que las acículas realizaron el principal aporte, con el 68 % en promedio. Otros trabajos sobre *Pinus* sp., también determinaron elevados porcentajes de acículas en la hojarasca aportada, ubicando en segundo lugar, a la fracción conformada por los órganos reproductores masculinos y femeninos (Huber, Oyarzún 1983, Baraqueta, Basagoiti 1990).

De acuerdo a lo planteado en el inicio de la primer hipótesis de este capítulo, la caída de la hojarasca no se realizó en forma homogénea en toda la superficie del rodal, existiendo diferencias significativas con respecto a la distancia al tronco. Los lugares más cercanos y alejados al fuste fueron los que recibieron menor cantidad (Tabla 3.2). Covarrubias *et al.* (1994) mencionan que la caída tampoco es similar para cada árbol. Esta diferencia no pudo ser detectada en nuestro estudio, posiblemente por la poca cantidad y por el tipo de árboles estudiados (sólo dominantes). La heterogeneidad del horizonte orgánico generaría micrositios diferentes, y éstos posiblemente influyan en los factores que gobiernan la descomposición de la hojarasca de manera diferente en cada uno de ellos.

Tabla 3.2. Cantidad de hojarasca promedio ( $\pm 1$  error estándar) que se recibe dentro del bosque considerando 3 distancias (5, 100 y 200 cm) a la base del tronco en Ea. El Parque y Lag. Terraplén. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según Tukey ( $n = 16$ ).

Distancia al tronco (cm)	Hojarasca (kg ha <sup>-1</sup> )
5	15.286 <sup>b</sup> $\pm$ 1.354
100	26.745 <sup>a</sup> $\pm$ 3.108
200	23.341 <sup>ab</sup> $\pm$ 3.173

Este patrón de caída, por otro lado, junto a las condiciones ambientales originadas por el bosque, podría influir en la germinación y establecimiento de plantas si se adoptara la regeneración natural como medida futura de manejo del bosque, o su conversión a sistemas silvopastoriles, pues una mayor cantidad de hojarasca actuaría como un factor potencialmente adverso (Rezzano *et al.* 1997, Raffaele, Schlichter 2000). Sin embargo, es posible que a través de una profundización de ensayos de densidades de raleo, se puedan tener resultados más certeros y generalizables. Este aspecto, por lo tanto, requiere de estudios regionales más profundos sobre la dinámica de dichos procesos.

En relación al aporte de hojarasca considerando la orientación del fuste, segunda parte de la primer hipótesis planteada en el presente capítulo, se nota una tendencia consistente y general a la acumulación en los cuadrantes Norte y Este, en relación con el Sur y Oeste (Tabla 3.3). Este patrón de distribución pareciera estar influenciado por los vientos dominantes que soplan en la región, generalmente del sector opuesto, es decir, Sur y Oeste (Servicio Meteorológico Nacional 1986). Dicho comportamiento se acentúa en las posiciones más alejadas en relación a la base del tronco. A pesar de este evidente patrón, los análisis efectuados no revelaron diferencias significativas entre los 4 puntos cardinales para una misma distancia al fuste, probablemente debido a la baja potencia del método estadístico utilizado (Tabla 3.3). Como veremos más adelante, es posible inferir que aunque la velocidad del viento es moderada por la presencia del bosque en comparación con la estepa adyacente, esta velocidad es todavía de suficiente magnitud como para influenciar la distribución de la hojarasca de manera diferencial alrededor de cada árbol.

Tabla 3.3. Cantidad de hojarasca promedio ( $\pm 1$  error estándar) que se recibe dentro del bosque, considerando 4 orientaciones (Norte, Este, Sur y Oeste) a 3 distancias (5, 100 y 200 cm) de la base del tronco en Ea. El Parque y Lag. Terraplén. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas en una misma fila ( $p < 0,05$ ) según Tukey ( $n = 4$ ).

Distancia (cm)	Hojarasca (kg ha <sup>-1</sup> )			
	Norte	Este	Sur	Oeste
5	19.287 <sup>c</sup> $\pm$ 2.871	13.704 <sup>c</sup> $\pm$ 2.365	13.752 <sup>c</sup> $\pm$ 3.340	14.401 <sup>c</sup> $\pm$ 2.114
100	24.308 <sup>a</sup> $\pm$ 4.658	37.381 <sup>a</sup> $\pm$ 6.217	22.573 <sup>a</sup> $\pm$ 5.103	22.719 <sup>a</sup> $\pm$ 7.479
200	24.079 <sup>b</sup> $\pm$ 5.944	34.766 <sup>b</sup> $\pm$ 6.370	19.811 <sup>b</sup> $\pm$ 4.701	14.708 <sup>b</sup> $\pm$ 5.539

En la Figura 3.1 se observa la velocidad del viento a lo largo del año en las 2 parcelas permanentes (Ea. El Parque y Lag. Terraplén), tanto en el bosque como en la estepa. Como era de esperar, el viento siempre presentó valores significativamente más altos en la estepa en comparación con el bosque, independientemente de la época del año considerada. Los menores valores registrados dentro del bosque en Lag. Terraplén (efecto moderador), en comparación con los de Ea. El Parque, se podrían explicar por la superficie de cada rodal (aproximadamente 40 ha en Lag. Terraplén y sólo 2 ha en Ea. El Parque). Este último aspecto, el efecto del tamaño del rodal y su relación con la disminución de la velocidad del viento, debería ser abordado en futuros estudios.

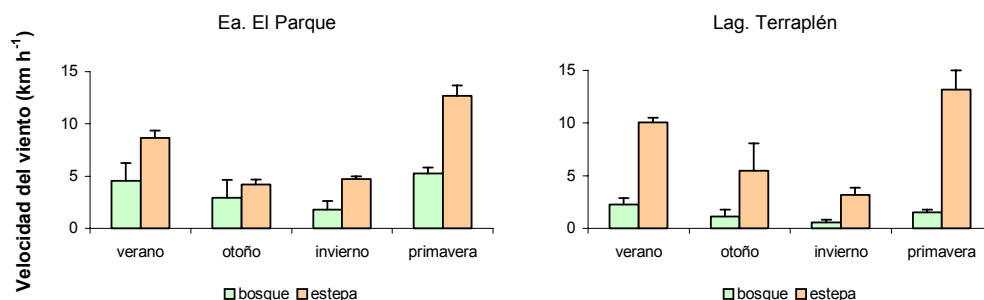


Figura 3.1. Velocidad del viento en el bosque y la estepa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén en las 4 estaciones del año (verano, otoño, invierno, primavera). Las líneas sobre las barras indican el error estándar.

El efecto moderador del bosque sobre el viento fue más pronunciado en primavera y verano (estación seca), que es cuando se registran las velocidades más altas en esta región de la Patagonia (Servicio Meteorológico Nacional 1986). Este patrón es coincidente con lo reportado por Defossé (1995), quien estudió el efecto de las matas de *Festuca palleescens* sobre la velocidad del viento superficial en situaciones de barlovento y sotavento. Este autor registró el mismo patrón de distribución de velocidad del viento, más alto durante la primavera – verano y más bajo en otoño – invierno. Asimismo encontró que la velocidad del viento era significativamente mayor a barlovento que a sotavento de las matas y que la supervivencia de plántulas de dicha especie estaba relacionada con esa velocidad, siendo menor en las áreas más expuestas al viento. En regiones como la estudiada, el viento tiene un rol importante en la dinámica de la vegetación y en la parte superficial del suelo. La implantación de bosque de pino ponderosa, al moderar el viento, podría favorecer algunos procesos de establecimiento de especies nativas y disminuir los efectos de la erosión. Sin embargo, este efecto debería ser estudiado en relación con otros factores (distribución de la precipitación, temperatura y humedad edáfica, etc.) para poder determinar su verdadero alcance.

En este estudio y en cuanto a la calidad del aporte de hojarasca, al comparar en el período 7/9/00 al 28/2/02, cuando las recolecciones fueron mensuales, se detectaron diferencias entre ambos lugares (Figura 3.2). De las distintas fracciones que componen este aporte, las acículas tuvieron la distribución más continua a lo largo del año, con momentos de abundancia, asociados seguramente a factores originados por el viento (Huber, Oyarzún 1983) y la nieve, más que a factores biológicos o de estrés hídrico como sucede con otras especies. También podría incidir, según lo señalado anteriormente, la poca extensión superficial de los bosques estudiados, pues al tener la

característica de parche dentro de la estepa, estarían más afectados por los vientos. Esto podría explicar la diferencia de comportamiento con rodales que crecen en el Hemisferio Norte, en donde el pino ponderosa cubre extensas áreas de bosque y presenta un máximo de caída de hojas en otoño (Klemmedson *et al.* 1990).

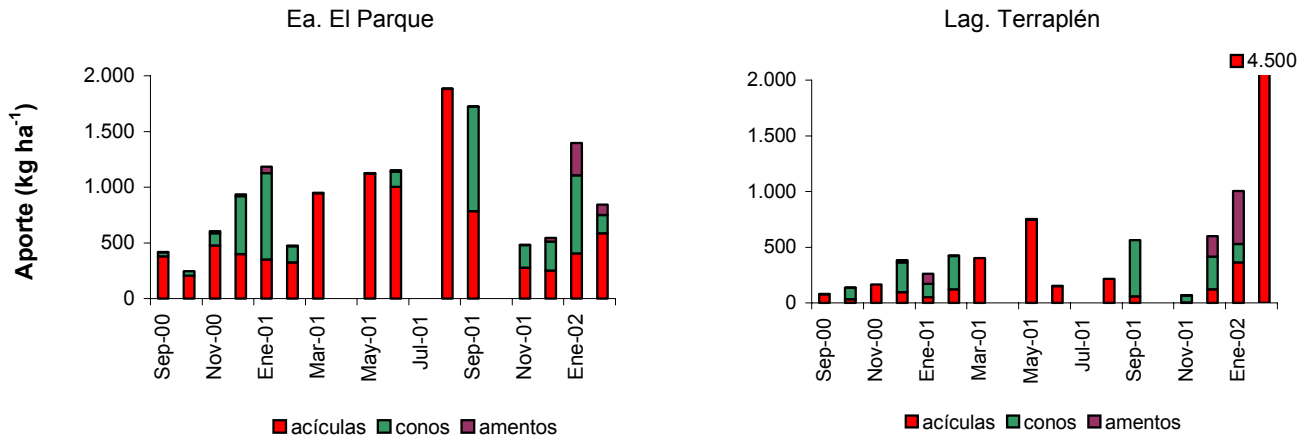


Figura 3.2. Aporte de acículas, conos y amentos en Ea. El Parque y Lag. Terraplén en el período 7/9/00 al 28/2/02.

Los conos y los amentos, si bien cayeron durante todo el año, tuvieron un aporte importante en primavera - verano, seguramente asociado al ciclo fenológico. La presencia de los órganos reproductivos a lo largo del año se pudo deber a que los mismos quedaron atrapados en el follaje y se desprendieron a medida que se fragmentaron, de manera similar a lo presentado por Huber y Oyarzún (1983). Las semillas fueron la fracción menos importante en cuanto a la hojarasca caída, pero tuvieron un aporte periódico en primavera - verano (Figura 3.3), coincidente con las mayores temperaturas y menores porcentajes de humedad (Huber, Oyarzún 1983). También se observó en nuestro estudio un aporte en invierno.

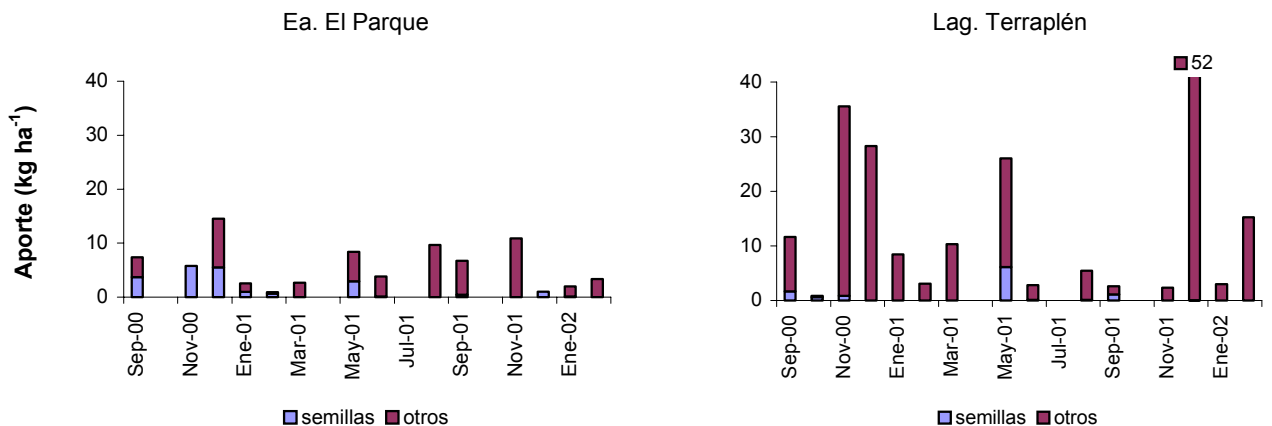


Figura 3.3. Aporte de semillas y otros (ramas, alas, corteza y demás detritus) en Ea. El Parque y Lag. Terraplén en el período 7/9/00 al 28/2/02.

Según la bibliografía, la producción de semillas, a diferencia de las demás fracciones que conforman la hojarasca, muestra variaciones con los años, debido a factores intrínsecos y ambientales (Huber *et al.* 1986, Klemmedson *et al.* 1990, Ottone 1997). Por este motivo, su presencia junto a los órganos reproductores, puede variar en períodos de estudio más largos. Sin embargo, durante los 3 años de registro se observaron, tanto en Ea. El Parque como en Lag. Terraplén, cambios en todas las fracciones de la hojarasca estudiada (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Aporte aéreo de hojarasca realizado por diferentes fracciones en el bosque de pino ponderosa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén durante los años 2000, 2001 y 2002.

Fracción	Ea. El Parque						Lag. Terraplén					
	2000		2001		2002		2000		2001		2002	
	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)
Acículas	4.540	69,0	6.996	71,5	10.198	87,3	1.911	63,6	2.189	50,9	7.283	88,4
Conos	1.721	26,1	2.386	24,4	751	6,4	848	28,3	1.328	30,9	386	4,7
Amentos	115	1,7	359	3,7	679	5,8	117	3,9	674	15,7	473	5,7
Semillas	22	0,3	5	0,1	5	0,05	5	0,2	7	0,2	0,3	0,003
Otros	186	2,8	41	0,4	44	0,4	121	4,0	100	2,3	92	1,1
Total	6.584		9.787		11.676		3.002		4.299		8.234	

La fracción “otros” incluyó especialmente ramas y en menor medida, alas, corteza y demás detritus. Su presencia se observó a lo largo del año y estaría vinculada, al igual que las acículas, a eventos climáticos que les permitieron desprenderse y alcanzar el suelo del bosque (Huber, Oyarzún 1983, Klemmedson *et al.* 1990). Por su escaso volumen, posiblemente vinculado a la edad de los 2 rodales estudiados (ver Tabla 2, en Metodología General), no se pudo estudiar el porcentaje de corteza que llega al suelo para asociarlo a los cambios de pH en cercanías del tronco, según lo descrito en el Capítulo 1.

Por su parte, la estepa realizó un aporte de broza durante los 24 meses de estudio de 1,06 tn ha<sup>-1</sup> en Ea. El Parque y 0,60 tn ha<sup>-1</sup> en Lag. Terraplén. Las diferencias seguramente están asociadas a las características de cada pastizal, que fueron descritas en la Metodología General, siendo en Ea. El Parque superior la cobertura y variedad de las especies herbáceas. El aporte anual fue de 0,5 tn ha<sup>-1</sup> en Ea. El Parque y 0,3 tn ha<sup>-1</sup> en Lag. Terraplén. En pastizales con predominio de *Festuca pallescens* ubicados en el límite entre las Provincias de Chubut y Santa Cruz (374 mm de precipitación media anual), se reportaron valores entre 0,57 y 0,61 tn ha<sup>-1</sup> de hojarasca. Dichos valores variaron con la época y año estudiado, siendo el período agosto – septiembre el que mostró mayor aporte (Defossé *et al.* 1990, Bertiller, Defossé 1990). Los mismos autores señalan que la actividad biológica en primavera y verano, representada por los insectos edáficos y las bacterias celulolíticas, acelerarían la descomposición de la broza en estas estaciones.

En nuestro estudio, el aporte de hojarasca realizado por el pastizal mostró un incremento en los meses de verano (Figura 3.4), en donde seguramente los pastos evidenciaron la falta de humedad de la época más calurosa (ver Figura 3.7 y Anexo 3). En Ea. El Parque se observaron máximos de aporte en invierno, asociados a nevadas, que por su importancia, aplastaron

toda la vegetación herbácea poniéndola en contacto con el suelo. En cambio, en Lag. Terraplén, los aportes estuvieron muy vinculados al entrampe que se realizó por efecto del viento sobre restos de subarbustos con características leñosas.

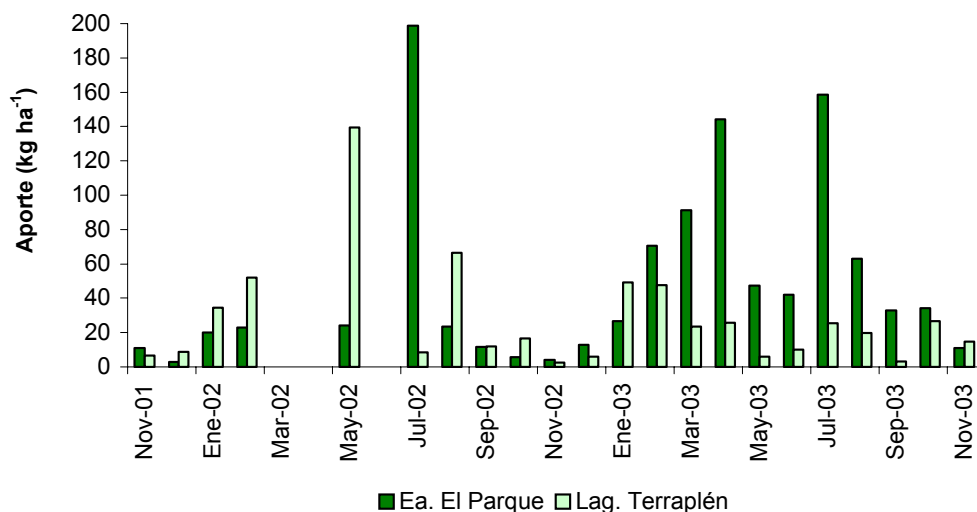


Figura 3.4. Aporte aéreo realizado por la vegetación de estepa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén en el período 4/10/01 al 27/11/03.

Comparando los aportes realizados por las 2 coberturas vegetales, se observa que el efectuado por el bosque fue 17 veces mayor que el de la estepa. Por este motivo y por la dificultad en la mineralización del material aportado por el pino, como se discute más adelante, la presencia del horizonte orgánico dentro del bosque en los 29 rodales estudiados fue muy significativa, alcanzando valores de 0,29 a 131,67 tn ha<sup>-1</sup>. Esta cantidad de material se correlacionó positivamente con la edad (Buduba *et al.* 2002), la altura dominante y el área basal de los rodales sin raleo muestreados (Figuras 3.5 a, b y c). Si bien estas variables (edad, altura dominante, área basal) están correlacionadas, al utilizar un modelo de regresión múltiple no se encontró significancia al incluir otras variables. Cualquiera de los modelos presentados podría ser empleado para predecir rápidamente la cantidad de hojarasca que posee el horizonte orgánico a partir de estas 3 variables que están generalmente disponibles en los registros regionales y/o se pueden obtener de forma rápida en el campo. Seguramente cualquier intervención silvícola (poda y/o raleo) que modifique la cobertura influirá sobre la temperatura y la humedad del suelo, haciendo variar dichas relaciones, dado que, como fue mencionado previamente, la apertura del dosel aumenta la tasa de descomposición.

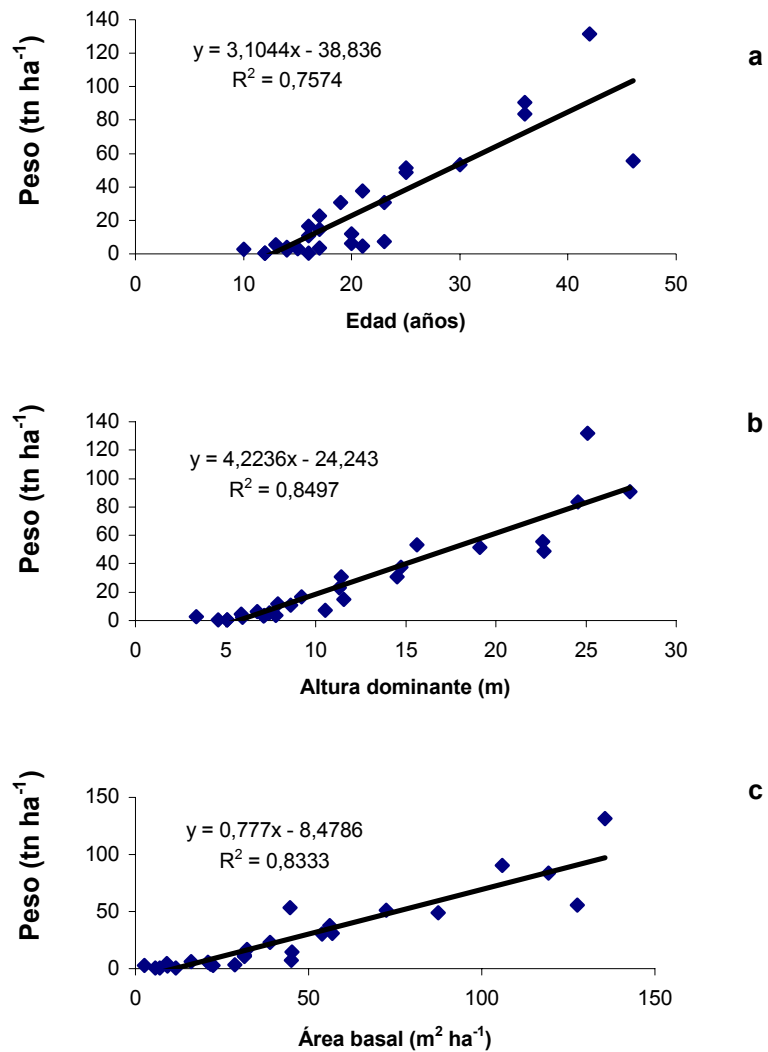


Figura 3.5. Relación entre el peso del horizonte orgánico con (a) la edad, (b) la altura dominante y (c) el área basal de los 29 rodales de pino ponderosa estudiados.

En referencia a la posible influencia de la temperatura edáfica en los procesos de descomposición de la hojarasca, se puede afirmar que la misma se relaciona con los procesos biológicos (Madigan *et al.* 2000), estando afectada con las variaciones producidas por los cambios de vegetación o manejo. La temperatura del suelo resulta del balance entre la absorción y pérdida de radiación solar, dependiendo de factores internos y externos del suelo (Donoso 1992, Wild 1992, Porta *et al.* 1999). La presencia del dosel y del horizonte orgánico del bosque moderan las fluctuaciones de la temperatura edáfica a lo largo del año, haciéndola más homogénea. Este efecto es más importante en verano que en invierno y en superficie que en profundidad. La dinámica de la temperatura a 10 y 20 cm de profundidad, en las 2 parcelas permanentes (Ea. El Parque y Lag. Terraplén), tanto en el bosque como en la estepa adyacente, se muestra en la Figura 3.6.



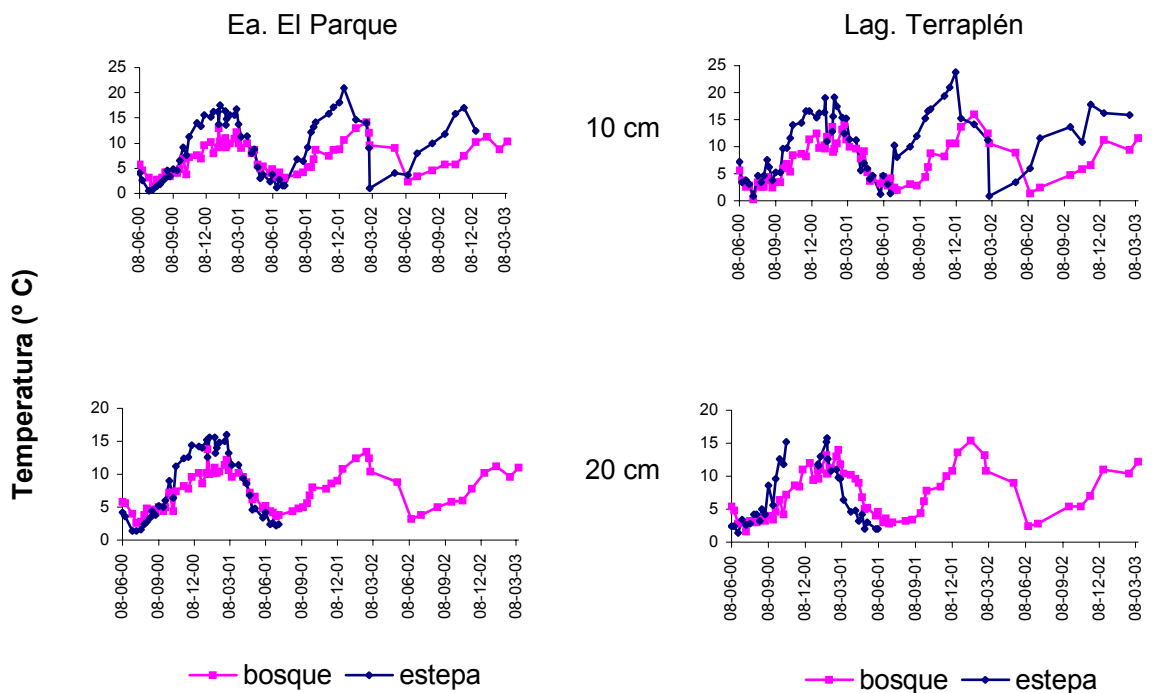


Figura 3.6. Dinámica de la temperatura del suelo a 10 y 20 cm de profundidad en el bosque y la estepa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.

En la estepa, la temperatura de verano a los 10 cm de profundidad alcanzó un máximo de 21° C en Ea. El Parque y 23,8° C en Lag. Terraplén. En el bosque, a la misma profundidad, los valores siempre fueron menores (14,2 y 16° C, respectivamente). Por su parte, el efecto moderador del bosque sobre las temperaturas de invierno a los 10 cm, fue más marcado en Ea. El Parque, en donde en la estepa se registraron valores cercanos a 0° C y en el bosque nunca por debajo de 1,4° C. En Lag. Terraplén, el bosque no pudo atemperar tanto las temperaturas mínimas, registrándose valores cercanos a 0° C dentro y fuera del rodal. Esta diferencia entre las 2 parcelas permanentes se podría explicar por las características del horizonte orgánico, pues en Ea. El Parque el mismo era continuo y abundante (30.502 kg ha<sup>-1</sup>) y en Lag. Terraplén (11.917 kg ha<sup>-1</sup>), se presentó en parte discontinuo, siendo más profundo bajo la copa de los pinos y casi nulo entre los árboles. Al respecto, Pritchett (1991) señala que la moderación de las altas temperaturas de verano se debe principalmente al efecto del dosel, mientras que la elevación de las mínimas de invierno a la presencia del horizonte orgánico. El mismo comportamiento se registró a los 20 cm de profundidad, tanto en el bosque como en la estepa, aunque con menor amplitud entre los valores extremos de invierno y verano (Figura 3.6). También se observó, a 10 y 20 cm de profundidad, que el bosque, en comparación con la estepa adyacente, alcanzó los valores mínimos de invierno o los máximos de verano con un retraso en el tiempo. Las temperaturas del bosque fueron más homogéneas que las registradas en la estepa, pues las últimas están más relacionadas a las variaciones diarias y estacionales. Similar comportamiento, para temperaturas bajo cero, fue señalado por Pritchett (1991), siendo el

congelamiento en el bosque mucho más tardío y menos profundo que fuera del mismo.

Otro factor de importancia en los procesos biológicos que podría influir en la tasa de descomposición de la hojarasca y que también se puede ver modificado por los cambios de vegetación o el manejo, es la humedad edáfica. En la Figura 3.7 se observa las variaciones de humedad en las 2 parcelas permanentes en los sitios bajo bosque y estepa a 10 y 30 cm de profundidad. Para una misma fecha el bosque, en general, siempre presentó menor humedad edáfica en comparación con la estepa, excepto después del final del invierno 2001 en Ea. El Parque a los 30 cm de profundidad. Esto podría estar relacionado con la interceptación de la precipitación efectiva realizada por el horizonte orgánico, que restaría agua para el humedecimiento de los horizontes inorgánicos subyacentes (ver Capítulo 1).

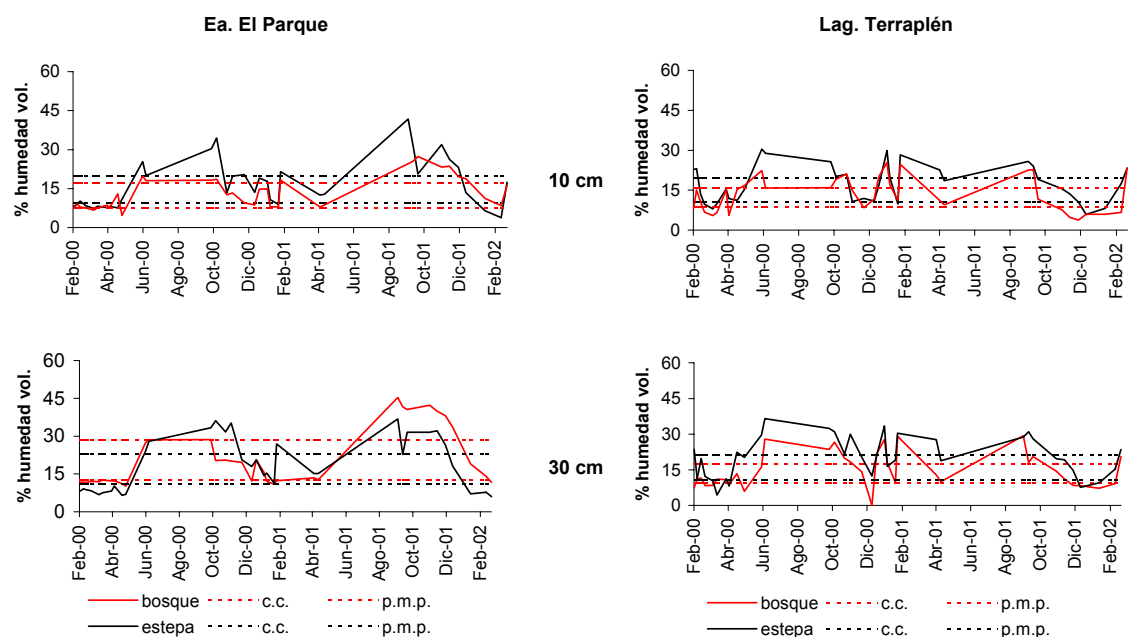


Figura 3.7. Dinámica de la humedad edáfica a 10 y 30 cm de profundidad en Ea. El Parque y Lag. Terraplén entre el 9/2/00 y el 1/3/02 (c.c. = 0,03 MPa, p.m.p. = 1,5 MPa).

Los valores más altos de humedad a 0,03 MPa de tensión (capacidad de campo) bajo bosque en Ea. El Parque, en comparación con los de Lag. Terraplén con la misma cobertura, se podrían deber al mayor porcentaje de materia orgánica (ver Tabla 4.6, en Capítulo 4) y a la textura (ver Tabla 4.7, en Capítulo 4). Por otro lado, el agua útil en ambas parcelas permanentes en los sitios con vegetación de estepa son similares, siendo las diferencias en los porcentajes de materia orgánica menos importantes que los encontrados para las situaciones bajo bosque. En la estación seca, principalmente durante el verano del 2000 y fines del mismo año e inicio del siguiente, tanto en el bosque como en la estepa, el suelo se secó por debajo de 1,5 MPa de tensión. Esto indicaría que el sistema radical de la estepa podría estar obteniendo agua a mayores profundidades y ambos tipos de vegetación, por debajo de los 1,5 MPa

de tensión. Similares resultados fueron encontrados por Huber *et al.* (1985), Huber y López (1993) y Burgos *et al.* (1996).

La necesidad de agua edáfica, reflejada en la cantidad y distribución espacial del sistema radical de cada comunidad vegetal (ver Tabla 4.5, en Capítulo 4) podría provocar una demanda diferencial, causando las diferencias señaladas en la humedad del suelo entre el bosque y la estepa. En este sentido, Marlats *et al.* (1999) y Huber y Trecaman (2000) señalan que los mayores consumos de agua ocurren bajo cubiertas boscosas, en donde también incide la especie, la densidad y el manejo. A semejanza de lo observado en las 2 parcelas permanentes, los resultados en los 29 lugares estudiados al comparar bosque / estepa en un momento determinado, demuestran que el suelo bajo vegetación herbácea presentó mayor porcentaje de humedad, siendo las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a los 30 cm de profundidad (Tabla 3.5). Es probable entonces que el sistema radical del pino ponderosa absorba más agua, pudiendo provocar asimismo, cambios en el grado de alofanización del material originario del suelo (ver Capítulo 4). La menor diferencia de humedad a los 10 cm de profundidad se podría deber al efecto aislante del horizonte orgánico y también al efecto moderador del viento. Sobre este último punto, el bosque, en comparación con la estepa, tendría menor evaporación desde la superficie del suelo, pues el viento está asociado generalmente al aire frío no saturado de humedad (Barry, Chorley 1972).

Tabla 3.5. Humedad promedio ( $\pm 1$  error estándar), estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados a 10 y 30 cm de profundidad.

Profundidad (cm)	Humedad (% en volumen)		n	Signo M	Valor p
	Bosque	Estepa			
10	5,61 $\pm$ 0,49	7,37 $\pm$ 0,84	29	-4,5	0,1360
30	7,76 $\pm$ 0,94	9,22 $\pm$ 0,81	29	-6,5	0,0241

Las diferencias observadas en la temperatura y humedad edáfica podrían tener importancia en la actividad microbiológica del suelo que está presente en ambos sitios (bosque, estepa), influyendo en la dinámica de la hojarasca acumulada en superficie. Por otra parte, también podría tener consecuencias sobre la materia orgánica edáfica y la alteración de la ceniza volcánica (ver Capítulo 4).

### Tasa de descomposición de la hojarasca

La pérdida de peso de la hojarasca de pino tuvo un comportamiento similar bajo cobertura de bosque y de estepa en las 2 parcelas permanentes (Ea. El Parque y Lag. Terraplén), disminuyendo en el primer trimestre un 57 % de su peso. Desde el tercer mes, hasta el final del estudio, la variación fue menos importante, perdiendo a los 15 meses 60,5 % respecto del peso inicial (Figura 3.8). Para pino radiata, Girisha *et al.* (2003) encontraron una pérdida de 27 % en 10 meses, pero a diferencia de nuestro estudio, las acículas muertas utilizadas fueron recolectadas del suelo. Sin embargo, la composición química del material empleado en nuestro trabajo (acículas muertas recolectadas sobre las plantas) podría ser semejante al de las acículas verdes utilizadas por dichos autores. Los

mismos señalan que durante los 4 primeros meses la hojarasca verde perdió el 70 % del peso, reduciéndose notablemente en el tiempo la velocidad de descomposición (72 % del peso inicial a los 10 meses). La acción microbiana sobre carbohidratos solubles y polifenoles al inicio de la descomposición y la ganancia relativa de ligninas con el transcurrir del tiempo, explicarían este comportamiento (Girisha *et al.* 2003).

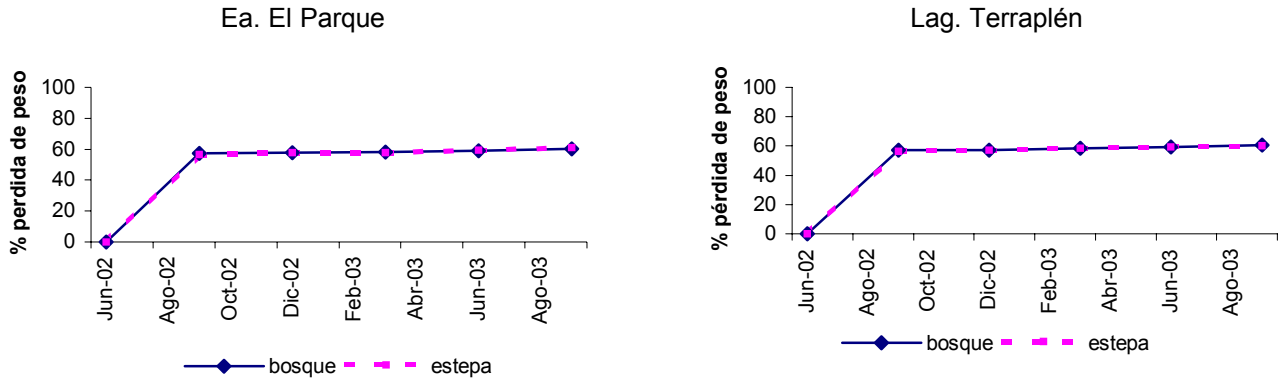


Figura 3.8. Porcentaje de pérdida de peso de la hojarasca de pino ponderosa bajo cobertura de bosque y de estepa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén. En cada caso el error estándar no excede  $\pm 1,0$  % del valor promedio (n entre 3 y 8).

Los resultados estarían indicando que la mineralización de la hojarasca del bosque de pino ponderosa depende más de su composición química que de las condiciones ambientales que poseen el bosque y la estepa. Sin embargo, McTiernan *et al.* (2003) determinaron que en hojarasca de *Pinus sylvestris*, la degradación de la hemicelulosa está relacionada con la temperatura, la lignina con la humedad del suelo y la celulosa con las altas lluvias.

La broza de pastizal tuvo el mismo comportamiento que la hojarasca de pino, perdiendo rápidamente el 58 % durante los 3 primeros meses (Figura 3.9).

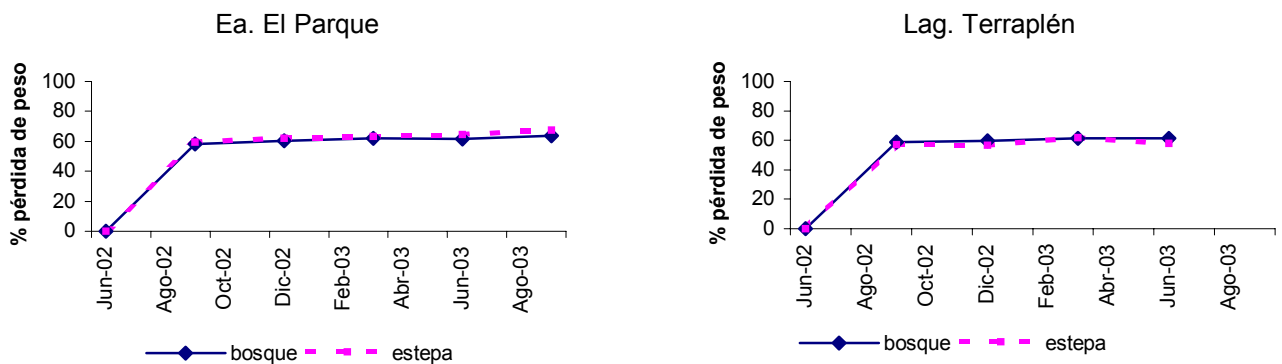


Figura 3.9. Porcentaje de pérdida de peso de la hojarasca de estepa bajo cobertura de bosque y de estepa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén. En cada caso el error estándar no excede  $\pm 1,4$  % del valor promedio (n = 5 y 8).

Sin embargo, en Ea. El Parque, a partir de los 12 meses, hubo mayor mineralización (diferencias significativas  $p < 0,05$ ) bajo cobertura de estepa (Tabla 3.6), indicando que la hojarasca de coirón en ese lugar pudo verse afectada por las condiciones micro climáticas generadas por el bosque (menor temperatura y humedad), disminuyendo así la tasa de mineralización.

Tabla 3.6. Peso promedio ( $\pm 1$  error estándar) de la hojarasca de estepa bajo cobertura de bosque y de estepa en Ea. El Parque a los 12 meses. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según Tukey ( $n = 8$ ). Entre paréntesis el % de pérdida de peso.

Cobertura	Peso (g)
Bosque	$3,85^a \pm 0,11$ (61,5 %)
Estepa	$3,53^b \pm 0,05$ (64,7 %)

Bajo el dosel del bosque, la broza de estepa presentó mayor mineralización al año que las acículas de pino (Tabla 3.7). Esto explicaría las diferencias observadas en el contenido de materia orgánica edáfica entre el bosque y la estepa antes que los árboles eliminen por competencia la vegetación herbácea (ver Capítulo 4).

Tabla 3.7. Peso promedio ( $\pm 1$  error estándar) de la hojarasca de pino y de estepa bajo cobertura de bosque y estepa en Ea. El Parque y Lag. Terraplén a los 12 meses. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según Tukey ( $n = 16$ ) para una misma cobertura. Entre paréntesis el % de pérdida de peso.

Hojarasca	Peso (g)	
	Cobertura bosque	Cobertura estepa
Pino	$4,08^a \pm 0,03$ (59,2 %)	$4,06^a \pm 0,02$ (59,4 %)
Estepa	$3,87^b \pm 0,07$ (61,3 %)	$3,87^a \pm 0,11$ (61,3 %)

La relación C/N, lignina/N o fenoles/N del material aportado es un indicador de la calidad de la hojarasca y revela la posibilidad de mineralización y transformación a sustancias húmicas en el suelo (Mazzarino 2002). Valores C/N superiores a 14 indican que los restos vegetales son de difícil descomposición (Wild 1992) afectando los procesos de humificación. La hojarasca senescente del pino ponderosa en el horizonte Oi presenta en la región valores entre 76 y 127, según el grado de descomposición (Buduba inédito). Girisha *et al.* (2003) reportan relaciones elevadas en hojarasca de pino radiata (C/N = 65). Las plantas herbáceas de estepa también poseen muy bajas concentraciones de N al momento de incorporarse al suelo (relación 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 disponibilidad de C para la descomposición biológica. Seguramente la diferencia en la descomposición bajo

el dosel del bosque entre las hojas anuales del pasto 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). No obstante, bajo condiciones de estepa, ambas hojarasca no presentaron diferencias significativas en su descomposición ( $p < 0,05$ ), aunque la broza de coirón presentó menores valores (Tabla 3.7). Esto podría estar explicando porqué el horizonte orgánico del bosque se mineraliza rápidamente cuando se cambian las condiciones climáticas (temperatura y humedad) con un raleo, pasando de un horizonte con características morfológicas de tipo mor a otro tipo mull.

Por otro lado, se podría pensar que los microorganismos edáficos se podrían ver incapacitados de degradar tejidos provenientes de especies introducidas, pues la estructura y la funcionalidad de la comunidad microbiana está muy relacionada con la especie vegetal. Sin embargo, los microorganismos rápidamente se adaptan a las diferentes composiciones químicas de la hojarasca y considerando la actividad enzimática, no se puede distinguir entre especie vegetal nativa o introducida (Kourtev *et al.* 2002). La hojarasca de una especie exótica puede provocar, en 3 meses, el cambio de la comunidad edáfica, asegurando la mineralización del material, aunque esto implique cambios en el pH y en el nitrógeno (Kourtev *et al.* 2003).

Los resultados presentados demuestran que el bosque aumenta el contenido de materia orgánica superficial con la formación de un horizonte orgánico. Dicho horizonte se distribuye de manera heterogénea con respecto a la distancia al fuste, según lo planteado al inicio de la primera hipótesis de este capítulo. Por otro lado y contrariando la segunda parte de la misma hipótesis, existiría un patrón de distribución en relación a la orientación con respecto a la base del fuste. El mismo estaría influenciado por los vientos, que a pesar de ser moderados por la presencia del bosque, provocarían mayor acumulación en las posiciones de sotavento (Sur y Este). Además, la implantación de pino ponderosa crea condiciones edafológicas ambientales que influirían directamente sobre el comportamiento de la materia orgánica, inclusive la incorporada en el interior del perfil del suelo por la biomasa radical. Es así como los cambios observados tendrían influencia, a corto y largo plazo, sobre la actividad biológica y las propiedades edáficas en cada sitio. Al estudiar la descomposición de la hojarasca, según lo planteado en la segunda hipótesis del presente capítulo, se observaron diferencias entre las acículas de pino y la broza de estepa. La descomposición de las acículas de pino dependería más de su composición química que de las condiciones ambientales que presentan el bosque y la estepa. En cambio, la broza de estepa se descompuso más cuando estuvo sometida a las características micro climáticas de la estepa. Por otro lado, bajo el dosel del bosque, la hojarasca de estepa presentó mayor mineralización en comparación con las acículas de pino.

Todas estas consideraciones se encuentran vinculadas a la dinámica de la materia orgánica edáfica y a la meteorización del material originario del suelo, temas que se abordarán en el próximo capítulo.

## CAPÍTULO 4: LA MATERIA ORGÁNICA EDÁFICA Y SU RELACIÓN CON EL BOSQUE DE PINO PONDEROSA

### INTRODUCCIÓN

La materia orgánica se incorpora 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 material inorgánico. Su dinámica, en cada sitio, es consecuencia de la interacción de los diferentes factores formadores del suelo, destacándose en particular su historia de uso (Davis, Lang 1991, Banfield *et al.* 2002, Liski *et al.* 2002, Paul *et al.* 2002). Con respecto al clima, otro de los cinco factores formadores, Jobbágy y Jackson (2000) señalan que en lugares húmedos y fríos existe mayor cantidad de materia orgánica edáfica en comparación con otros lugares.

Al producirse un cambio en la vegetación, de pastizal de estepa a bosque de pino, hay un aumento significativo (17 veces) en el aporte aéreo (ver Capítulo 3) y en la biomasa radical (Huber, Trecaman 2000). Sin embargo este proceso, por sí solo, no implica una ganancia de materia orgánica edáfica, pues para que esto ocurra, se tiene que dar un incremento simultáneo en la descomposición. Esta descomposición, al ser principalmente biológica, puede limitar la acumulación por efecto de la respiración. Es decir, la ganancia de materia orgánica edáfica es el resultado de un nuevo equilibrio entre los procesos de acumulación y descomposición, que según Torn *et al.* (1997), ocurre en cientos o miles de años. En un período de tiempo, el balance total puede ser positivo (Wild 1992, Mapa 1995) o negativo (Vesterdal *et al.* 2002, Laclau 2003) y se pueden presentar ambos comportamientos a diferentes profundidades dentro de un mismo perfil de suelo (Chen *et al.* 2002, Vesterdal *et al.* 2002).

Los suelos estudiados en la presente tesis son derivados de ceniza volcánica, que al meteorizarse, origina arcillas no cristalinas (alofánicas). Este material se puede unir con la fracción orgánica, formando un complejo húmico arcilloso con enlaces muy estables, pues presenta gran superficie específica y carga variable. Esa es la principal causa de la abundante cantidad de materia orgánica que presentan estos suelos en los horizontes superficiales (Egawa 1980, Takahashi *et al.* 1994, Mora, Canales 1995), pudiendo alcanzar valores mayores al 20 %. Este valor es superior a los que se presentan en otros tipos de suelos (Warkentin, Maeda 1980, Duchaufour 1984, Besoain 1985) y es el que caracteriza, con su epipedón melánico, a los Andisoles (Soil Survey Staff 1999). Es decir, la posibilidad del suelo para retener altos porcentajes de materia orgánica supone la existencia previa de arcillas alofánicas, cuya formación está vinculada principalmente al material geológico, a la vegetación y al clima (Nizeyimana 1997, Campos Cascaredo *et al.* 2001). La formación de alófano, a pH de entre 4,9 y 7,0, es controlada por la presencia de sílice, aluminio y materia orgánica en la solución del suelo, que en los primeros estados de formación, retendría el aluminio liberado y se estabilizaría, impidiendo la biodegradación y el lavado (Shoji *et al.* 1982, Besoain 1985, FAO 2001). Además, las variaciones climáticas que ocurren a lo largo del año en la Región Patagónica, la reacción neutra del suelo, la vegetación nativa y la presencia de estabilizadores minerales ( $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ ), estimularía los procesos de maduración de las sustancias húmicas, favoreciendo la conservación y retardando la degradación microbiana (Mussini *et al.* 1984, Takahashi *et al.* 1993). Por otro lado, Swindale (1969) destaca la alta aromaticidad del humus de estos suelos, que disminuye con el

aumento de la temperatura anual al bajar la relación carbono húmico / carbono fúlvico. Esta última propiedad, junto a la alta estabilidad del complejo húmico arcilloso, le confiere una gran durabilidad a la materia orgánica acumulada, afectando su recirculación en el tiempo (Torn *et al.* 1997).

El cambio en la composición de la vegetación puede incidir en la meteorización de la ceniza volcánica (Dubroeuq *et al.* 2002). En este sentido el pino ponderosa, por la calidad de sus sustancias orgánicas (ver Capítulos 1 y 2), por el consumo de agua y por las condiciones micro climáticas que crea dentro del rodal (ver Capítulo 3 y Anexo 3), podría promover cambios en el complejo húmico arcilloso. Condiciones de alta humedad favorecen la persistencia del alófano, mientras que la sequedad beneficia la transformación a minerales cristalinos (Besoain 1985). Es decir, las condiciones creadas por la implantación del bosque, especialmente por la intrusión de raíces, podrían modificar las propiedades del material originario, posibilitando la formación de complejos órgano – minerales estables que incrementarían el contenido total de materia orgánica en el suelo (Duchaufour 1984).

Todas estas consideraciones cobran importancia en el marco del problema del calentamiento global de la Tierra, pues el suelo es el principal reservorio de carbono terrestre, al conformar aproximadamente el 50 % de la materia orgánica (Chertov *et al.* 2002, Paul *et al.* 2002). Una alternativa de mitigación al efecto invernadero, aceptada por la comunidad científica, es el cambio en el uso de la tierra para aumentar la superficie boscosa y retener el carbono, como producto de la fotosíntesis en la biomasa vegetal, especialmente en la madera y sus productos (IPCC 1995). Esta posibilidad, sin embargo, tiene algunas objeciones, que hacen referencia fundamentalmente a la estabilidad y duración del carbono en los productos madereros. El suelo es, por otra parte, el compartimiento boscoso en donde el carbono, si se dan ciertas condiciones, puede ser retenido por miles de años en compuestos muy persistentes (Jandl 2001).

El objetivo particular de este capítulo fue determinar espacial y temporalmente, el contenido de materia orgánica edáfica a distintas profundidades (0 - 10, 10 - 30, 30 - 40, 40 - 60 y 60 - 90 cm) en áreas de estepa forestadas y en las similares adyacentes no forestadas, vinculándolo con el grado de alofanización del material originario del suelo. Asimismo, se caracterizó el contenido de carbono orgánico edáfico en ambos ecosistemas (bosque de pino ponderosa y estepa). En base al objetivo planteado se propuso, para el ecotono estepa / bosque andino patagónico, la siguiente hipótesis:

- El aporte de materia orgánica y el efecto sobre la meteorización del material originario del suelo realizado por el bosque implantado de pino ponderosa aumenta el contenido de materia orgánica del suelo mineral en relación con el adyacente de estepa.

Las condiciones creadas por la implantación del bosque, especialmente por la intrusión de raíces, modificarían en profundidad las propiedades del material originario, posibilitando la formación de complejos órgano – minerales estables que incrementarían el contenido total de materia orgánica en el suelo (Duchaufour 1984).



## **METODOLOGÍA**

### **Modificaciones de la materia orgánica del suelo**

En los 29 lugares seleccionados, de acuerdo a lo especificado en la Metodología General, se realizó un muestreo del suelo con 4 repeticiones en puntos ubicados al azar en cada uno de los 2 sitios (bosque, estepa) y a 6 profundidades (5, 10, 30, 40, 60 y 90 cm) desde la superficie del primer horizonte mineral. Se obtuvieron en total 1.352 muestras, 48 por lugar. En 5 lugares no se pudieron extraer muestras a 90 cm por la abundante presencia de fragmentos gruesos.

Todas las muestras fueron secadas al aire y pasadas por tamiz de malla de 2 mm. Se determinó el porcentaje de materia orgánica total por combustión seca (Davies 1974). Cada determinación se realizó por duplicado con una exactitud igual o menor a 0,5 %. Luego se calculó la cantidad de materia orgánica edáfica total ( $\text{tn ha}^{-1}$ ) con la Ecuación 4.1. y el carbono edáfico total multiplicando dicho valor por 0,5 (Scheffer, Schachtschabel 1992).

$$\text{MO (tn ha}^{-1}\text{)} = \text{VS (m}^3\text{)} \cdot \text{FG} \cdot \delta \text{ (tn m}^{-3}\text{)} \cdot \text{MO (\%)} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

MO = materia orgánica.

VS = volumen suelo.

FG = factor de corrección por presencia de fragmentos gruesos.

$\delta$  = densidad aparente del suelo.

Se utilizó la abundancia de raíces a 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad de las 58 calicatas descriptas (ver Anexo 1), según lo señalado en la Metodología General, para inferir el efecto de éstas sobre el contenido de materia orgánica edáfica.

Los datos de materia orgánica de los 29 lugares se analizaron mediante la prueba del signo (método no paramétrico) con el programa estadístico SAS (SAS 1999). Con el mismo análisis se comparó la diferencia en la abundancia de raíces en los sitios con bosque y con estepa.

### **Modificaciones de la materia orgánica y su relación con la textura del suelo**

Para estudiar la granulometría en las 2 parcelas permanentes (Ea. El Parque y Lag. Terraplén), según lo explicado en la Metodología General, se obtuvieron muestras a diferentes profundidades (10, 30, 40, 60 y 90 cm) en ambos sitios (bosque, estepa). Las mismas fueron secadas al aire y pasadas por tamiz de malla de 2 mm. Se tomó una alícuota de 42 g de suelo para eliminar toda la materia orgánica con agua oxigenada, sumergiendo las muestras hasta finalizar el burbujeo (entre 7 a 40 días). Luego se secó en estufa y se pasaron por tamiz de malla (1, 0,5, 0,25, 0,09 y 0,045 mm) para determinar por pesada las diferentes fracciones granulométricas.

### **Modificaciones en el material originario del suelo**

Con las mismas muestras utilizadas para el estudio de los cambios de materia orgánica se determinó, en 3 submuestras, solamente a los 30 y 60 cm

de profundidad, el pH en FNa a los 2' y 60' (Fieldes, Perrot 1966). Luego se clasificó para cada profundidad el tipo de arcilla, según lo propuesto por Irisarri (2000) (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Clasificación del tipo de arcilla en suelos derivados de ceniza volcánica en base al pH en FNa (solución pH 7,6 - 7,8) a los 2 y 60 minutos (Irisarri 2000).

Arcilla	pH FNa (solución pH 7,6 - 7,8)	
	2'	60'
Haloisita	< 9,2	< 9,2
Imogolita	< 9,2	> 9,2
Alófono	> 9,2	> 9,2

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Modificaciones de la materia orgánica del suelo

Es conocido que la distribución de la materia orgánica a lo largo del perfil no es similar al comparar un suelo de bosque con uno de estepa (Birkeland 1998, Porta *et al.* 1999, Jobbágy, Jackson 2000). Estas diferencias se deben a la forma de incorporar anualmente los restos vegetales que tiene cada comunidad vegetal. En el bosque, la distribución es más heterogénea, especialmente porque los aportes más importantes son superficiales, mientras que en la estepa, el porcentaje de materia orgánica es más homogéneo, pues los aportes anuales son producidos mayoritariamente por las raíces en todo el volumen de suelo explorado (Foth 1985). Esto se debe a que la mayoría de la biomasa en un bosque se encuentra en la parte aérea, mientras que la relación biomasa radical / biomasa aérea es de 3/1 o más en ecosistemas de estepa (Fernández, Caldwell 1975, Mooney 1978). A nivel mundial y bajo clima templado, Jackson *et al.* (1997) señalan que la vegetación de estepa presenta en los primeros 30 cm casi el doble de raíces finas en comparación con el bosque de coníferas.

En nuestro estudio, el suelo mineral del bosque presentó 382 tn ha<sup>-1</sup> de materia orgánica de 0 a 100 cm, con el 33 % del total en los primeros 30 cm y el 63 % hasta los 60 cm. En la estepa los valores fueron de 361 tn ha<sup>-1</sup>, 36 % y 67 % respectivamente. En el perfil del bosque se suma la materia orgánica del horizonte orgánico, que puede alcanzar valores entre 0,29 y 131,67 tn ha<sup>-1</sup> según las características del rodal (ver Figura 3.5, en Capítulo 3). Como se observa en la Tabla 4.2, los contenidos de materia orgánica edáfica de la estepa en los primeros 30 cm de profundidad fueron mayores que en el bosque y en contra de lo planteado en la hipótesis de este capítulo, se encontraron diferencias significativas (p<0,05) a favor de la estepa. Por debajo de los 30 cm de profundidad pareciera que existe mayor homogeneidad entre ambos tipos de vegetación pues no se detectaron diferencias significativas, aunque entre 40 a 60 y 60 a 90 cm, el bosque presentó mayor cantidad de materia orgánica.

Tabla 4.2. Cantidad de materia orgánica promedio ( $\pm 1$  error estándar), estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados a diferentes profundidades (0 - 10, 10 - 30, 30 - 40, 40 - 60 y 60 - 90 cm).

Profundidad (cm)	Materia orgánica (tn ha <sup>-1</sup> )		n	Signo M	Valor p
	Bosque	Estepa			
0 - 10	44 $\pm$ 2,9	47 $\pm$ 2,6	29	-6,5	0,0241
10 - 30	82 $\pm$ 5,2	84 $\pm$ 4,0	29	-6,5	0,0241
30 - 40	40 $\pm$ 2,5	40 $\pm$ 2,3	29	-2	0,5716
40 - 60	76 $\pm$ 5,4	71 $\pm$ 4,6	26	1,5	0,6776
60 - 90	101 $\pm$ 11,3	96 $\pm$ 7,3	16	3	0,1796

La disminución del contenido de materia orgánica edáfica cuando se implanta un bosque en áreas con vegetación herbácea ha sido documentada por otros autores después de 3 a 35 años de logrado el bosque (Paul *et al.* 2002). En algunas parcelas ubicadas en Patagonia, Laclau (2002, 2003) observó, de 0 a 25 cm y de 25 a 50 cm de profundidad, que la estepa presentaba valores más altos de materia orgánica que en sitios con pino ponderosa, atribuyéndolo a que el cierre del canopy del bosque impide, por competencia, el crecimiento del pastizal y por ende, el aporte de materia orgánica más lábil y más vinculada a la fracción mineral (aporte radical). Es interesante señalar que cuando se realiza un cambio de vegetación puede existir un reemplazo en el origen de la materia orgánica que se encuentra retenida en el suelo. Desjardins *et al.* (1994) observaron que al reemplazar un bosque tropical por una pastura hay una ganancia de materia orgánica edáfica proveniente de la vegetación herbácea y una pérdida de la producida por los restos vegetales de los árboles, originándose principalmente en la parte superior del perfil, un “rejuvenecimiento” de la fracción orgánica.

En base a la influencia que podría tener la vegetación de estepa, se analizaron por separado 12 rodales, con edades de 10 a 23 años, en donde las plantas herbáceas dentro del bosque estaban vivas (fotosintéticamente activas) al momento del muestreo (ver Tabla 3, en Metodología General). Se observó en los primeros 30 cm la misma tendencia a favor de la estepa, encontrándose diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de 0 a 10 y de 10 a 30 de profundidad (Tabla 4.3). Por debajo de dicha profundidad no se detectaron diferencias significativas siendo el contenido de materia orgánica de la estepa mayor de 30 - 40 y de 60 a 90 cm.

En estos sitios, el aporte de materia orgánica por parte de las plantas herbáceas no fue suprimido por la competencia del bosque, aunque seguramente al verse afectado el crecimiento, como lo señalan Raffaele y Schlichter (2000), se encontraba disminuido. Esta merma en el aporte de restos vegetales en rodales jóvenes (10 a 23 años), podría haber originado en nuestro estudio las diferencias de materia orgánica edáfica detectadas entre el bosque de pino ponderosa y la estepa. Esto suponiendo que durante el lapso de tiempo en que crecieron los árboles, la estepa adyacente aportó más biomasa al suelo en comparación con el bosque y que los procesos de descomposición no tuvieron variaciones importantes en ambos sitios, si bien en el bosque, algunas variables ambientales (temperatura, humedad) indudablemente se vieron modificadas, según lo discutido en el capítulo anterior.

Tabla 4.3. Cantidad de materia orgánica promedio ( $\pm 1$  error estándar), estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 12 sitios bajo bosque y estepa estudiados que presentaban vegetación herbácea viva (fotosintéticamente activa) dentro del bosque, a diferentes profundidades (0 - 10, 10 - 30, 30 - 40, 40 - 60 y 60 - 90 cm).

Profundidad (cm)	Materia orgánica (tn ha <sup>-1</sup> )		n	Signo M	Valor p
	Bosque	Estepa			
0 - 10	43 $\pm$ 4,8	49 $\pm$ 4,9	12	-4	0,0386
10 - 30	78 $\pm$ 6,7	89 $\pm$ 6,9	12	-4	0,0386
30 - 40	38 $\pm$ 3,7	41 $\pm$ 3,7	12	-2,5	0,2266
40 - 60	68 $\pm$ 7,5	59 $\pm$ 6,9	10	-1	0,7539
60 - 90	68 $\pm$ 18,5	79 $\pm$ 5,5	5	-0,5	1,0000

Al analizar los otros 17 rodales (con edades entre 16 y 46 años) en donde no existía vegetación herbácea viva por la competencia del bosque (ver Tabla 3, en Metodología General) las diferencias tendieron a revertirse a favor del bosque según las diferentes profundidades consideradas (Tabla 4.4). Se observó que a partir de los 10 cm de profundidad, el bosque presentaba mayor cantidad de materia orgánica, siendo la diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre los 60 y 90 cm.

Estos resultados hacen suponer que si el dosel no se cierra, permitiendo el crecimiento de las plantas herbáceas, estas aportan, durante los primeros años, más materia orgánica que el bosque, pues los árboles se encuentran en pleno crecimiento, acumulando biomasa viva lignificada, con un bajo aporte de hojarasca o raíces muertas (Paul *et al.* 2003). Pero a medida que el bosque va creciendo, esta tendencia se iría revirtiendo y la materia orgánica edáfica en rodales adultos, comenzaría a igualar e incluso superar el contenido inicial de la estepa, como lo indica la Tabla 4.4. En futuros estudios sería interesante evaluar si dicho incremento implica un reemplazo en el origen de la materia orgánica, según lo señalado por Desjardins *et al.* (1994).

Tabla 4.4. Cantidad de materia orgánica promedio ( $\pm 1$  error estándar), estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, en los 17 lugares bajo bosque y estepa estudiados que no presentaban vegetación herbácea viva dentro del bosque, a diferentes profundidades (0 - 10, 10 - 30, 30 - 40, 40 - 60 y 60 - 90 cm).

Profundidad (cm)	Materia orgánica (tn ha <sup>-1</sup> )		n	Signo M	Valor p
	Bosque	Estepa			
0 - 10	45 $\pm$ 3,6	46 $\pm$ 3,0	17	-2,5	0,3323
10 - 30	85 $\pm$ 7,5	81 $\pm$ 4,9	17	-2,5	0,3323
30 - 40	42 $\pm$ 3,3	40 $\pm$ 2,9	17	-0,5	1,0000
40 - 60	81 $\pm$ 7,3	78 $\pm$ 5,6	16	-0,5	1,0000
60 - 90	116 $\pm$ 12,0	104 $\pm$ 9,5	11	-3,5	0,0391

Por otro lado, se debe tener en cuenta que bajo el dosel del bosque, la broza de la estepa presentó mayor mineralización que la hojarasca de pino (ver Tabla 3.7, en Capítulo 3). Una vez que las condiciones de competencia no permiten la llegada de la luz a los estratos inferiores, no sólo desaparecen las

plantas herbáceas, sino que también empieza a producirse un mayor aporte de hojarasca desde las ramas inferiores de los árboles.

Según Laclau (2002, 2003), la diferencia de materia orgánica observada en el bosque, en comparación con la estepa, se revertiría gradualmente con el aporte de acículas que realiza el pino ponderosa. Al respecto, Richter *et al.* (1999) señalan, para un bosque de pino, que la ganancia en la parte superior del suelo se puede atribuir a los compuestos muy estables provenientes del horizonte orgánico. En nuestro estudio, en rodales que todavía no han llegado a su turno de corta, los 10 cm superficiales que se encuentran en contacto con el horizonte orgánico del bosque, no acusaron incorporación marcada de la hojarasca por descomposición y/o mezcla mecánica. Este es otro aspecto que debe ser profundizado y que podría estar vinculado al aporte superficial, por entrapado del bosque de nuevo material mineral, según lo discutido en el Capítulo 2 (ver Tabla 2.3).

Varios autores (Fernández, Caldwell 1975, Reeder *et al.* 2001, Janssens *et al.* 2002) sostienen que el sistema radical es la fuente principal que aporta a la materia orgánica edáfica (más del 50 % de la productividad primaria neta), pues las raíces finas son reemplazadas continuamente al perder su funcionalidad cuando son dañadas por patógenos, sequía, congelamiento y/o herbívoros. Por otro lado, el menor diámetro, la baja relación C/N y la alta tasa de recambio que poseen, produce una descomposición más rápida en comparación con las raíces gruesas (Jackson *et al.* 1997). Ares y Peinemann (1992), estudiando diferentes tipos de bosques, encontraron una relación positiva entre la densidad de raíces y el contenido de materia orgánica en el suelo. Además, las raíces tienen influencia en la actividad microbiana y en los procesos de descomposición (Reeder *et al.* 2001). En este sentido, los valores de materia orgánica observados en la Tabla 4.4 se podrían deber, en parte, al aporte de raíces de las plantas de estepa que han muerto por las condiciones de competencia originadas por el dosel del bosque y también por la de los propios pinos, que empezaron a crecer de manera significativa.

La dinámica de las raíces de pino, cuyo patrón de crecimiento está relacionado a la distribución de la precipitación efectiva dentro del bosque (Ford, Deans 1978) (ver Capítulo 1), podría determinar una ganancia de materia orgánica edáfica a largo plazo (Buduba *et al.* 2002), una vez establecido un nuevo equilibrio entre los aportes y la descomposición. Este equilibrio dependerá de las condiciones del sitio, pudiendo tardar entre 40 – 60 o más años (Paul *et al.* 2002). A veces, como los cambios son pequeños y el suelo posee gran variabilidad espacial, para poder detectarlos se requiere de un gran número de muestras, de mediciones en parcelas permanentes de largo plazo, de métodos más sofisticados (isótopo  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) y de análisis estadísticos no clásicos (geoestadística) (Torn *et al.* 1997, Jandl 2001, Manfrinato *et al.* 2001, Liski *et al.* 2002, Mendoza-Vega *et al.* 2003). No obstante, según los valores presentados en la Tabla 4.4, se podría afirmar que los niveles de equilibrio alcanzados por la materia orgánica edáfica de la estepa antes de la implantación, se alcanzarían e incluso serían superados, aproximadamente a los 30 – 40 años después de realizada la misma. Sin embargo, no se encontraron relaciones con la edad o con otras variables dasométricas medidas (biomasa, área basal, altura dominante, largo de entrenudos), quizás porque no se pudo considerar las consecuencias que tuvo el uso de la estepa durante los años en que se desarrolló cada rodal muestreado. En referencia a la historia previa del uso de la tierra, Richter *et al.* (1999) explican que la disminución de la materia orgánica a una profundidad de 35 – 60 cm en un bosque de pino de 40 años de edad en un suelo previamente cultivado, se debería a una baja en la tasa de

oxidación del carbono orgánico originado en las raíces de la vegetación existente durante la época de labranza. Este aspecto de uso merecería futuras investigaciones que permitan esclarecer aún más los resultados aquí presentados.

Los árboles, a diferencia de la vegetación herbácea de estepa, no presentarían en forma periódica masivas incorporaciones de materia orgánica al suelo provenientes de la biomasa radical, pues no serían tan dependientes de las variaciones climáticas anuales (precipitación, temperatura, radiación solar y evapotranspiración) (Reeder *et al.* 2001). En cambio para la estepa patagónica Merino (1989) señala que la tasa de renovación de raíces de *Festuca pallescens* es alta. Por otro lado, el crecimiento y muerte de raicillas en el bosque tiene mayor relevancia en los primeros 20 cm del perfil, por lo cual el aporte en profundidad por raíces finas podría ser menos importante, según lo señalado por Hendrick y Pregitzer (1996) en bosques de latifoliadas. Sin embargo, según lo presentado en la Tabla 4.4 por debajo de los 10 cm de profundidad el bosque incorporaría materia orgánica por aporte de su sistema radical, pudiendo darse una incorporación masiva de raíces con la muerte de ejemplares oprimidos en plantaciones no manejadas (competencia), por disturbios (caída por el viento, enfermedad, fuego, etc.) o al momento de realizar alguna intervención (raleo, corta final) que no implique el aprovechamiento del tocón. Al respecto, Etchevers *et al.* (2001) afirman que, la cantidad de materia orgánica almacenada en un suelo agrícola puede ser 50 veces mayor que la producida por la biomasa aérea en un año, mientras que en un bosque, las cantidades en ambos compartimientos son similares.

En general, la biomasa total del sistema radical de los pinos, debido a su mayor densidad y extensión en profundidad, puede ser hasta 3 - 4 veces mayor que la del pastizal (Huber, Trecaman 2000, Reeder *et al.* 2001). En nuestro caso, al comparar la biomasa radical de los 29 rodales de pino estudiados, con los valores mencionados por Loguercio *et al.* (2003) en una estepa herbácea de *Stipa* sp. y en un "peladal" de acaena, ésta fue significativamente mayor en el bosque ( $\bar{x} = 64 \pm 10 \text{ tn ha}^{-1}$ ) que en el "peladal" de acaena ( $11 \text{ tn ha}^{-1}$ ) y que en la estepa herbácea ( $8 \text{ tn ha}^{-1}$ ).

En este sentido, al analizar la abundancia de raíces en base a la descripción de las 58 calicatas (29 lugares) estudiadas, se observaron diferencias significativas a 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad ( $p < 0,05$ ) entre el bosque y la estepa (Tabla 4.5). La mayor biomasa de las raíces de bosque en comparación con la estepa, coincide con lo señalado por otros autores (Jackson *et al.* 1996).

Si comparamos estos resultados (abundancia de raíces) con los de la Tabla 4.2 ( $\text{tn ha}^{-1}$  de materia orgánica), podemos inferir que probablemente las raíces de pino todavía no han podido participar masivamente en la formación de la materia orgánica del suelo, ya sea porque siguen fisiológicamente activas o por su lenta mineralización. En rodales en donde la vegetación herbácea fue eliminada por competencia (Tabla 4.4), este volumen de raíces pareciera tener relación con un aporte diferencial de biomasa en íntimo contacto con la fracción mineral, que aumentó el total de materia orgánica edáfica por debajo de los 30 cm, según lo planteado en la hipótesis de este capítulo. Sin embargo, en dichos lugares los contenidos de materia orgánica de la estepa también aumentaron en profundidad en relación a los sitios presentados en la Tabla 4.3 (rodales con sotobosque). Esta ganancia en el futuro podrá aumentar dependiendo seguramente del tipo de aprovechamiento que tenga cada rodal, pues cualquier intervención puede afectar los aportes y la oxidación de la materia orgánica.

Tabla 4.5. Abundancia de raíces: moda, porcentaje, estadístico de la prueba del signo (M) y valor de p, para los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados, a diferentes profundidades (10, 30, 40, 60 y 90 cm) y considerando todo el perfil. Donde 1 = muy pocas raíces, 2 = pocas raíces, 3 = raíces comunes y 4 = abundantes raíces.

Profundidad (cm)	Moda (%)		n	Signo M	Valor p
	Bosque	Estepa			
10	4 (59 %)	4 (41 %)	29	4	0,1153
30	4 (59 %)	2 (38 %)	29	8,5	0,0002
40	4 (66 %)	2 (38 %)	29	10	<,0001
60	4 (54 %)	2 (43 %)	28	9	<,0001
90	4 (61 %)	2 (50 %)	18	6	0,0018

Al convertir los contenidos de materia orgánica edáfica presentados en la Tabla 4.2 en carbono orgánico se observa que en los primeros 90 cm se almacenan, en promedio,  $151 \pm 7,2 \text{ tn ha}^{-1}$ , independientemente de la vegetación estudiada y sin considerar el horizonte orgánico (Tabla 4.6).

Tabla 4.6. Contenido de carbono orgánico promedio ( $\pm 1$  error estándar) a diferentes profundidades (0 - 10, 10 - 30, 30 - 40, 40 - 60, 60 - 90 cm y de 0 - 90 cm) en los 29 sitios bajo bosque y estepa estudiados.

Profundidad (cm)	Carbono orgánico ( $\text{tn ha}^{-1}$ )			
	Bosque	n	Estepa	n
0 - 10	$22 \pm 1,4$	29	$24 \pm 1,3$	29
10 - 30	$41 \pm 2,6$	29	$42 \pm 2,0$	29
30 - 40	$20 \pm 1,2$	29	$20 \pm 3,7$	29
40 - 60	$38 \pm 2,7$	26	$34 \pm 2,5$	27
60 - 90	$52 \pm 6,0$	22	$45 \pm 4,3$	17
0 - 90	$157 \pm 12,2$	29	$144 \pm 7,8$	29

En suelos con el mismo material originario, Morisada *et al.* (2002) encontraron, en los 100 cm superficiales, valores entre  $53 \pm 29$  y  $127 \pm 36 \text{ tn ha}^{-1}$ , incrementándose el contenido de carbono orgánico con la edad (salvo en los 10 primeros cm) y con la profundidad del suelo. Los mismos autores señalan que la mitad de esos contenidos se encuentra en los 10 cm superficiales. Para la Región Patagónica, Buduba *et al.* (2002) señalan valores de entre 90 y  $100 \text{ tn ha}^{-1}$  en los primeros 30 cm de suelo.

Dado los altos contenidos de carbono orgánico que tienen los suelos derivados de ceniza volcánica, los mismos pueden ser considerados como un importante reservorio de este elemento. En el caso que el uso del suelo se modifique con la implantación de pino ponderosa, hay que adicionar el horizonte orgánico, que en rodales sin intervenir, eleva considerablemente el total de carbono orgánico edáfico, tomando valores entre 0,15 y  $65,8 \text{ tn ha}^{-1}$  según las

características del bosque (ver Figura 3.5, en Capítulo 3). Según Richter *et al.* 1999 el reservorio edáfico de carbono más importante del bosque es el horizonte orgánico. Sin embargo, la hojarasca es una fracción poco perdurable en el suelo, pues su dinámica está vinculada a los cambios de temperatura y humedad provocados por el manejo silvicultural, según lo discutido en el Capítulo 3. El carbono fijado en profundidad, en cambio, es mucho más estable al formar complejos húmicos arcillosos y al estar menos expuesto a los procesos erosivos y a los disturbios como el fuego o el pastoreo, ambos muy frecuentes en la región.

### Modificaciones de la materia orgánica y su relación con la textura del suelo

Las diferencias observadas en el porcentaje de materia orgánica también pueden estar vinculadas a la clase textural del suelo (Banfield *et al.* 2002, Morisada *et al.* 2002, Spaccini *et al.* 2002). Desjardins *et al.* (1994) señalan que ante un cambio de vegetación, la materia orgánica en la parte superior del perfil proveniente de un bosque tropical se asocia a la fracción más arcillosa, mientras que la que se origina en la pastura introducida, se vincula con la fracción más arenosa, siendo esta última fracción granulométrica la que sufre principalmente el reemplazo de los componentes húmicos.

Al estudiar la textura al tacto de las calicatas correspondientes a los lugares con vegetación herbácea viva bajo el bosque, se observó que la misma tiende a ser generalmente arenosa / areno franca. En cambio, la textura de los lugares en donde el bosque no permite el crecimiento de otros vegetales es franca arenosa. Sin embargo, la determinación de la textura en suelos derivados de ceniza volcánica es, según Colmet Dâage *et al.* (1988), “aparente” por la presencia de pseudolimos o pseudoarenas que la hacen más arenosa o finamente grumosa.

Estudiando las 2 parcelas permanentes, se observó que en Ea. El Parque (sin sotobosque), hay una ganancia marcada en la concentración de materia orgánica a favor del bosque, mientras que en Lag. Terraplén (con sotobosque) el cambio es a favor de la estepa (Tabla 4.7).

Tabla 4.7. Porcentaje de materia orgánica promedio ( $\pm 1$  error estándar) y diferencia (bosque – estepa), en Ea. El Parque y Lag. Terraplén (n = 4).

Profundidad (cm)	Ea. El Parque			Lag. Terraplén		
	Materia orgánica (%) Bosque	Materia orgánica (%) Estepa	Diferencia bosque - estepa	Materia orgánica (%) Bosque	Materia orgánica (%) Estepa	Diferencia bosque - estepa
5	21,57 $\pm$ 2,21	10,13 $\pm$ 1,84	11,44	4,11 $\pm$ 0,08	6,14 $\pm$ 0,45	-2,03
10	17,66 $\pm$ 0,20	6,49 $\pm$ 0,91	11,47	5,19 $\pm$ 0,16	6,66 $\pm$ 0,20	-1,47
30	14,36 $\pm$ 0,58	5,95 $\pm$ 1,01	8,40	4,98 $\pm$ 0,12	6,27 $\pm$ 0,16	-1,29
40	11,82 $\pm$ 0,74	6,19 $\pm$ 0,19	5,63	4,74 $\pm$ 0,19	6,22 $\pm$ 0,18	-1,48
60	9,07 $\pm$ 1,12	5,27 $\pm$ 0,13	3,80	4,78 $\pm$ 0,05	6,10 $\pm$ 0,06	-1,32
90	6,05 $\pm$ 0,15	4,59 $\pm$ 0,17	1,46	1,39 $\pm$ 0,29	2,16 $\pm$ 0,25	-0,77

Al analizar las fracciones arena y limo + arcilla, se observó que en Ea. El Parque hay un predominio de partículas finas en comparación con Lag.



Terraplén (Tabla 4.8). La mayor superficie específica podría estar explicando las diferencias en el porcentaje de materia orgánica entre los 2 lugares, según lo presentado en la Tabla 4.7. Es importante señalar que Lag. Terraplén (mayor precipitación), es un lugar más expuesto a los vientos dominantes del Oeste y por eso, el material originario pudo haber tenido más selección, quedando mayor porcentaje de material grueso. En cambio, Ea. El Parque (menor precipitación) está más protegido y la ceniza volcánica fina pudo haberse depositado formando un suelo con mayor superficie específica. Si bien ambos sitios tienen el mismo material originario del suelo, sus diferentes propiedades se explican principalmente por la precipitación (climosecuencia). Dichas características también podrían estar producidas por una selección eólica del material originario (litosecuencia). Esta hipótesis de trabajo, en donde las propiedades de los suelos de ceniza volcánica no sólo dependerían de la precipitación, sino también de la granulometría (influenciada por el transporte, morfometría, etc.), merece ser profundizada, por el novedoso enfoque que podría dar al entendimiento de la génesis de los suelos de la Región Andino Patagónica.

Tabla 4.8. Diferentes fracciones granulométricas (2 - 1, 1 - 0,5, 0,5 - 0,25, 0,25 - 0,09, 0,09 - 0,045 y <0,045) a 5 profundidades (10, 30, 40, 60 y 90 cm) en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.

Diámetro (mm)	2 - 1		1 - 0,5		0,5 - 0,25		0,25 - 0,09		0,09 - 0,045		< 0,045	
Profundidad (cm)	bosque	estepa	bosque	estepa	bosque	estepa	bosque	estepa	bosque	estepa	bosque	estepa
<b>Ea. El Parque</b>												
10	2,61	16,00	16,32	19,48	11,29	13,75	22,53	19,76	19,61	17,55	25,39	11,87
30	12,17	9,26	20,06	18,97	18,21	14,24	20,59	24,89	20,07	19,08	7,81	11,40
40	6,60	11,45	15,92	25,42	17,11	15,14	22,35	22,09	16,05	16,42	19,47	7,50
60	5,12	9,68	25,21	24,73	11,93	14,58	20,04	20,97	19,30	17,67	15,35	9,85
90	3,82	11,09	22,02	19,41	13,36	16,47	18,45	21,24	16,06	20,59	23,69	9,62
<b>Lag. Terraplén</b>												
10	4,75	11,62	13,66	16,40	23,19	21,39	41,48	30,50	11,13	13,93	3,20	5,16
30	8,99	7,47	12,76	14,20	22,10	21,26	40,45	33,95	10,77	15,04	2,76	5,40
40	7,67	8,08	12,49	14,58	21,36	21,97	40,89	34,22	12,62	13,80	3,82	4,95
60	7,91	15,32	14,18	16,91	20,76	25,31	35,19	31,88	14,26	7,73	5,45	2,07
90	10,92	18,86	13,52	19,75	22,44	23,98	37,37	26,71	9,49	6,87	3,47	2,56

### Modificaciones en el material originario del suelo

La capacidad que poseen los suelos derivados de ceniza volcánica para acumular materia orgánica está relacionada con la presencia de arcillas no cristalinas (Torn *et al.* 1997), siendo éstas más abundantes en sitios más húmedos (ver Características generales del área de estudio, en Metodología General). En este sentido, las modificaciones que provocaría un bosque de pino ponderosa podría originar cambios en la meteorización del material originario del suelo, afectando la recirculación del carbono. En nuestro estudio, en sólo 7

lugares de los 29 estudiados a nivel regional, se encontró que la ceniza volcánica tenía diferente grado de alofanización bajo cobertura de bosque y de estepa. En los lugares 245<sup>8</sup>, 259, 276, 279 y 291 (ver Tabla 1, en Metodología General) se observó mayor grado de alofanización dentro del bosque. Sólo en 2 lugares (169 y 297) el cambio fue a favor de la estepa (Tabla 4.9). En los 22 lugares que no mostraron cambios, 4 tenían alófano, 1 imogolita y 17 haloisita (ver Anexo 4).

Las modificaciones encontradas posiblemente se debieron a las condiciones edafológicas climáticas generadas por el pino ponderosa (ver Capítulos 1 y 3). En general, donde se observaron cambios, está involucrada la imogolita, forma intermedia entre el alófano (suelos jóvenes) y la haloisita (suelos maduros), es decir que su presencia corresponde a suelos medianamente meteorizados a expensas del alófano (Besoin 1985). Sin embargo, a pesar que el bosque tiene un efecto “secante” en el suelo (ver Capítulo 3 y Anexo 3), que favorecería la formación de sustancias más cristalinas (menos alofánicas) (Campos Cascaredo *et al.* 2001), en 5 lugares el cambio fue en sentido inverso (más alofanización), no pudiendo relacionarse con los cambios en los contenidos de materia orgánica señalados anteriormente, según lo planteado en la hipótesis de este capítulo.

Tabla 4.9. Grado de alofanización de la ceniza volcánica en base al pH FNa (solución pH 7,6 – 7,8) a los 2 y 60 minutos bajo bosque y estepa, en 6 lugares en donde se observaron cambios en la meteorización del material originario.

Lugar	Edad rodal (años)	Prof. (cm)	Bosque			Estepa		
			pH FNa		Arcilla	pH FNa		Arcilla
			2'	60'		2'	60'	
169	17	30	7,8	9,1	Haloisita	8,2	10,2	imogolita
		60	8,4	10,2	Imogolita	8,3	10,2	imogolita
245*	23	30	9,5	9,8	Alófano	8,5	9,1	haloisita
		60	10,1	10,3	Alófano	9,1	9,5	imogolita
259	12	30	8,4	9,3	imogolita	8,1	8,8	haloisita
		60	8,2	9,4	imogolita	8,1	9,1	haloisita
276	23	30	9,1	9,3	imogolita	8,9	9,3	imogolita
		60	8,7	9,4	imogolita	8,6	8,9	haloisita
279	29	30	9,3	10,0	alófano	8,7	9,9	imogolita
		60	9,3	9,9	alófano	8,6	9,2	imogolita
291	16	30	9,3	10,0	alófano	9,0	9,9	imogolita
		60	9,3	10,1	alófano	9,5	9,9	alófano
297	16	30	8,1	8,6	haloisita	9,1	9,5	imogolita
		60	8,1	8,4	haloisita	9,1	9,6	imogolita

\* Ea. El Parque.

En este sentido, es interesante señalar con respecto a la edad del rodal, que ninguna de las plantaciones más viejas ha mostrado cambios en el grado de alofanización y salvo una, el resto son muy jóvenes o están cerca de la media (21 años). Tampoco se pudo vincular los cambios en la meteorización del

<sup>8</sup> Ea. El Parque.

material originario a ninguna condición particular (topografía, altitud, latitud, precipitación) asociada con la génesis edáfica de estos suelos.

Si en futuros estudios, basados en microscopía electrónica, se confirmara que la vegetación modifica la composición del material originario, se estaría bajo un efecto de suma importancia, no sólo desde el punto de vista de la génesis edáfica de los suelos de ceniza volcánica, sino también por las implicancias que tendría sobre la retención de humedad, disponibilidad de bases, formación de complejos húmicos arcillosos, etc., que afectan la calidad del sitio en relación al crecimiento vegetal.

Las modificaciones observadas en el suelo mineral contradice en parte lo planteado en la hipótesis de este capítulo, pues la materia orgánica tiende a disminuir en superficie (0 – 10 y 10 – 30 cm) con la presencia del bosque hasta tanto los árboles no eliminan por competencia la vegetación de estepa existente. Por otro lado y en concordancia con la misma hipótesis, cuando el dosel del bosque se cierra impidiendo la presencia de la vegetación herbácea, se registra una ganancia de materia orgánica en éste, siendo ésta significativamente mayor de los 60 a los 90 cm de profundidad en relación a la estepa adyacente.

## Discusión y Conclusiones finales

Los ecosistemas naturales de la Patagonia Argentina fueron objeto, al menos desde mediados del siglo XIX, de disturbios de origen antrópico que modificaron de diversas maneras la estructura y funcionamiento de sus comunidades vegetales (Rothkugel 1916, Willis 1988, Veblen, Lorenz 1988, Veblen et al. 1992, Villalba, Veblen 1996, Kitzberger, Veblen 1999). En la Región Andina, en el ecotono estepa / bosque, los cambios fueron muy marcados. Al principio por la presencia indígena, que utilizaba el fuego como herramienta de caza y comunicación (Musters 1991, Cox 1999, Moreno 1999), incidiendo esas quemadas en la dinámica de la vegetación. Más tarde la inmigración de colonos introdujo el ganado doméstico (especialmente ovino) en comunidades vegetales que evolucionaron naturalmente sin grandes concentraciones de herbívoros (Markgraf 1985, Mack, Thompson 1982), iniciando los procesos de deterioro por sobrepastoreo que aún persisten (Oliva 2002). En algunas zonas estos factores provocaron una degradación irreversible en el suelo y la vegetación, mientras que en otras, las alteraciones fueron menos severas, dando lugar a distintos estados y transiciones de la vegetación de carácter más o menos reversible (Bertiller, Defossé 1993, Paruelo, Golluscio 1993).

El deterioro de los pastizales y los consecuentes altibajos en la rentabilidad del monocultivo ovino ocasionó en los últimos años que administradores de recursos e investigadores enfocaran su atención hacia la diversificación de las actividades productivas. Los buenos crecimientos alcanzados por algunas especies forestales exóticas en diferentes parcelas experimentales, aún en suelos con diferentes grados de deterioro, más los incentivos económicos para forestar, motivaron la necesidad de profundizar en el conocimiento de los impactos ecológicos que esta nueva actividad podría ocasionar, a fin de mitigarlos y garantizar la sustentabilidad en el uso de los recursos. Algunos de esos impactos, como la incidencia de las plantaciones en la distribución del agua de lluvia y sus efectos en la reacción del suelo, en la dinámica de la hojarasca y la materia orgánica edáfica, o en la meteorización del material originario del suelo, fueron analizados en esta tesis.

Al alterarse la cobertura vegetal, en nuestro caso con la plantación de pino ponderosa sobre la estepa degradada, se produjeron algunos cambios en el porcentaje de la precipitación interceptada por el dosel, que se disipó antes de llegar al suelo. Esa cantidad de agua evaporada desde la copa de los árboles, sumada a la que es retenida por el horizonte orgánico, podría incidir en la recarga de agua edáfica, influyendo en el crecimiento vegetal por una menor disponibilidad hídrica. En efecto, como se observa en el Anexo 3, durante el otoño – invierno del 2000 (año más seco en relación a las precipitaciones registradas durante el estudio), se observó que el bosque implantado, a diferencia de la estepa adyacente, no alcanzó la capacidad de campo por debajo de los 40 - 60 cm de profundidad. A este efecto habría que sumar la mayor demanda evapotranspirativa del bosque en relación a la estepa, según lo señalado en la bibliografía (Marlats *et al.* 1999, Huber, Trecaman 2000). Los resultados presentados y el análisis realizado con una serie de datos de precipitación de la Ciudad de Esquel (1983 – 2004) enfatizan algunos aspectos de la intercepción de la lluvia que sugieren análisis temporales más detallados para caracterizar procesos bajo clima mediterráneo. Si esta modificación de la dinámica del agua edáfica por implantación de pino ponderosa fuera confirmada por estudios futuros más específicos, podría tener consecuencias no sólo a nivel

de rodal, sino que también podría provocar variaciones en el suministro a los acuíferos y en el caudal de los cursos de agua, similar a lo ocurrido en otros ecosistemas cuando se modificó la cubierta vegetal por la implantación de especies arbóreas (Bosh, von Gadow 1990, Pritchett 1991, Iroume, Huber 2000).

Si en el ecotono estepa / bosque andino patagónico se extendiera la superficie de bosque implantado sin considerar estas alteraciones y sin normas de manejo adecuadas, se podría ocasionar un impacto significativo en la dinámica del agua a nivel regional. Es trascendental remarcar que en su conjunto, el área propuesta para forestar representa un importante porcentaje de la cabecera hidrológica de las escasas cuencas que atraviesan la Patagonia Argentina, permitiendo el desarrollo de diferentes actividades en sus valles aguas abajo (producción bajo riego, agua potable, energía hidroeléctrica, industrias). Estos ríos se proveen de agua en la cordillera, único lugar donde la precipitación es efectiva para la recarga, pues en sus largos recorridos hacia el Atlántico prácticamente no reciben ningún aporte (Ferrari Bono 1990).

En cuanto a la distribución de la precipitación dentro del bosque y sus efectos sobre algunas propiedades del suelo, se encontró que ésta varía no sólo en sus aspectos cuantitativos (en función de la distancia al tronco) sino también en su composición, incidiendo en la reacción del suelo superficial. En coincidencia con lo reportado en otros trabajos (Gersper, Holowaychuk 1971, Hutchinson, Roberts 1981, Huber, Oyarzún 1983, Satake *et al.* 1996, Hanchi, Rapp 1997, Abrahamson *et al.* 1998, Iroume, Huber 2000) en la base del fuste se obtuvo un aporte concentrado de agua con un pH significativamente menor en comparación a la lluvia incidente o directa. Estos resultados permitieron inferir que la cantidad y calidad del agua recibida en el interior del bosque producen cambios en el pH en los primeros 5 cm del suelo mineral, estrechamente relacionados con la distancia al fuste (en nuestro caso, 0, 50 y 100 cm), observándose los menores valores junto a la base del tronco. Este comportamiento contradice lo planteado en la hipótesis del Capítulo 1, pues si bien el flujo de tronco representó un bajo porcentaje de la lluvia incidente, el agua más ácida que infiltró en un volumen reducido de suelo al pie de cada árbol fue de tal magnitud, que su efecto acidificante no pudo ser neutralizado por la abundante cantidad de bases que posee la ceniza volcánica holocénica, material originario de estos suelos (Colmet Dâage 1993, Broquen *et al.* 1995).

La implantación de pino ponderosa también originó cambios en la cantidad y calidad de los aportes orgánicos que provocaron las diferencias observadas en la reacción del suelo entre el bosque y la estepa adyacente a diferentes profundidades (10, 30, 40, y 60 cm). Sin embargo y a pesar del importante aporte de hojarasca realizado por la plantación (17 veces más que la estepa colindante), en la porción más superficial del perfil (5 cm) las diferencias en el pH no fueron significativas ( $p < 0,05$ ). Según la argumentación que sustenta la segunda hipótesis planteada en el Capítulo 2, la causa de este comportamiento podría estar dada por las sucesivas deposiciones en el tiempo de nuevo material originario (Apcarian *et al.* 1993, Valenzuela *et al.* 2002), que generan un enriquecimiento y rejuvenecimiento del suelo por aportes de bases (Broquen *et al.* 1995), no permitiendo su progresiva acidificación como ocurre en otros ecosistemas (Hawke, O' Connor 1993, Rhoades, Binkley 1996, Kaneko, Kofuji 2000). Esta idea, que está fundamentada en la "juventud mineralógica" encontrada entre el material originario en diversos estudios, podría comprobarse con el espesor del horizonte A, que en el bosque implantado presentó un incremento en comparación con el de la estepa adyacente, originado posiblemente por el entrapamiento de partículas que realizó el bosque al moderar la velocidad del viento. El efecto "filtro" que pareciera realizar el bosque implantado

en áreas de pastizales degradados, es una consecuencia que debería ser adecuadamente cuantificada, por su importancia dentro de las posibles medidas a adoptar para revertir los procesos de desertificación. Por otra parte y en el caso del pH edáfico, el material depositado en superficie no parece tener influencia en horizontes más profundos. En éstos, la actividad de las raíces de pino que exploran el perfil y sus aportes cuando se degradan, parecieran ser la principal causante de los cambios registrados en la reacción del suelo entre los 10 y los 60 cm de profundidad. La poca variación en la reacción a lo largo de todo el perfil sería consecuencia del aporte de bases de cambio (especialmente calcio y magnesio) que produciría la meteorización de un material, que por su juventud caracteriza las zonas con vulcanismo activo. No obstante, el ciclado de nutrientes dentro del perfil por acción fisiológica de las plantas (Alban 1982, Jobbágy, Jackson 2001) y el papel que podría tener el horizonte orgánico en el ciclo del nitrógeno, entre otros, deberían ser objeto de estudios más profundos, para determinar con mayor claridad las posibles causas de los resultados aquí presentados.

En este sentido, las modificaciones encontradas (0,1 unidades de pH en promedio) no implicarían, por su magnitud, consecuencias ecológicas inmediatas. Efectivamente en la región no se observan cambios evidentes en otras propiedades edáficas y/o procesos genéticos. Sin embargo, estudios más detallados son necesarios para validar esta afirmación. Este cambio en el pH del suelo se presentó en rodales relativamente jóvenes (21 años de edad en promedio), en los que sus sistemas radicales se encontrarían en pleno desarrollo. Este aspecto debe seguir siendo evaluado en el tiempo (sucesivas rotaciones) para determinar posibles efectos sobre la circulación de nutrientes, la biodiversidad y la génesis edáfica, que seguramente estarán estrechamente vinculados al manejo y aprovechamiento adoptado para cada rodal. De todas maneras, la acidificación es un proceso natural que ocurre en muchos suelos que tienden a la madurez (Mussini *et al.* 1984, Barbour *et al.* 1998), pudiendo ser muy marcado en algunos suelos forestales, que van reduciendo su pH desde etapas sucesionales tempranas hasta llegar al clímax (Chapin *et al.* 1994, Urrego 1997).

Es interesante remarcar que en el análisis realizado sobre las variaciones de algunas propiedades edáficas, la modificación de la vegetación al implantar pino ponderosa implica alterar uno de los 5 principales factores formadores del suelo. En el caso de los suelos estudiados, sus características están asociadas generalmente a otros 2 de estos factores formadores, la interrelación entre el material originario (ceniza volcánica) y la precipitación (grado de alofanización). El no separar estos factores podría explicar los contradictorios resultados encontrados entre nuestro estudio y los presentados por otros autores. En efecto, los trabajos de Broquen *et al.* (1995) y Broquen (2000) no detectaron diferencias significativas en la reacción del suelo y contemplaron las variaciones de pH producidas en conjunto por la vegetación, el material originario y el clima, al estudiar rodales ubicados en el gradiente Oeste / Este. Los 29 lugares estudiados en esta tesis, en cambio, al hallarse bajo un régimen de humedad predominantemente xérico, redujeron considerablemente el efecto producido por la interrelación material originario / clima, siendo ese, quizás, el motivo que explique las diferencias encontradas con la bibliografía citada.

El bosque de pino ponderosa también afectó otras variables (temperatura edáfica y viento), que en conjunto con las previamente examinadas, crearon condiciones micro climáticas vinculadas a la dinámica de la hojarasca y de la materia orgánica del suelo. Ellas, junto al mayor aporte de hojarasca realizado por el bosque, según lo planteado en el Capítulo 3, favorecieron la presencia, en

rodales densos y sin raleo, de un horizonte orgánico con características morfológicas tipo mor, compuesto en un 75 % por acículas. La caída de la hojarasca, al igual que otras variables analizadas anteriormente, tiene un patrón que depende de la distancia al tronco. Esta característica podría afectar la germinación y establecimiento de la futura regeneración natural (Rezzano *et al.* 1997, Raffaele, Schlichter 2000) si se adoptara a ésta como medida de manejo para sucesivas rotaciones en un mismo sitio. Es interesante considerar que en el Hemisferio Norte, el fuego de superficie es un factor importante dentro de la dinámica del bosque natural de pino ponderosa, que con una recurrencia de entre 6 y 20 años, reduce el espesor del horizonte orgánico (Wright, Bailey 1982). En cambio, en las plantaciones de la Patagonia, el fuego se trata de evitar, sin comprender que es parte de la dinámica natural de la especie. Este disturbio, aplicado correctamente como quemas prescriptas, debería ser considerado y utilizado como una herramienta más de manejo (Kunst, Rodríguez 2003). Aún teniendo en cuenta estas consideraciones, en este trabajo y bajo condiciones de estepa, la descomposición de las acículas de pino tuvo el mismo comportamiento que la broza de las plantas herbáceas. Esto estaría indicando que cuando las condiciones originadas por el entorno del bosque se atenúan por un diseño (densidad) o manejo (poda y raleo) adecuado de la plantación, el horizonte orgánico tendería a mineralizarse, observándose en superficie un horizonte con características morfológicas de tipo mull. De todas maneras, la dinámica del fuego en el bosque implantado de pino ponderosa es un tema que debería ser abordado más profundamente, para saber si con su supresión o prescripción, se favorecen o no algunos de los procesos que se presentan naturalmente en su lugar de origen, acompañando el crecimiento y desarrollo de esta especie.

El horizonte orgánico podría ser la principal fuente para que el suelo del bosque acreciente los niveles de materia orgánica y revierta, considerando los valores de la estepa adyacente, la disminución observada en su perfil (Laclau 2002, 2003). Sin embargo y según lo planteado en la hipótesis del Capítulo 4, en los rodales analizados, que se encuentran todos en el primer ciclo productivo, no se detectó una incorporación por descomposición y/o mezcla mecánica en los 10 centímetros superficiales. Si bien esto podría estar vinculado con el entrappe de partículas realizado por los árboles, que ocasionaron mayor espesor del horizonte A en el bosque, varios autores señalan que el sistema radical es la principal fuente de incorporación de materia orgánica al suelo (Fernández, Caldwell 1975, Ares, Peinemann 1992, Reeder *et al.* 2001, Janssens *et al.* 2002). Por otro lado, el aporte de material mineral pareciera ser continuo en el tiempo y a medida que cae traspasaría el horizonte orgánico por gravedad o con el agua de lluvia, pues no se observaron acículas mezcladas con material inorgánico, presentando siempre el horizonte O un límite abrupto con el subyacente mineral. Aunque la broza de la estepa presentó mayor descomposición que la hojarasca de pino bajo cobertura de bosque, el crecimiento de las plantas herbáceas seguramente disminuyó desde la implantación del bosque hasta el cierre del dosel, tal como lo señalan Raffaele y Schlichter (2000). Entonces, el aporte realizado por las plantas herbáceas muertas por competencia, pero principalmente el de las raíces de los pinos que crecen de manera significativa (6 veces más que el pastizal), serían las incorporaciones que determinarían la ganancia de materia orgánica una vez establecido un nuevo equilibrio entre los aportes y la descomposición. En la región estudiada este equilibrio, que permitiría alcanzar e incluso superar los contenidos de materia orgánica de la estepa adyacente, pareciera lograrse en rodales en donde el cierre del dosel no permitiría el desarrollo de la vegetación

herbácea (aproximadamente 30 años), dependiendo de las condiciones de cada sitio. Es decir, dentro de cada rodal, la calidad del aporte de materia orgánica se alteró con el tiempo, porque fueron disminuyendo las herbáceas a medida que se cerró el canopeo y el pino, como se encontraba en pleno crecimiento acumulando biomasa viva lignificada, no realizó aportes significativos en superficie (Paul *et al.* 2003), pero sí en profundidad a través de las raíces (60 – 90 cm). Al desarrollarse el bosque, las condiciones micro ambientales también se modificaron (viento, temperatura, humedad), disminuyendo la tasa de mineralización, tal como lo sugiere el comportamiento disímil que mostró la broza de estepa bajo ambas coberturas, alcanzándose un nuevo equilibrio entre los aportes y la descomposición.

Una de las propiedades edáficas que más influye en el contenido total de materia orgánica es el contenido de arcillas, que según sus características conforman distintos complejos húmico arcillosos (Banfield *et al.* 2002, Morisada *et al.* 2002, Spaccini *et al.* 2002), afectando su recirculación en el tiempo (Torn *et al.* 1997). Si el material originario es ceniza volcánica, pueden formarse complejos muy estables, presentando altos porcentajes en los horizontes superficiales en comparación con otros tipos de suelo (Egawa 1980, Duchaufour 1984, Besoain 1985). Al estudiar la fracción granulométrica en las 2 parcelas permanentes (Ea. El Parque y Lag. Terraplén) se observó que la superficie específica podría estar explicando la concentración de materia orgánica cuando se comparan situaciones de bosque / estepa. En Ea. El Parque, la presencia de material más fino permitiría mayor acumulación que en Lag. Terraplén, en donde el suelo es más arenoso. Basados en esto, se podría afirmar que la hipótesis planteada en el Capítulo 4 no es siempre válida y generalizable, pues se cumpliría sólo en lugares con existencia de material fino, capaz de establecer complejos húmico arcillosos que aumenten la concentración de materia orgánica edáfica. Este punto abriría una nueva visión muy interesante sobre la génesis de los suelos de ceniza volcánica de la Región Andino Patagónica, que hoy está fundamentada en las variaciones de la precipitación (climosecuencia). Sin embargo, la selección producida por el viento, vinculada a la morfometría de cada sitio, podría influir también, de manera de generar una litosecuencia.

Las cualidades del material originario del suelo permiten almacenar altos contenidos de carbono orgánico, independientemente de la vegetación estudiada. Al considerar el suelo como reservorio, dentro de la problemática del efecto invernadero, hay que sumar el carbono correspondiente a la hojarasca. En el caso de los bosques de pino ponderosa estudiados, esta cantidad puede variar según las condiciones de sitio. Este compartimiento debe ser evaluado en el futuro, pues su dinámica está vinculada a condiciones ambientales ya discutidas y que pueden ser modificadas por el manejo y el aprovechamiento del bosque.

Finalmente se estudió, en relación al argumento que sostiene la hipótesis planteada en el último Capítulo, si la presencia del bosque puede modificar la meteorización de la ceniza volcánica. Si bien se registraron algunos cambios, éstos no presentaron, en nuestro análisis, una clara relación causa / efecto. El entorno originado por el bosque, principalmente el efecto “secante”, podría haber provocado alteraciones cuando el suelo contenía imogolita (según Besoain (1985), suelos medianamente meteorizados). Se observó que el bosque favorecería la formación de arcillas menos cristalinas (alófano) a pesar que la bibliografía marca un comportamiento contrario (Besoain 1985, Cascaredo *et al.* 2001). Estos cambios no se pudieron relacionar con ninguna de las variables estudiadas que están asociadas con la génesis edáfica de estos suelos. Si en el futuro se pudiera demostrar que el bosque de pino ponderosa tiene algún efecto



sobre la meteorización del material originario, se estaría bajo una situación de suma importancia por sus implicancias, pues se vería afectada la edafogénesis y la calidad de sitio. Este sería, tal vez, junto a los cambios en la dinámica del agua, uno de los impactos que mayor atención debería prestársele en el marco de la problemática abordada.

En síntesis, el trabajo estudió y cuantificó algunos efectos poco estudiados del pino ponderosa sobre la vegetación de estepa, centrando su atención, en primer lugar, en las modificaciones que esta implantación causa dentro del bosque en la distribución de la precipitación y en el pH del suelo mineral superficial en relación a la distancia al tronco. Luego se determinaron las diferencias, entre el bosque implantado y la estepa contigua, en la reacción del suelo a diferentes profundidades, en los aportes y descomposición de la hojarasca del pino en relación con la broza de la estepa y en el contenido de materia orgánica edáfica en ambos sistemas. Los resultados permitieron llegar a conclusiones que en algunos casos rechazan las hipótesis propuestas, confirman otras y permiten pensar en nuevos interrogantes que, en forma de hipótesis, ayudarán a ir dilucidando algunos de los factores y mecanismos que operan en el cambio de uso del suelo, en nuestro caso, de estepa degradada a plantación de pino ponderosa.

Las modificaciones discutidas, junto a nuevas preguntas que se desprenden de esta tesis (dependencia de los cambios en relación a la edad, al manejo de la plantación y al uso previo del suelo, el rol del horizonte orgánico y del sistema radical en la recirculación de nutrientes a lo largo de las sucesivas rotaciones, la importancia de la selección granulométrica de la ceniza volcánica en las propiedades edáficas del sitio, las variaciones en el grado de alofanización del material originario del suelo por efecto del bosque, entre otras), deberán ser consideradas para evitar efectos ecológicos adversos, en una actividad, la forestal, que se propone como alternativa de desarrollo socio económico de una región cuyas comunidades vegetales se empobrecieron por el mal uso antrópico. El avance en el conocimiento sobre técnicas silviculturales para el manejo de densidades que permitan el crecimiento, mantenimiento y desarrollo de plantas herbáceas, la utilización de especies alternativas que enriquezcan el bosque, el diseño de las plantaciones, las quemas prescriptas, el silvopastoreo, etc. podrían ayudar a minimizar los impactos negativos y potenciar los positivos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abrahamson DA, Dougherty PM, Zarnoch SJ. 1998. Hydrological components of a young loblolly pine plantation on a sandy soil with estimates of water use and loss. *Water Resources Research* 34: 3.503 – 3.513.
- Acosta M, Etchevers JD, Monreal C, Quednow K, Hidalgo C. 2001. Un método para la medición del carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. *Actas Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Valdivia, Chile. 15 p.
- Alban DH. 1982. Effects of nutrient accumulation by aspen, spruce, and pine on soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 853 – 861.
- Ando M, Yokota H, Shibata E. 2003. Bark stripping preference of sika deer, *Cervus nippon*, in terms of bark chemical contents. *Forest Ecology and Management* 177: 323 – 331.
- Andrade G de C, Da Silva HD, Ferreira CA, Bellote AFJ, Moro L. 1995. Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. *Bosque* 16: 47 – 51.
- Amiotti NM, Zalba P, Sánchez LF, Peinemann N. 2000. The impact of single tress on properties of loess-derived grassland soils in Argentina. *Ecology* 81: 3.283 – 3.290.
- Andenmatten E, Gonda HE, Letourneau F, Cortes GO, Bava JO. 2002. Proyección de distribuciones diamétricas en plantaciones de pino ponderosa en la Provincia de Neuquén. Informe final PIA 15/98. SAGPyA. 29 p.
- Apcarian A, Irisarri JA. 1993. Caracterización mineralógica de suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas en las Provincias de Neuquén y Río Negro (R.A.). *Actas II Jornadas Nacionales de Vulcanología, Medio Ambiente y Defensa Civil*. Zapala, Neuquén.
- Apcarian A, Alvarez O, Irisarri JA. 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.). *Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mendoza: 419 – 421.
- Ares J, Beeskow AM, Bertiller M, Rostagno M, Irisarri M, Anchorena J, Defossé GE, Merino C. 1990. Structural and dynamic characteristics of overgrazed lands of northern Patagonia, Argentina. Ed. Breymer A, *Managed Grasslands*. Elsevier, Science Publishers B. V. Amsterdam: 149 – 175.
- Ares A, Peinemann N. 1992. Fine-root distribution of coniferous plantations in relation to site in southern Buenos Aires, Argentina. *Can. J. For. Res.* 22: 1.575 – 1.582.

- Augusto L, Ranger J. 2001. Impact of tree species on soil solutions in acidic conditions. *Ann. For. Sci.* 58: 47 – 58.
- Banfield GE, Bhatti JS, Jiang H, Apps MJ. 2002. Variability in regional scale estimates of carbon stocks in boreal forest ecosystems: results from West-Central Alberta. *Forest Ecology and Management* 169: 15 – 27.
- Baraqueta P, Basagoiti M. 1990. Producción de hojarasca y aporte de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* en el país vasco. *Revista de la Asociación Forestal Argentina* 3: 36 – 46.
- Barbour MG, Burk JH, Pitts WD, Gilliam FS, Schwartz MW. 1998. *Terrestrial plant ecology*. Ed. Benjamin/Cummings. USA. 649 p.
- Barry RG, Chorley RJ. 1972. *Atmósfera, tiempo y clima*. Ediciones Omega S.A. Barcelona. 395 p.
- Barros V, Scian B, Mattio H. 1979. Campos de precipitación de la Provincia de Chubut (período 1931 - 1960). *Geoacta* 10: 175 – 192.
- Bertiller MB, Defossé GE. 1990. Clipping effects upon primary productivity and senescence: study case on *Festuca pallescens* (St. Yves) Parodi in a Patagonian semiarid grassland, Argentina. *Acta Oecologica* 11: 79 – 92.
- Bertiller MB, Defossé GE. 1993. Estepas gramíneas de *Festuca pallescens* en el SW del Chubut. Ed. Paruelo JM, Bertiller MB, Schlichter TM, Coronado FR. *Secuencias de deterioro en distintos ambientes patagónicos. Su caracterización mediante el modelo de estados y transiciones*. INTA - GTZ: 14 – 22.
- Besoain E. 1985. *Mineralogía de arcillas de suelos*. IICA, Serie de libros y materiales educativos, N° 60. San José, Costa Rica. 1.205 p.
- Binkley D, Richter DD. 1987. Nutrient cycles and H<sup>+</sup> budgets of forest ecosystems. *Advances in Ecological Research* 16: 1 – 51.
- Birkeland P. 1998. *Pedology weathering and geomorphological research*. Oxford University Press. New York, USA. 285 p.
- Black CA. 1975. *Relaciones suelo - planta*. Tomo 1. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 444 p.
- Black TA, Harden JW. 1995. Effect of timber on soil carbon storage at Blodgett Experimental Forest, California. *Can. J. For. Res.* 25: 1.385 – 1.396.
- Bosch JM, von Gadow K. 1990. Regulating afforestation for water conservation in South Africa. *South African Forestry Journal* 153: 41 – 54.
- Branson F, Gifford G, Renard K, Hadley R. 1981. *Rangeland hydrology*. Society for Range Management. Kendall / Hunt Publishing Company. USA. 340 p.

- Broadhead JS, Ong CK, Black CR. 2003. Tree phenology and water availability in semi-arid agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 180: 61 – 73.
- Broquen P. 2000. Variación de la reacción en Andisoles con *Pinus ponderosa* Dougl. en relación a la vegetación nativa, S.O. Neuquén Argentina. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Bs. As. Formato digital.
- Broquen P, Girardin J, Frugoni C. 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, Falbo G, Frugoni C, Girardin JL, Guido M, Martinese P. 2000. Estructura y porosidad en Andisoles con vegetación natural y con plantaciones de *Pinus ponderosa* Dougl. en el Sudoeste de Neuquén, Argentina. *Bosque* 21: 25 – 36.
- Buduba CG. 2001. Una expresión muy difundida: "los pinos acidifican y esterilizan el suelo". *Patagonia Forestal* 3: 5 – 6.
- Buduba CG, Hartel M, Contardi L. 2001. Aporte anual de hojarasca en rodales de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws) en el Oeste de Chubut. Actas Primera Reunión Binacional de Ecología (XX Reunión Argentina de Ecología, X Reunión de la Sociedad de Ecología de Chile). S. C. de Bariloche, Río Negro: 67.
- Buduba CG, Loguercio GA, Irisarri JA, Voigt T, Valenzuela MF. 2002. Evaluación preliminar del contenido de carbono edáfico en plantaciones de pino ponderosa en el Oeste del Chubut. Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut. Formato digital.
- Buol S, Hole F, Mc Cracken R. 1991. Génesis y clasificación de suelos. Ed. Trillas. México. 417 p.
- Burgos AL, Lanciotti ML, Bonvissuto GL. 1996. Evaluación del balance hídrico en un mallín precordillerano. Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. La Pampa.
- Cabrera AL. 1976. Las regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura, Jardinería y Horticultura, Tomo I. Ed. ACME. Buenos Aires, Argentina. 85 p.
- Calder IR. 1996 a. Dependence of rainfall interception on drop size: 1. Development of the two-layer stochastic model. *Journal of Hydrology* 185: 363 – 378.
- Calder IR. 1996 b. Rainfall interception and drop size-development and calibration of the two-layer stochastic interception model. *Tree Physiology* 16: 727 – 732.

- Calder IR. 1999. Dependence of rainfall interception on drop size – a reply to the comment by Uijlenhoet and Stricker. *Journal of Hydrology* 217: 164 – 165.
- Calder IR, Hall RL, Rosier PTW, Bastable HG, Prasanna KT. 1996. Dependence of rainfall interception on drop size: 2. Experimental determination of the wetting functions and two-layer stochastic model parameters for five tropical tree species. *Journal of Hydrology* 185: 379 – 388.
- Campos Cascaredo A, Oleschko K, Huerta LC, Etchevers BJD, Hidalgo MC. 2001. Estimación de alófono y su relación con otros parámetros químicos en Andisoles de montaña del Volcán Cofre de Perote. *Terra* 19: 105 – 115.
- Carrere R. 1999. Diez respuestas a diez mentiras. Documento informativo. Campaña plantaciones. Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales. Uruguay. 26 p.
- Cecchi GA, Kröpfl AI, Distel RA, Villasuso NM. 2000. Efecto del canopeo de *Larrea divaricata* en la distribución espacial del agua de lluvia y el contenido de humedad del suelo. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. Formato digital.
- Challinor D. 1968. Alteration of surface soil characteristics by four tree species. *Ecology* 49: 286 – 290.
- Chapin FS, III, Walker LR, Fastie CL, Sharman LC. 1994. Mechanisms of primary succession following deglaciation at Glacier Bay, Alaska. *Ecological Monographs* 64: 149 – 175.
- Chen Q, Sun Y, Shen C, Peng S, Yi W, Li Z, Jiang M. 2002. Organic matter turnover rates and CO<sub>2</sub> flux from organic matter decomposition of mountain soil profiles in the subtropical area, south China. *Catena* 49: 217 – 229.
- Chertov OG, Komarov AS, Bykhovets SS, Kobak KI. 2002. Simulated soil organic matter dynamics in forests of the Leningrad administrative area, northwestern Russia. *Forest Ecology and Management* 169: 29 – 44.
- Ciámpoli MC, Haag A, Buduba CG, Irisarri JA. 2004. Modificación de la infiltración básica por la implantación de pino ponderosa en suelos de estepa patagónica. Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. Formato digital.
- CIEFAP. 2001. Estado actual de los planes de promoción a las forestaciones en la Patagonia. *Patagonia Forestal* 2: 2 - 5.
- Colmet Dâage F. 1993. Principales áreas forestales de Argentina. Productividad elevada y sostenida: dos características favorables en el Cono Sur. *Suelos Forestales* 10: 257 – 269.

- Colmet Dâage F, Besoain E, Shenkel G, Sepulveda G, Laugenie G, Gautheyrou J, Gautheyrou M, Fusil G, Sieffermann G, Delaune M, Trichet M, Kimpe C, Yoshinaga N. 1978. Caracteristiques et propietes hydriques de quelques sols derives de cendres volcaniques du Chili Central. Publication ORSTOM – Antilles N° 85/3. 120 p.
- Colmet Dâage F, Marcolin A, López C, Lanciotti M, Ayesa J, Bran D, Andenmatten E, Broquen P, Girardin J, Cortés G, Irisarri J, Besoain E, Sadzawka A, Sepúlveda G, Massaro S, Millot G, Bouleau P. 1988. Características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la cordillera y precordillera del Norte de la Patagonia. Bariloche. Convenio INTA – ORSTOM. S. C. de Bariloche, Río Negro. 167 p.
- Couturier DE, Ripley EA. 1973. Rainfall interception in mixed grass prairie. Canadian Journal of Plant Science 53: 659 - 663.
- Covarrubias R, Toro H, Villaseñor R, Chiapa E, Mellado I. 1994. Caída de materiales desde la copa de *Prosopis tamarugo* Phil. en la Pampa de Tamarugal. I Región, Chile. Bosque 15: 39 – 49.
- Cox GE. 1999. Viaje en las rejiones septentrionales de la Patagonia (1862 – 1863). Ed. El Elefante Blanco. Buenos Aires, Argentina. 293 p.
- Cozzo D, de Riveros M. 1969. Registro de la caída de materia orgánica y elementos minerales en una plantación de ocho años de *Eucalyptus camaldulensis*. Actas I Congreso Forestal Argentino. Bs. As.: 590 - 598.
- Crockford RH, Johnson ME. 1983. Some errors in the measurement of precipitation, throughfall and stemflow and the implications for estimation of interception. Hydrology and Water Resources Symposium, Hobart, Tasmania. Conference Publication No. 86/13. Institute of Engineers: Australia: 236 - 242.
- Crockford RH, Richardson DP. 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. Hydrol. Process. 14: 2.903 – 2.920.
- Cuenya P, Aceñolaza P, Gallardo Lancho J. 1996. Estudio de cambios físico – químicos producidos en el suelo durante el proceso de reconstrucción de un ecosistema forestal. Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. La Pampa: 253 - 254.
- Daniel TW, Helms JA, Backer FS. 1982. Principios de silvicultura. Libros McGraw-Hill. México. 492 p.
- Davies BE. 1974. Loss-on ignition as an estimate of soil organic matter. Soil Science Proceedings 38: 150.
- Davis MR. 1995. Influence of radiata pine seedlings on chemical properties of some New Zealand montane grassland soils. Plant and Soil 176: 255 – 262.

- Davis M, Lang M. 1991. Increased nutrient availability in topsoils under conifers in the south island high country. *New Zealand Journal of Forestry Science* 21: 165 – 179.
- Defossé GE. 1995. Germination, emergence, and survival of *Festuca* spp. seedling in a steppe of Patagonia, Argentina. Ed. UMI. USA. 113 p.
- Defossé GE, Bertiller M, Ares J. 1990. Above-ground phytomass dynamics in a grassland steppe of Patagonia, Argentina. *J. Range Manage.* 43: 157 – 160.
- Desjardins T, Andreux F, Volkoff B, Cerri CC. 1994. Organic carbon and <sup>13</sup>C contents in soils and soil size-fractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. *Geoderma* 61: 103 – 118.
- Díaz A. 1997. *Forestar en Patagonia*. CIEFAP, GTZ, INTA. Esquel, Chubut. 14 p.
- Donoso C. 1992. *Ecología forestal. El bosque y su medio ambiente*. Editorial Universitaria. Universidad Austral de Chile, Santiago de Chile. 369 p.
- Dubroeuq D, Geissert D, Barois I, Ledru M. 2002. Biological and mineralogical features of Andisol in the Mexican volcanic higlands. *Catena* 49: 183 – 202.
- Duchaufour P. 1984. *Edafología. Edafogénesis y clasificación*. Ed. Masson S.A. España. 493 p.
- Dunkerley D. 2000. Measuring interception loss and canopy storage in dryland vegetation: a brief review and evaluation of available research strategies. *Hydrol. Process.* 14: 669 – 678.
- Edmonds RL, Erickson HE. 1994. Influence of Mount St. Helens ash on litter decomposition. I. Pacific silver fir needle decomposition in the ash-fall zone. *Can. J. For. Res.* 24: 826 – 831.
- Egawa T. 1980. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. En *Suelos derivados de cenizas volcánicas en Japón*. Ed. Ishizuka Y, Black CA: 14 - 67.
- Etchevers JD, Acosta M, Monreal C, Quednow K, Jiménez L. 2001. Los stocks de carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea y subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México. *Actas Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Valdivia, Chile. 19 p.
- FAO. 1987. *Efectos ecológicos de los eucaliptos*. Cuaderno Técnico N° 59. 106 p.
- FAO. 2001. *Lecture notes on the major soils of the world*. World Soil Resources Report. N° 94. Roma, Italia. Formato digital.

- Fassbender H. 1987. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 475 p.
- Fernández O, Caldwell N. 1975. Phenology and dynamics of the root growth of three semi desert shrubs under field conditions. *J. Ecol.* 63: 703 – 714.
- Fernández R. 1987. Influencia del sistema desmonte – reforestación con *Pinus* spp. sobre algunas características químicas del suelo. *Ciencia del Suelo* 5: 123 – 129.
- Ferrari Bono BV. 1990. La potencialidad del agua. Recursos hídricos continentales de la Patagonia Argentina. *Ciencia Hoy* 2: 55 – 67.
- Ferrer JA, Irisarri JA, Mendía JM. 1991. Estudio regional de suelos de la Provincia del Neuquén. Volumen 1, Tomo 2, 3, CFI – COPADE. Bs. As. 244 p.
- Fieldes B, Perrot K. 1966. The nature of allophane in soils. Part 3 – Rapid field and laboratory test for allophane. *New Zealand Journal of Science* 9: 623 – 629.
- Follet RF. 2001. Organic carbon pools in grazing land soils. Ed. Follett RF, Kimble JM, Lal R. The potential of U.S. grazing lands to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Lewis Publishers, U.S.A.: 65 - 86.
- Ford E, Deans J. 1978. The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young sitka spruce plantation. *Journal of Applied Ecology* 15: 905 – 917.
- Foth HD. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. Ed. Continental S.A. México. 433 p.
- Frangi J, Barrera M, Richter L. 1995. Estructura de la biomasa y dinámica de la materia seca en bosques de *Nothofagus pumilio* en distintas fases de desarrollo y sobre un gradiente altitudinal en Tierra del Fuego. Actas IV Jornadas Forestales Patagónicas. San Martín de los Andes, Neuquén: 747 - 748.
- Fyles JW, Côté B. 1994. Forest floor and soil nutrient status under Norway spruce and red pine in a plantation in southern Quebec. *Canadian Journal of Soil Science* 74: 387 – 392.
- Gersper P, Holowaychuk N. 1970 a. Effects of stemflow water on a Miami soil under a beech tree: I. Morphological and physical properties. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*: 779 – 786.
- Gersper P, Holowaychuk N. 1970 b. Effects of stemflow water on a Miami soil under a beech tree: II. Chemical properties. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*: 786 – 794.
- Gersper P, Holowaychuk N. 1971. Some effects of stemflow from forest canopy trees on chemical properties of soil. *Ecology* 52: 693 - 702.



- Girisha GK, Condrón LM, Clinton PW, Davis MR. 2003. Decomposition and nutrient dynamics of green and freshly fallen radiata pine (*Pinus radiata*) needles. *Forest Ecology and Management* 179: 169 – 181.
- Gobbi ME, Mazzarino MJ, Ferrari J. 2002. Efecto de plantaciones de coníferas sobre la fertilidad del suelo en la Región Andino Patagónica. *Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Pto. Madryn, Chubut. Formato digital.
- Golluscio R, Mercau J. 1994. Cambios en la biodiversidad ante distintos grados de desertificación provocada por el pastoreo. *Actas Taller Internacional sobre Recursos Fitogenéticos, Desertificación y Uso Sustentable*. Ed. Montes L, Oliva G. Centro Regional Patagonia Sur, INTA. Río Gallegos, Santa Cruz: 60 – 71.
- Gonda HE, Cortés GO. 2001. Ecuaciones para el manejo de las plantaciones de pino ponderosa en Neuquén. *Publicación técnica N° 30*. CIEFAP. Esquel, Chubut. 24 p.
- Gonda HE, Maguire DA, Cortés GO, Tesch SD. 2004. Stand-level height-diameter equations for young ponderosa pine plantations in Neuquén, Patagonia, Argentina: A comparison with equations developed in the Western United States. *Western Journal of Applied Forestry*. En prensa.
- Hall RL, Calder IR, Gunawardena NER, Rosier PTW. 1996. Dependence of rainfall interception on drop size: 3. Implementation and comparative performance of the stochastic model using data from a tropical site in Sri Lanka. *Journal of Hydrology* 185: 389 – 407.
- Hanchi A, Rapp M. 1997. Stemflow determination in forest stands. *Forest Ecology and Management* 97: 231 – 235.
- Hawke M, O' Connor M. 1993. Soil pH and nutrient levels at Tikitere agroforestry research area. *New Zealand Journal of Forestry Science* 23: 40 - 48.
- Hendrick RL, Pregitzer KS. 1996. Temporal and depth-related patterns of fine root dynamics in northern hardwood forests. *Journal of Ecology* 84: 167 – 176.
- Hofstede R, Lips J, Jongsma W, Sevink J. 1998. Geografía, ecología y forestación de la Sierra Alta del Ecuador. *Revisión de literatura*. Editorial Abya Yala, Ecuador. 242 p.
- Huber A. 1991. Modificación del balance hídrico por cambios en la cubierta vegetal. *Actas II Congreso Internacional de Gestión en Recursos Naturales*. Valdivia, Chile: 43.
- Huber A, Oyarzún C. 1983. Producción de hojarasca y sus relaciones con factores meteorológicos en un bosque de *Pinus radiata* (D. Don.). *Bosque* 5: 1 – 11.
- Huber A, Oyarzún C. 1984. Factores reguladores de la interceptación en un bosque adulto de *Pinus radiata* (D. Don.). *Bosque* 5: 59 – 64.

- Huber A, Oyarzún C, Ellies A. 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera. II: Humedad del suelo y evapotranspiración. *Bosque* 6: 74 – 82.
- Huber A, Schlatter J, Oyarzun C. 1986. Aporte en elementos nutritivos por la hojarasca de un bosque adulto de *Pinus radiata*. *Bosque* 7: 59 – 64.
- Huber A, López D. 1993. Cambios en el balance hídrico provocados por tala rasa de un rodal adulto de *Pinus radiata* (D. Don), Valdivia, Chile. *Bosque* 14: 11 – 18.
- Huber A, Trecaman R. 2000. Efecto de una plantación de *Pinus radiata* en la distribución espacial del contenido de agua del suelo. *Bosque* 2: 37 – 44.
- Hughes J, Fahey T. 1994. Litterfall dynamics and ecosystem recovery during forest development. *Forest Ecology and Management* 63: 181 - 198.
- Hutchinson I, Roberts M. 1981. Vertical variation in stemflow generation. *Journal of Applied Ecology* 18: 521 – 527.
- IPCC. 1995. Climate change: The science of climate change. Economic and social dimensions of climate change. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses. Contribution of working group I, II and III to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press. USA. 879 p.
- Irisarri JA. 2000. La propuesta de reclasificación de los Andeps de Argentina de acuerdo al Orden Andisoles. Workshop Soil Taxonomy. INTA, AICET, AACs: 18 – 27.
- Irisarri JA, Mendía JM, Roca C, Buduba CG, Valenzuela MF, Epele F, Fraseto F, Ostertag G, Bobadilla S, Andenmatten E. 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, Mendía JM. 1997. Relaciones suelo - paisaje en la evaluación de la potencialidad forestal de la región central andino - patagónica, Argentina. *Bosque* 18: 21 – 30.
- Iroume A, Huber A. 2000. Intercepción de las lluvias por la cubierta de bosques y efecto en los caudales de crecida en una cuenca experimental en Malalcahuello, IX Región, Chile. *Bosque* 21: 45 – 56.
- Jackson RB, Canadell J, Ehleringer JR, Mooney HA, Sala OE, Schulze ED. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 108: 389 – 411.
- Jackson RB, Mooney HA, Schulze ED. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Ecology* 94: 7.362 – 7.366.

- Jandl R. 2001. Medición de tendencias en el tiempo del almacenamiento de carbono del suelo. Actas Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 12 p.
- Janssens IA, Sampson DA, Curiel-Yuste J, Carrara A, Ceulemans R. 2002. The carbon cost of fine root turnover in a Scots pine forest. *Forest Ecology and Management* 168: 231 – 240.
- Jenny H. 1961. Derivation of state factor equations of soil and ecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25: 385 – 388.
- Jobbágy EG, Jackson RB. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* 10: 423 – 436.
- Jobbágy EG, Jackson RB. 2001. The distribution of soil nutrients with depth: Global patterns and the imprint of plants. *Biogeochemistry* 53: 51 – 77.
- Jobbágy EG, Jackson RB. 2003. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. *Biogeochemistry* 64: 205 – 229.
- Jobbágy EG, Jackson RB. 2004. The uplift of soil nutrients by plants: biogeochemical consequences across scales. *Ecology* 85: 2.380 – 2.389.
- Johansson MB. 1994. Decomposition rates of Scots pine needle litter related to site properties, litter quality, and climate. *Can. J. For. Res* 24: 1.771 – 1.781.
- Johnson D. 1993. Carbon in forest soils – Research needs. *New Zealand Journal of Forestry Science* 23: 354 – 366.
- Joslin JD, Henderson GS. 1987. Organic matter and nutrients associated with fine root turnover in a white oak stand. *Forest Science* 33: 330 – 346.
- Kaneko N, Kofuji R. 2000. Effects of soil pH gradient caused by stemflow acidification on soil microarthropod community structure in a Japanese red cedar plantation: an evaluation of ecological risk on decomposition. *Journal of Forest Research* 5: 157 – 162.
- Kelliher FM, Leuning R, Schulze ED. 1993. Evaporation and canopy characteristics of coniferous forests and grasslands. *Oecologia* 95: 153 – 163.
- Kimmins JP. 1997. *Forest ecology. A foundation for sustainable management.* Prentice-Hall, Inc. U.S.A. 596 p.
- Kitzberger T, Veblen TT. 1999. Fire-induced changes in northern Patagonian landscapes. *Landscape Ecology* 14: 1 – 15.

- Klaassen W, Lankreijer HJM, Veen AWL. 1996. Rainfall interception near a forest edge. *Journal of Hydrology* 185: 349 – 361.
- Klaassen W, Bosveld F, Water E. 1998. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *Journal of Hidrology* 212-213: 36 – 50.
- Klemmedson J, Meier C, Campbell R. 1990. Litter fall transfers of dry matter and nutrients in ponderosa pine stands. *Can. J. For. Res.* 20: 1.105 – 1.115.
- Koide RY, Shumway DL. 2000. On variation in forest floor thickness across four red pine plantations in Pennsylvania, USA. *Plant and Soil* 219: 57 – 69.
- Kourtev PS, Ehrenfeld JG, Huang WZ. 2002. Enzyme activities during litter decomposition of two exotic and two native plant species in hardwood forests of New Jersey. *Soil Biology & Biochemistry* 34 : 1.207 – 1.218.
- Kourtev PS, Ehrenfeld JG, Häggblom M. 2003. Experimental analysis of the effect of exotic and native plant species on the structure and function of soil microbial communities. *Soil Biology & Biochemistry* 35: 895 – 905.
- Kunst CR, Rodriguez N. 2003. Fuego prescripto. Ed. Kunst CR, Bravo S, Panigatti JL. *Fuego en los ecosistemas argentinos*. INTA. Santiago del Estero, Argentina: 199 – 215.
- Kurka AM, Starr M. 1997. Relationship between decomposition of cellulose in the soil and tree stand characteristics in natural boreal forests. *Plant and Soil* 197: 167 – 175.
- Laclau P. 2002. La forestación en la Patagonia y el cambio climático. INTA EEA Bariloche – GTZ. 55 p.
- 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.
- Lal R. 2001. Soil erosion and carbon dynamics on grazing land. Ed. Follett RF, Kimble JM, Lal R. *The potential of U.S. grazing lands to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect*. Lewis Publishers, U.S.A.: 231 - 247.
- Laya HA. 1969. Cartografía de los principales grupos de suelos y sus relaciones genéticas en la región de Trevelin (Chubut). *Actas V Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo*. Santa Fe: 359 – 371.
- Lee R. 1980. *Forest hidrology*. Columbia University, New York, USA. 349 p.
- Liski J. 2001. Temperature and summer drought - climatic controls of litter decomposition in temperate and boreal forests. COST E21 Workshop. Liège, Bélgica. 13 p.
- Liski J, Perruchoud D, Karjalainen T. 2002. Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe. *Forest Ecology and Management* 169: 159 – 175.

- Llorens P, Poch R, Latron J, Gallart F. 1997. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of Hydrology* 199: 331 – 345.
- Loguercio GA, Gayoso J, Guerra J, Antequera S. Funciones regionales de biomasa de pino ponderosa en Argentina y Chile. Manuscrito en preparación.
- Loguercio GA, Lencinas JD, Antequera S, Martinez D, Defossé GE, Manfredi R, Guitart E, Fertig M. 2003. Evaluación de las posibilidades de proyectos de forestación como Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto en campos ganaderos de la Patagonia. Informe Técnico Proyecto PAN – GTZ. 31 p.
- López C. 1996. La carta de suelos en apoyo a la evaluación del potencial forestal de las tierras de la Región Andina Patagónica Norte. Suelos. Utilización de la cartografía para el uso sustentable de las tierras. Ed. Moscatelli, Panigatti, Di Giacomo. Programa Nacional Suelos. Subprograma Reconocimiento de Suelos. INTA – SAGPyA: 78 – 91.
- López C, Colmet Dâage F, Planas H. 1992. Características de los suelos de origen volcánico en la cordillera andino patagónica latitud 43° 30' S - Argentina - Chile. Actas V Jornadas Regionales de Suelos de la Patagonia. Pto. Madryn, Chubut.
- Lovett GM, Nolan SS, Driscoll CT, Fahey TJ. 1996. Factors regulating throughfall flux in a New Hampshire forested landscape. *Can. J. For. Res.* 26: 2.134 – 2.144.
- Mack R, Thompson J. 1982. Evolution in steppe with few, large, hoofed mammals. *The American Naturalist* 119: 757 - 773.
- Madigan MT, Martinko JM, Parker J. 2000. Brock. *Biología de los microorganismos*. Prentice Hall Iberia. Madrid, España. 1.064 p.
- Manfrinato W, de Cássia Piccolo M, Cerri CC, Bermoux M, Pellegrino Cerri CE. 2001. Medición de la variabilidad espacial y temporal del carbono del suelo con el uso de los isótopos estables, en una transición bosque-pradera en el Estado del Paraná, Brasil. Actas Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 17 p.
- Mapa RB. 1995. Effect of reforestation using *Tectona grandis* on infiltration and soil water retention. *Forest Ecology and Management* 77: 119 – 125.
- Markgraf V. 1985. Late Pleistocene faunal extinctions in southern Patagonia. *Science* 228: 1.110 – 1.112.

- Marlats RM, Lanfranco JW, Baridón E. 1999. Distribución de la humedad edáfica en sistemas silvopastoriles con diferentes densidades arbóreas y una pradera testigo. *Quebracho* 7: 43 – 51.
- Marx DH. 1991. Mycorrhizae in interactions with other microorganisms. B. *Ectomycorrhizae*. Ed. Schenck NC. *Methods and principles of mycorrhizal research*. The American Phytopathological Society Press. USA: 225 – 228.
- Mazzarino MJ. 2002. Circulación de nutrientes en ecosistemas naturales: conservación en la vegetación y dinámica en el suelo. *Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Pto. Madryn, Chubut. Formato digital.
- Mazzarino MJ, Bertiller M, Schlichter T, Gobbi M. 1998. Nutrient cycling in Patagonian ecosystems. *Ecología Austral* 8: 167 – 181.
- McTiernan KB, Coûteaux MM, Berg B, Berg MP, Calvo de Anta R, Gallardo A, Kratz W, Piussi P, Remacle J, Virzo De Santo A. 2003. Changes in chemical composition of *Pinus sylvestris* needle litter during decomposition along a European coniferous forest climatic transect. *Soil Biology & Biochemistry* 35: 801 – 812.
- Mendía JM, Irisarri JA. 1986. Relevamiento de suelos con aptitud forestal en la región occidental de la Provincia de Río Negro. CFI. Bs. As. Tomo 1 y 2.
- Mendoza-Vega J, Karlton E, Olsson M. 2003. Estimations of amounts of soil organic carbon and fine root carbon in land use and land cover classes, and soil types of Chiapas highlands, Mexico. *Forest Ecology and Management* 177: 191 – 206.
- Merino CA. 1989. Crecimiento radical de coirón blanco en condiciones de campo. *Studia Oecologica* VI: 69 – 78.
- Montagnini F, Sancho F. 1990. Influencia de seis especies de árboles nativos sobre la fertilidad del suelo en una plantación experimental en la llanura del Atlántico de Costa Rica. *Yvyrareta* 1: 29 - 49.
- Mooney HA. 1978. The carbon balance of plants. *Ann. Rev. of Ecology and Syst.* 53: 315 – 356.
- Mora ML, Canales J. 1995. Interactions of humic substances with allophanic compounds. *Soil Sci. Plant Anal.* 26: 2.805 – 2.817.
- Moreno FP. 1999. *Viaje a la Patagonia austral*. Ed. El Elefante Blanco. 2 reimpresión. Buenos Aires, Argentina. 477 p.
- Moreno JL. 1996. *La materia orgánica en los agrosistemas*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación – Ediciones Mundi - Prensa. Madrid. 174 p.

- Morisada K, Imaya A, Ono K. 2002. Temporal changes in organic carbon of soils developed on volcanic andesitic deposits in Japan. *Forest Ecology and Management* 171: 113 – 120.
- Morrison A, Foster N, Hazlett W. 1993. Carbon reserves, carbon cycling, and harvesting effects in three mature forest types in Canada. *New Zealand Journal of Forestry Science* 23: 403 - 412.
- Morrison IK. 1991. Addition of organic matter and elements to the forest floor of an old-growth *Acer saccharum* forest in the annual litter fall. *Can. J. For. Res.*: 462 – 468.
- Mussini E, Crespo G, Bianco H. 1984. Evolución de la materia orgánica de la Provincia del Neuquén. *Ciencia del Suelo* 2: 53 – 60.
- Musters GC. 1991. Vida entre los patagones. Un año de excursiones por tierras no frecuentadas, desde el Estrecho de Magallanes hasta el Río Negro. Ediciones Solar. 2 reimpresión. Buenos Aires, Argentina. 431 p.
- Neary AJ, Gizyn WI. 1994. Throughfall and stemflow chemistry under deciduous and coniferous forest canopies in south – central Ontario. *Can. J. For. Res.* 24: 1.089 – 1.100.
- Nguyen VD, Valenta P. 1987. Electrometric determination of the pH of atmospheric precipitation. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 327: 253 – 260.
- Nizeyimana E. 1997. A toposequence of soils derived from volcanic materials in Rwanda: morphological, chemical, and physical properties. *Soil Science* 162: 350 – 360.
- Noble AD, Little IP, Randall PJ. 1999. The influence of *Pinus radiata*, *Quercus suber*, and improved pasture on soil chemical properties. *Aust. J. Soil Res.* 37: 509 – 526.
- Nykvist N, Skjellberg U. 1989. The spatial variation of pH in the mor layer of some coniferous forest stands in northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 4: 3 – 11.
- Ohno Y, Ishida A. 1997. Differences in bird species diversities between a natural mixed forest and coniferous plantation. *J. For. Res.* 2: 153 – 158.
- Oliva G. 2002. La desertificación y el futuro de los pastizales patagónicos. Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Pto. Madryn, Chubut. Formato digital.
- Ottone JR. 1997. Los ciclos de producción de semillas de *Pinus ponderosa* originados por factores propios y por los del medio. Actas II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Posadas, Misiones.
- Ortiz E. 1976. Materia orgánica y nitrógeno en suelos de Patagonia. *IDIA Suplemento* 33: 79 – 83.

- Ovington JD. 1953. Studies of the development of woodland conditions under different trees. *Journal of Ecology* 41: 13 – 34.
- Oyarzún CE, Huber AW, Vásquez SG. 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata*. I: Redistribución de las precipitaciones. *Bosque* 6: 3 – 14.
- Pallant E, Riha S. 1990. Surface soil acidification under red pine and norway spruce. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1.124 – 1.130.
- Panno M, Bazan E, Petronici C. 1986. La materia orgánica de los suelos. Composición acídica de “lípidos” en suelos de bosque. *Ciencia del Suelo* 2: 155 – 159.
- Parfitt RL, Percival HJ, Dahlgren RA, Hill LF. 1997. Soil and solution chemistry under pasture and radiata pine in New Zealand. *Plant and Soil* 191: 279 – 290.
- Paruelo JM, Golluscio RA. 1993. Estepas gramíneo – arbustivas del NW del Chubut. Ed. Paruelo JM, Bertiller MB, Schlichter TM, Coronado FR. *Secuencias de deterioro en distintos ambientes patagónicos. Su caracterización mediante el modelo de estados y transiciones. INTA - GTZ: 5 – 13.*
- Paul EA, Clark FE. 1996. *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, Inc. USA. 340 p.
- Paul KI, Polglase PJ, Nyakuengama JG, Khanna PK. 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management* 168: 241 – 257.
- Paul KI, Polglase PJ, Richards JP. 2003. Predicted change in soil carbon following afforestation or reforestation, and analysis of controlling factors by linking a C accounting model (CAMFor) to models of forest growth (3PG), litter decomposition (GENDEC) and soil C turnover (RothC). *Forest Ecology and Management* 177: 485 – 501.
- Pereyra JA, Abadie CA. 1966. *Las lluvias en el Oeste del Chubut*. INTA, Centro Regional Patagónico. 67 p.
- Pérez Harguindeguy N, Díaz S, Cornelissen JHC, Cabido M. 1997. Comparación experimental de la tasa de descomposición foliar de especies vegetales del Centro - Oeste de Argentina. *Ecología Austral* 7: 87 – 94.
- Placci G, Arditi S, Ciotek L. 1994. Productividad de hojas, flores y frutos en el Parque Nacional Iguazú. *Yvyrareta* 5: 49 – 56.
- Porta CJ, López-Acevedo RM, Roquero de Laburu C. 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi-Prensa. España. 849 p.
- Pritchett W. 1991. *Suelos Forestales*. Ed. Limusa. México. 634 p.



- Raffaele E, Schlichter T. 2000. Efectos de las plantaciones de pino ponderosa sobre la heterogeneidad de micrositios en estepas del Noroeste patagónico. *Ecología Austral* 10: 151 – 158.
- Raich JW, Tufekcioglu A. 2000. Vegetation and soil respiration: correlations and controls. *Biogeochemistry* 48: 71 – 90.
- Reeder JD, Franks CD, Milchunas DG. 2001. Root biomass and microbial processes. Ed. Follett RF, Kimble JM, Lal R. *The potential of U.S. grazing lands to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect*. Lewis Publishers, U.S.A.: 139 - 166.
- Rezzano C, Borodowski E, Torres A, Benítez R. 1997. Patrón estacional de la caída de acículas y semillas en poblaciones de *Pinus elliotti* Engelm. y su efecto sobre el proceso de regeneración natural. *Actas II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*. Posadas, Misiones.
- Rhoades C, Binkley D. 1996. Factors influencing decline in soil pH in Hawaiian *Eucalytus* and *Albizia* plantations. *Forests Ecology and Management* 80: 47 – 56.
- Richter DD, Markewitz D, Wells CG, Allen HL, April R, Heine PR, Urrego B. 1994. Soil chemical change during three decades in an old-field loblolly pine (*Pinus taeda* L.) ecosystem. *Ecology* 75: 1.463 – 1.473.
- Richter DD, Markewitz D. 1995. How deep is soil?. *BioScience* 45: 600 – 609.
- Richter DD, Markewitz D, Trumbore SE, Wells CG. 1999. Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest. *Nature* 400: 56 – 58.
- Riha SJ, James BR, Senesac GP, Pallant E. 1986. Spatial variability of soil and organic matter in forest plantations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1.347 – 1.352.
- Riveros M, Alberdi M. 1978. Acumulación de hojarasca en un bosque de olivillo (*Aextoxicon punctatum* R. et Pav.) del Fundo San Martín Valdivia – Chile. *Bosque* 2: 72 – 82.
- Roberts JR, Pitman M, Wallace JS. 1982. A comparison of evaporation from stands of scots pine and corsican pine in Thetford chase, East Anglia. *Journal of Applied Ecology* 19: 859 – 872.
- Rothkugel M. 1916. *Los Bosques Patagónicos*. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Agricultura y Defensa Agrícola. Oficina de Bosques y Yerbales. Primera edición. Buenos Aires, Argentina. 207 p.
- Santa RI, Gallardo JF, San Miguel C, Moyano A. 1989. Intercepción, pluviolavado y escorrentía cortical en una plantación de *Pinus sylvestris* de la Cuenca de Candelario (Centro – Oeste de España). *Bosques* 10: 19 – 27.
- SAS Institute Inc. 1999. *Software Version 8 (TS M0)*. Cary, NC, USA.

- Satake K, Nakaya K, Takamatsu T. 1996. pH distribution in radial sections of the stem and root of *Cryptomeria japonica*. Can. J. For. Res. 26: 503 - 507.
- Scheffer F, Schachtschabel P. 1992. Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart, Alemania. 491 p.
- Schellekens J, Scatena FN, Bruijnzeel LA, Wickel AJ. 1999. Modelling rainfall interception by a lowland tropical rain forest in northeastern Puerto Rico. Journal of Hydrology 225: 168 – 184.
- Schlatter J. 1977. La relación entre suelo y plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile central, análisis de la situación actual y planteamientos para su futuro manejo. Bosque 2: 12 – 31.
- Schlatter J, Otero L. 1995. Efecto de *Pinus radiata* sobre las características químico – nutritivas del suelo mineral superficial. Bosque 16: 29 - 46.
- Schlichter T, Laclau P. 1998. Ecotono estepa – bosque y plantaciones forestales en la Patagonia. Ecología Austral. Ecosistemas Patagónicos 8: 285 – 296.
- Schoeneberger PJ, Wysocki DA, Benham EC, Broderson WD. 2000. Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos. INTA. Área de Cartografía de Suelos y Evaluación de Tierras. Argentina. 159 p.
- Servicio Meteorológico Nacional. 1986. Estadísticas meteorológicas 1971 – 1980. Estadística N° 36. Buenos Aires, Argentina. 169 p.
- Severson RC, Arneman HF. 1973. Soil characteristics of the forest-prairie ecotono in northwestern Minnesota. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37: 593 – 599.
- Shoji S, Fujiwara Y, Yamada I, Saigusa M. 1982. Chemistry and clay mineralogy of ando soils, brown forest soils, and podzolic soils formed from recent Towada ashes, Northeastern Japan. Soil Science 133: 69 – 86.
- Skyllberg U. 1990. Correlation between pH and depth in the mor layer of a *Picea abies* (L.) Karst. stand on till soils in northern Sweden. Scand. J. For. Res. 5: 143 – 153.
- Skyllberg U. 1991. Seasonal variation of  $pH_{H_2O}$  and  $pH_{CaCl_2}$  in centimeter-layer of mor humus in a *Picea abies* (L.) Karst. stand. Scand. J. For. Res. 6: 3 -18.
- Skyllberg U. 1993. Acid-base properties of humus layers in northern coniferous forests. Dissertation Umeå. Swedish University of Agricultural Sciences. Faculty of Forestry. Department of Forest Ecology. Sweden. 54 p.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agriculture Handbook 436. USDA. U.S. Government Printing Office Washington. USA. 869 p.

- Soriano A. 1948. La vegetación del Chubut. Rev. Argentina de Agronomía 17: 30 - 66.
- Soriano A. 1952. El pastoreo en el Territorio del Chubut. Rev. Argentina de Agronomía 19: 1 - 20.
- Soriano A. 1956. Los distritos florísticos de la Provincia Patagónica. Rev. Inv. Agr. 10: 323 - 348.
- Soriano A. 1983. Deserts and semi - deserts of Patagonia. N.E. West Ed., Ecosystems of the world. Temperate deserts and semi - deserts. Elsevier, Amsterdam: 423 - 459.
- Spaccini R, Piccolo A, Conte P, Haberhauer G, Gerzabek MH. 2002. Increased soil organic carbon sequestration through hydrophobic protection by humic substances. Soil Biology & Biochemistry 34: 1.839 -1.851.
- Stadtmüller T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales. Medidas para mitigarlo. Una revisión bibliográfica. CATIE. Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales. Turrialba, Costa Rica. 62 p.
- Swindale L. 1969. Propiedades de los suelos de cenizas volcánicas. Panel sobre suelos derivados de ceniza volcánica de América Latina. Turrialba, Costa Rica: 10.1 - 10.9.
- Takahashi T, Dahlgren R, van Susteren P. 1993. Clay mineralogy and chemistry of soil formed in volcanic materials in the xeric moisture regime of northern California. Geoderma 59: 131 - 150.
- Takahashi T, Dahlgren R, Sase T. 1994. Formation of melanic epipedons under forest vegetation in the xeric moisture regime of northern California. Soil Sci. Plant Nutr. 40: 617 - 628.
- Takahashi T, Minami A, Asano Y, Kobayashi T. 1999. Comparison of organic matter dynamics in soil between Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) forest and adjacent Japanese red pine (*Pinus densiflora*) forest established on flatland. J. For. Res. 4: 299 - 302.
- Thompson LM, Troeh FR. 1988. Los suelos y su fertilidad. Ed. Reverté S.A. Barcelona, España. 649 p.
- Torn MS, Trumbore SE, Chadwick OA, Vitousek PM, Hendricks DM. 1997. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. Nature 389: 170 - 173.
- Ugolini FC, Dahlgren R, Shoji S, ITO T. 1988. An example of andosolization and podzolization as revealed by soil solution studies, southern Hakkoda, northeastern Japan. Soil Science 145: 111 - 125.
- Ulrich B. 1983. A concept of forest ecosystem stability and of acid deposition as driving force for destabilization. Ed. Ulrich B, Pankrath J. Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. D. Reidel, Boston. 1 - 32.

- UNFCCC. 2003. United Nations Frameworks Convention on Climate Change. Citado el 27 de diciembre de 2003. Disponible en <http://unfccc.int>.
- 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, Irisarri JA, Ferro L, Buduba CG. 2002. Caracterización mineralógica de suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas en el Noroeste de la Provincia del Chubut. *Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Puerto Madryn, Chubut. Formato digital.
- Veblen TT, Lorenz DC. 1988. Recent vegetation changes along the forest / steppe ecotone of Northern Patagonia. *Annals of the Association of American Geographers* 78: 93 -111.
- Veblen TT, Kitzberger T, Lara A. 1992. Disturbance and forest dynamics along a transect from Andean rain forest to Patagonian shrubland. *Journal of Vegetation Science* 3: 507 – 520.
- Vesterdal L, Ritter E, Gundersen P. 2002. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. *Forest Ecology and Management* 169: 137 – 147.
- Villalba R, Veblen TT. 1996. Regional patterns of tree population age structures in northern Patagonia: climatic and disturbance influences. *Journal of Ecology* 85: 113 – 124.
- Warkentin BP, Maeda T. 1980. Physical and mechanical characteristics of Andisols. Ed. Theng BKG. *Soils with variable charge*. New Zealand Soc. Soil Sci. Lower Hutt: 281 – 301.
- Wild A. 1992. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Ed. Mundi – Prensa. España. 1.045 p.
- Willis B. 1988. *El Norte de la Patagonia. Naturaleza y riquezas*. Tomo 1. Comisión de Estudios Hidrológicos 1911 – 1914. Ed. Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Primera reedición. 500 p.
- Wollum AG. 1973. Characterization of the forest floor in stand along a moisture gradient in southern New Mexico. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37: 637 – 640.
- Wood HB. 1977. Hydrologic differences between selected forested and agricultural soils in Hawaii. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 132 – 136.
- Wright HA, Bailey AW. 1982. *Fire ecology, United States and southern Canada*. John Wiley & Sons, Inc. USA. 501 p.
- Yin X, Perry JA, Dixon RK. 1989. Fine-root dynamics and biomass distribution in a *Quercus* ecosystem following harvesting. *Forest Ecology and Management* 27: 159 – 177.

- Zalba P, Peinemann N. 1987. Efecto de algunas especies forestales sobre ciertas propiedades fisicoquímicas del suelo. *Ciencia del Suelo* 5: 71 – 76.
- Zarin DJ, Johnson AH, Thomas SM. 1998. Soil organic carbon and nutrient status in old-growth montane coniferous forest watershed, Isla Chiloé, Chile. *Plant and Soil* 201: 251 – 258.
- Zinke P. 1962. The pattern of influence of individual forest trees on soil properties. *Ecology* 43: 130 – 133.
- Zuccardi RB, Fadda GS, Caceres MR. 1969. Distribución de los suelos por su reacción química en la Provincia de Tucumán. *Actas V Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Tucumán*: 130 - 136.

## **Anexo 1**

**Descripción de los 58 perfiles de suelo pertenecientes a los 29 lugares (bosque / estepa) estudiados (ver Tabla 1, en Metodología General)**

Número de perfil: 293 Fecha de observación: 4/3/03  
 Ubicación: Vivero Manzano Amargo – Manzano Amargo  
 36° 44' 25,5" Lat S 70° 46' 15,3" Long O  
 Altitud: 1.330 m.s.n.m.  
 Descripción geomórfica: parte media de ladera bajo planicie basáltica.  
 Pendiente: 6 %  
 Exposición: Este.  
 Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 90 %  
 Material originario: ceniza volcánica mezclada con coluvio.  
 Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos y sin signos de erosión.  
 Drenaje: bien drenado.  
 Uso de la tierra: forestal.  
 Clasificación: Typic Vitrixerand.

Oi	0 – 6 cm	
A	6 – 28 cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca arenosa. 15 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 1 cm de diámetro. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 5 cm: 13,0° C.
C	28 – 103+ cm	Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca arenosa. 15 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 50 cm: 12° C y a los 100 cm: 10,4° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
PH actual	(1:1)	6,15	6,18	6,29	6,31	6,43	6,41
PH FNa	2'	-	-	10,78	-	10,66	-
	60'	-	-	11,61	-	11,56	-
Materia orgánica*	(%)	7,43	7,25	6,65	6,35	6,59	6,37
Humedad actual	(%)	-	7,07	9,90	10,39	9,62	9,38
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,25	1,22	1,10	1,31	1,46
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	11,11					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 294 Fecha de observación: 4/3/03  
 Ubicación: Arroyo La Fragua – Manzano Amargo  
 36° 43' 54,8" Lat S 70° 46' 13,7" Long O  
 Altitud: 1.360 m.s.n.m.  
 Descripción geomórfica: parte media de ladera bajo planicie basáltica.







Exposición: Oeste.

Vegetación: palo piche, cardo ruso y arbustos con una cobertura vegetal del 70 %

Material originario: depósito coluvial ¿con ceniza volcánica?.

Condición de la superficie del suelo: muy escombroso (80 %) con fragmentos gruesos menores a 20 cm de diámetro (pavimento de erosión). Leve erosión en banquetas.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Haploxeroll.

A	0 – 20 cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca. 40 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 15 cm de diámetro. Bloques angulares gruesos y medios, fuertes. Consistencia dura en seco. Moderadamente pocas raíces. Límite claro y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 28,4° C.
C1	20 – 68 cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca. 40 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 15 cm de diámetro. Bloques angulares, medios y finos, fuertes. Consistencia dura en seco. Pocas raíces. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 23,3° C.
C2	68 - 80+ cm	90 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 20 cm de diámetro.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,21	6,55	6,76	6,77	6,79	-
pH FNa	2'	-	-	7,74	-	7,77	-
	60'	-	-	8,20	-	7,95	-
Materia orgánica*	(%)	7,32	5,32	4,82	4,13	4,32	-
Humedad actual	(%)	-	5,11	5,85	6,80	6,09	-
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,29	1,32	1,34	1,31	-
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				4,62		

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 289

Fecha de observación: 3/3/03

Ubicación: El Llano Municipalidad de Andacollo – Andacollo

37° 13' 34,6" Lat S

70° 38' 3,2" Long O

Altitud: 1.535 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte media de ladera.

Pendiente: 15 %

Exposición: Este.

Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 100 %  
 Material originario: depósito coluvial mezclado con ceniza volcánica.  
 Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos y sin signos de erosión.  
 Drenaje: bien drenado.  
 Uso de la tierra: forestal.  
 Clasificación: Vitrandic Haploxeroll.

Oi	0 – 5 cm	
Oe	5 – 6 cm	
A	6 – 32 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. 15 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Grano suelto con tendencia a migajosa. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 13,7° C.
C1	32 – 56 cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. 15 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 50 cm: 13,3° C.
2C2	56 – 81+ cm	Pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca. 60 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 12 cm de diámetro. Bloques subangulares finos y medios, moderados. Consistencia ligeramente dura en seco. Abundantes raíces. Reacción al FNa: negativa.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,04	6,10	6,23	6,22	6,21	-
pH FNa	2'	-	-	8,67	-	7,93	-
	60'	-	-	8,98	-	8,21	-
Materia orgánica*	(%)	5,30	4,94	5,12	4,63	5,53	-
Humedad actual	(%)	-	3,65	5,52	8,18	-	-
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,18	1,28	1,13	-	-
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				3,56		

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 292

Fecha de observación: 3/3/03

Ubicación: El llano Municipalidad de Andacollo – Andacollo

37° 13' 30,2" Lat S

70° 37' 54,2" Long O

Altitud: 1.570 m.s.n.m.  
 Descripción geomórfica: parte media de ladera.  
 Pendiente: 19 %  
 Exposición: Sureste.  
 Vegetación: coirón, neneo, vinagrillo, chuquiraga, efedra y cebolla de la culebra con una cobertura vegetal del 50 %  
 Material originario: depósito coluvial mezclado con ceniza volcánica.  
 Condición de la superficie del suelo: escombroso (30 %) con fragmentos gruesos menores a 5 cm de diámetro (pavimento de erosión incipiente). Hay erosión laminar y en pedestal.  
 Drenaje: bien drenado.  
 Uso de la tierra: ganadero.  
 Clasificación: Vitrandic Haploxeroll.

A	0 – 20 cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca arenosa. 20 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Bloques subangulares, medios, débiles. Consistencia blanda en seco. Pocas raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 32,1° C.
C1	20 – 60 cm	Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca arenosa. 60 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 25 cm de diámetro. Masiva. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 18,4° C.
2C2	60 – 70+ cm	Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. 60 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 25 cm de diámetro. Masiva. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Reacción al FNa: negativa.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,03	6,41	6,50	6,56	6,67	6,62
pH FNa	2'	-	-	8,02	-	8,02	-
	60'	-	-	8,22	-	8,13	-
Materia orgánica*	(%)	5,51	5,80	5,90	5,80	5,85	6,05
Humedad actual	(%)	-	3,97	7,41	8,31	-	-
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,20	1,11	1,12	-	-
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	1,80					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).



Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	5,91	6,23	6,17	6,30	6,31	6,54
pH FNa	2'	-	-	9,27	-	9,32	-
	60'	-	-	10,01	-	10,07	-
Materia orgánica*	(%)	4,50	4,04	4,53	4,52	4,25	4,70
Humedad actual	(%)	-	2,57	3,94	4,66	5,42	6,13
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,27	1,34	1,35	1,33	1,28
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				3,11		

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 290

Fecha de observación: 3/3/03

Ubicación: El llano Municipalidad de Andacollo – Andacollo

37° 13' 35" Lat S

70° 37' 48,8" Long O

Altitud: 1.525 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte media de ladera.

Pendiente: 10 %

Exposición: Este.

Vegetación: coirón, neneo, vinagrillo, chuquiraga, efedra y cebolla de la culebra con una cobertura vegetal del 40 %

Material originario: ceniza volcánica.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Haploxerand.

- A      0 – 25 cm      Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. 5 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 1 cm de diámetro. Migajosa, fina, débil. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 5 cm: 19,5° C.
- C1      25 – 60 cm      Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca arenosa. 5 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 1 cm de diámetro. Masiva. Consistencia blanda en seco. Moderadamente pocas raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 50 cm: 18,2° C.
- C2      60 – 90+ cm      Pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo. Franca arenosa. 5 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 1 cm de diámetro. Masiva. Consistencia blanda en seco. Moderadamente pocas raíces. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada).

Datos analíticos

		Profundidad cm					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,28	6,50	6,54	6,53	6,55	6,55
pH FNa	2'	-	-	9,05	-	9,45	-
	60'	-	-	9,93	-	9,91	-
Materia orgánica*	(%)	3,67	3,63	3,91	3,78	3,97	4,06
Humedad actual	(%)	-	6,35	9,65	11,15	16,09	26,99
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,13	1,02	1,00	0,91	0,86
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )			6,34			

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 295

Fecha de observación: 5/3/03

Ubicación: El llano Municipalidad de Huiganco – Andacollo

37° 13' 10" Lat S

70° 37' 1,8" Long O

Altitud: 1.525 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte baja de ladera.

Pendiente: 6 %

Exposición: Oeste.

Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 90 %

Material originario: toba.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Argixeroll.

Oi 0 – 2 cm

A 2 – 32 cm Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Franca. Granular con tendencia a migajosa. Consistencia moderadamente dura en seco. Raíces comunes. Límite claro y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 17,5° C.

AB 32 – 42 cm Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca. 1 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 2 cm de diámetro. Bloques subangulares, medios, moderados. Consistencia moderadamente dura en seco. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa.

B 42 – 62 cm Pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/3) en seco y en húmedo. Franca. 1 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 2 cm de diámetro. Bloques subangulares, gruesos, fuertes. Consistencia moderadamente dura en seco. Raíces comunes notándose mayor concentración en el límite inferior del horizonte. Límite abrupto y suave. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 15° C.

C/R 62 – 92+ cm Tobas alteradas de color violáceas.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
PH actual	(1:1)	6,21	6,33	6,51	6,66	6,55	6,50
pH FNa	2'	-	-	8,08	-	7,94	-
	60'	-	-	8,17	-	7,95	-
Materia orgánica*	(%)	4,57	4,32	4,63	4,91	4,36	5,05
Humedad actual	(%)	-	4,16	6,39	5,00	5,35	6,69
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,22	1,19	1,17	1,18	0,98
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	1,10					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 296

Fecha de observación: 5/3/03

Ubicación: El llano Municipalidad de Huingancho – Andacollo

37° 13' 7" Lat S

70° 36' 59,8" Long O

Altitud: 1.525 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte baja de ladera.

Pendiente: 8 %

Exposición: Oeste.

Vegetación: coirón y cardo ruso con una cobertura vegetal del 60 %

Material originario: toba.

Condición de la superficie del suelo: escombroso (20 %) con fragmentos gruesos angulares menores a 5 cm de diámetro (por sectores pavimento de erosión).

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Argixeroll.

- A 0 – 20 cm Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca. Bloques subangulares, medios, fuertes. Consistencia moderadamente dura en seco. Pocas raíces. Límite claro y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 24,0° C.
- AB 20 – 40 cm Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca arcillosa. Bloques subangulares, medios, fuertes. Consistencia moderadamente dura en seco. Pocas raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa.
- B 40 – 100 cm Pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/3) en seco y pardo oscuro (7,5YR 3/3) en húmedo. Franca. 1 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 3 cm de diámetro. Bloques subangulares, gruesos, fuertes. Consistencia moderadamente dura en seco. Pocas raíces. Límite abrupto y suave. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 19,8° C.



C/R 100+ cm Tobas alteradas de color violáceas.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,41	6,59	6,59	6,71	6,79	-
pH FNa	2'	-	-	8,01	-	7,77	-
	60'	-	-	8,09	-	7,81	-
Materia orgánica*	(%)	3,88	3,95	4,31	4,09	3,88	-
Humedad actual	(%)	-	3,57	4,91	5,71	4,19	-
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,30	1,25	1,19	1,28	-
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	2,05					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 297

Fecha de observación: 5/3/03

Ubicación: El llano Municipalidad de Andacollo – Andacollo

37° 13' 25,9" Lat S

70° 38' 23,2" Long O

Altitud: 1.580 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte alta de ladera.

Pendiente: 9 %

Exposición: Sureste.

Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 90 %

Material originario: ceniza volcánica.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Haploxeroll.

Oi 0 – 3 cm

A 3 – 31 cm Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 2 cm de diámetro. Bloques subangulares, finos, débiles con tendencia a grano suelto. Consistencia blanda en seco. Moderadamente pocas raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y fuerte). Temperatura a los 5 cm: 19,9° C.

C1 31 – 67 cm Pardo pálido (10YR 6/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 2 cm de diámetro. Bloques subangulares, medios, débiles con tendencia a grano suelto. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y fuerte). Temperatura a los 50 cm: 15,6° C.

C2 67 – 103+ cm Pardo amarillento claro (10YR 6/4) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 4 cm de diámetro. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 100 cm: 13,9° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,53	6,71	6,61	6,62	6,71	6,83
pH FNa	2'	-	-	8,13	-	8,10	-
	60'	-	-	8,57	-	8,43	-
Materia orgánica*	(%)	3,00	3,21	3,26	3,33	3,28	3,40
Humedad actual	(%)	-	2,22	2,45	2,45	5,42	3,70
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,31	1,27	1,36	1,28	1,32
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	8,53					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 298

Fecha de observación: 5/3/03

Ubicación: El llano Municipalidad de Andacollo – Andacollo

37° 13' 25,9" Lat S

70° 38' 23,2" Long O

Altitud: 1.580 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte alta de ladera.

Pendiente: 7 %

Exposición: Sureste.

Vegetación: coirón, chuquiraga, efedra y cebolla de la culebra con una cobertura vegetal del 20 %

Material originario: ceniza volcánica.

Condición de la superficie del suelo: muy escombroso (50 %) con fragmentos gruesos menores a 5 cm de diámetro (pavimento de erosión). Hay erosión laminar y en pedestal.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Haploxeroll.

A 0 – 30 cm Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 3 cm de diámetro. Masivo con tendencia a grano suelto. Consistencia blanda en seco. Moderadamente pocas raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 5 cm: 31,4° C.

C1	30 – 50 cm	Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 3 cm de diámetro. Masiva. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 50 cm: 17,7° C.
C2	50 – 100+ cm	Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 100 cm: 15,4° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,15	6,60	6,68	6,76	6,99	7,09
pH FNa	2'	-	-	9,07	-	9,11	-
	60'	-	-	9,50	-	9,59	-
Materia orgánica*	(%)	3,73	3,51	3,87	3,64	3,92	3,66
Humedad actual	(%)	-	1,64	5,90	6,34	8,14	11,90
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,47	1,21	1,32	1,22	1,13
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				5,07		

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 279  
Ubicación: CORFONE Abra Ancha - Aluminé  
39° 18' 13,8" Lat S      70° 56' 46,4" Long O  
Altitud: 1.260 m.s.n.m.  
Descripción geomórfica: ladera en planicie basáltica.  
Pendiente: 10 %  
Exposición: Noreste.  
Vegetación: pino ponderosa, coirón y acaena con una cobertura vegetal del 80 %  
Material originario: ceniza volcánica sobre basalto.  
Condición de la superficie del suelo: grandes bloques de basalto. Hay erosión laminar.  
Drenaje: algo excesivamente drenado / bien drenado.  
Uso de la tierra: forestal.  
Clasificación: Haploxerand.

Oi	0 – 5 cm	Se presenta discontinuo siendo más profundo bajo la copa de los pinos y nulo entre los árboles.
A	5 – 35 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. Migajosa. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 5 cm: 10,6° C.

C 35 – 85 cm Pardo oscuro a pardo (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Arena franca. 5 % de fragmentos gruesos, angulares de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva con tendencia a grano suelto. Consistencia ligeramente dura en seco. Abundantes raíces. Reacción al FNa: positiva (rápida y suave). Temperatura a los 50 cm: 11,2° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	5,48	6,15	6,41	6,44	6,56	6,60
pH FNa	2'	-	-	9,31	-	9,34	-
	60'	-	-	10,03	-	9,91	-
Materia orgánica*	(%)	4,99	4,46	4,33	4,07	4,15	4,19
Humedad actual	(%)	-	7,44	9,66	9,51	7,61	10,00
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,04	1,04	1,07	1,08	1,13
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	4,03					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 278 Fecha de observación: 8/2/03  
 Ubicación: CORFONE Abra Ancha - Aluminé  
 39° 18' 7,2" Lat S 70° 56' 45,7" Long O  
 Altitud: 1.260 m.s.n.m.  
 Descripción geomórfica: ladera en planicie basáltica.  
 Pendiente: 10 %  
 Exposición: Noreste.  
 Vegetación: arbustos y coirón con una cobertura vegetal del 60 %  
 Material originario: ceniza volcánica sobre basalto.  
 Condición de la superficie del suelo: grandes bloques de basalto. Hay ligera erosión laminar.  
 Drenaje: bien drenado.  
 Uso de la tierra: ganadero.  
 Clasificación: Haploxerand.

A 0 – 20 cm Pardo oscuro a pardo (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos planos de tamaño menor a 15 cm de diámetro. Migajosa con tendencia a grano suelto. Consistencia blanda en seco. Raíces abundantes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (instantánea y fuerte). Temperatura a los 5 cm: 15,2° C.

Bw 20 – 40 cm Pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos planos de tamaño menor a 15 cm de diámetro. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Raíces abundantes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (instantánea y fuerte).



C 20 – 100+ cm Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Areno franca. 5 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Grano suelto con tendencia a masiva. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Reacción al FNa: positiva (lenta y moderada). Temperatura a los 50 cm: 10,9° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
PH actual	(1:1)	6,24	6,79	6,82	6,85	7,01	7,24
pH FNa	2'	-	-	7,90	-	7,83	-
	60'	-	-	8,00	-	7,94	-
Materia orgánica*	(%)	2,51	2,53	2,54	2,49	2,58	2,62
Humedad actual	(%)	-	6,21	7,52	7,86	8,70	9,07
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,22	1,16	1,11	1,12	1,10
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )			12,16			

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 275

Fecha de observación: 7/2/03

Ubicación: CORFONE Abra Ancha - Aluminé

39° 19' 45,6" Lat S

70° 56' 20,8" Long O

Altitud: 1.080 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: pendiente con coluvio bajo planicie basáltica.

Pendiente: 39 %

Exposición: Norte.

Vegetación: coirón y neneo con una cobertura vegetal del 50 %

Material originario: ceniza volcánica con coluvio.

Condición de la superficie del suelo: algunos bloques angulares de más de 2 m de diámetro y moderada erosión en banquetas.

Drenaje: excesivamente drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Vitrixerand.

A 0 – 15 cm Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Areno franca. 5 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Granular. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y suave). Temperatura a los 5 cm: 16,9° C.

C 15 – 90+ cm Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Areno franca. 5 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Grano suelto con tendencia a granular. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Reacción al FNa: positiva (rápida y suave). Temperatura a los 5 cm: 18° C.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,35	6,68	6,78	6,90	7,12	7,41
pH FNa	2'	-	-	7,92	-	7,86	-
	60'	-	-	8,06	-	7,95	-
Materia orgánica*	(%)	3,37	3,13	2,87	2,76	2,66	2,70
Humedad actual	(%)	-	5,83	7,41	10,05	12,74	16,02
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,22	1,21	1,15	1,10	1,06
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				3,52		

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 276

Fecha de observación: 7/2/03

Ubicación: CORFONE Abra Ancha - Aluminé

39° 19' 2" Lat S

70° 56' 20,1" Long O

Altitud: 1.070 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: ladera en pendiente compleja. Base de la montaña.

Pendiente: 8 %

Exposición: Sur.

Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 100 %

Material originario: ceniza volcánica.

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

Drenaje: algo excesivamente drenado / bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Typic Vitrixerand.

Oi	0 – 4 cm	
A	4 – 20 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arenosa. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 5 cm: 11,2° C.
C1	20 – 35 cm	Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arenosa. Grano suelto con tendencia a masiva. Consistencia ligeramente dura en seco. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada).
C2	35 – 85 cm	Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arenosa. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada).
2C3	85+ cm	

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,19	6,34	6,50	6,51	6,55	6,65
pH FNa	2'	-	-	9,12	-	8,71	-
	60'	-	-	9,34	-	9,37	-
Materia orgánica*	(%)	3,18	3,05	3,34	3,56	3,72	4,02
Humedad actual	(%)	-	5,62	9,27	7,99	11,80	10,50
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,21	1,10	1,09	1,03	1,04
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				6,06		

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 277

Fecha de observación: 7/2/03

Ubicación: CORFONE Abra Ancha - Aluminé

39° 19' 2,4" Lat S

70° 56' 20,3" Long O

Altitud: 1.070 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: ladera en pendiente compleja. Base de la montaña.

Pendiente: 10 %

Exposición: Sur.

Vegetación: coirón y neneo con una cobertura vegetal del 40 %

Material originario: ceniza volcánica.

Condición de la superficie del suelo: bloques de basalto angulares de 30 cm de diámetro. Hay leve a moderada erosión laminar.

Drenaje: algo excesivamente drenado / bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Typic Vitrixerand.

A	0 – 15 cm	Pardo a pardo pálido (10YR 5,5/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arenosa. Masiva. Consistencia moderadamente dura en seco. Moderadamente pocas raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 5 cm: 21,6° C.
C1	15 – 60 cm	Pardo pálido (10YR 6/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Arenosa. Masiva con tendencia a grano suelto. Consistencia blanda en seco. Moderadamente pocas raíces. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 5 cm: 16,2° C.
2C2	60 – 80+ cm	Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo. Arenosa. 60 % de fragmentos gruesos de tamaño menor a 15 cm de diámetro. Masiva con tendencia a grano suelto. Consistencia ligeramente dura en seco. Abundantes raíces que se acumulan sobre las piedras. Reacción al FNa: positiva (lenta y moderada).



Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	5,53	6,31	6,43	6,54	6,70	6,82
pH FNa	2'	-	-	8,92	-	8,58	-
	60'	-	-	9,28	-	8,94	-
Materia orgánica*	(%)	3,94	4,07	4,08	3,89	3,70	3,93
Humedad actual	(%)	-	9,35	12,07	13,34	15,65	-
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,14	1,07	1,04	1,03	-
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				5,74		

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 280

Fecha de observación: 9/2/03

Ubicación: Río Malleo – Junín de los Andes

39° 46' 49,9" Lat S

71° 1' 53" Long O

Altitud: 765 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie glacifluvial.

Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 90 %

Material originario: ceniza volcánica sobre depósito glacifluvial.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Vitrandic Haploxeroll.

Oi 0 – 6 cm

A\* 6 – 30 cm Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. Masiva. Consistencia moderadamente dura en seco. Raíces comunes. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 5 cm: 13,4° C.

C1 30 – 110 cm Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. Masiva. Consistencia moderadamente dura en seco. Raíces comunes. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 50 cm: 13° C.

2C2 110+ cm Sedimento glacifluvial.

\*En la parte superior se observa un enlame de 2 cm de espesor. Arena franca.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,22	6,60	6,85	6,99	7,19	7,44
pH FNa	2'	-	-	7,82	-	7,78	-
	60'	-	-	7,85	-	7,83	-
Materia orgánica**	(%)	1,64	1,42	1,83	1,96	2,29	2,20
Humedad actual	(%)	-	5,68	8,94	13,18	12,30	12,96
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,22	1,11	1,08	1,04	1,06
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				18,17		

\*\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 281

Fecha de observación: 9/2/03

Ubicación: Río Malleo – Junín de los Andes

39° 46' 50,1" Lat S

71° 1' 52,9" Long O

Altitud: 765 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie glacifluvial.

Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: coirón y neneo con una cobertura vegetal del 50 %

Material originario: ceniza volcánica sobre depósito glacifluvial.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Vitrandic Haploxeroll.

	0 – 6 cm	Enlame. Areno franca / franca arenosa. Laminar muy delgada. Límite abrupto y ondulado.
A	6 – 20 cm	Pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. Masiva. Consistencia moderadamente dura en seco. Moderadamente pocas raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y moderada). Temperatura a los 5 cm: 24,0° C.
C	20 – 85 cm	Pardo grisáceo a pardo grisáceo claro (10YR 5,5/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo. Franca arenosa. Masiva. Consistencia moderadamente dura en seco. Moderadamente pocas raíces. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 50 cm: 20,4° C.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,43	6,86	6,96	7,04	7,23	7,30
pH FNa	2'	-	-	7,70	-	7,73	-
	60'	-	-	7,77	-	7,78	-
Materia orgánica*	(%)	1,56	1,96	2,28	2,65	2,55	2,66
Humedad actual	(%)	-	5,23	9,77	17,81	21,85	16,52
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,20	1,11	1,04	1,05	1,12
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				6,91		

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 284

Fecha de observación: 10/2/03

Ubicación: Ea. Cerro Los Pinos – Junín de los Andes

40° 05' 52,1" Lat S

71° 00' 45" Long O

Altitud: 720 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie aluvial.

Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 70 %

Material originario: aluvial mezclado con ceniza volcánica.

Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos ni signos importantes de erosión.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Typic Vitrixerand.

Oi 0 – 3 cm

Oa/e 3 – 7 cm Abundantes hifas de hongos.

A 7 – 42 cm Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Franca arenosa. 2 % de fragmentos gruesos, redondeados de tamaño menor a 2 cm de diámetro. Masiva con tendencia a grano suelto. Consistencia dura en seco. Abundantes raíces e hifas de hongos. Límite difuso y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 15,6° C.

C 42 – 97+ cm Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Franca arenosa. Masiva. Consistencia dura en seco. Abundantes raíces e hifas de hongos. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 13,5° C.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,12	6,46	6,45	6,69	6,84	6,64
pH FNa	2'	-	-	7,62	-	7,64	-
	60'	-	-	7,68	-	7,61	-
Materia orgánica*	(%)	4,51	3,09	2,98	3,00	2,80	2,87
Humedad actual	(%)	-	5,36	7,38	7,24	7,78	10,22
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,15	1,17	1,22	1,18	1,14
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	43,00					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 285

Fecha de observación: 11/2/03

Ubicación: Ea. Cerro Los Pinos – Junín de los Andes

40° 05' 52,1" Lat S

71° 00' 45" Long O

Altitud: 720 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie aluvial.

Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: coirón y acaena con una cobertura vegetal del 95 %

Material originario: aluvial mezclado con ceniza volcánica.

Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos ni signos importantes de erosión.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero. En el pasado posiblemente sembrado con pasturas.

Clasificación: Typic Vitrixerand.

0 – 3 cm Enlame de origen eólico.

A 3 – 39 cm Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Franca arenosa. 5 % de fragmentos gruesos, redondeados de tamaño menor a 1 cm de diámetro. Masiva con tendencia a bloques subangulares, gruesos, fuertes. Consistencia dura en seco. Pocas raíces. Límite difuso y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 21,5° C.

C 39 – 100+ cm Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Franca. 5 % de fragmentos gruesos, redondeados de tamaño menor a 1 cm de diámetro. Masiva. Consistencia dura en seco. Pocas raíces. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 15,4° C.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,24	6,54	6,78	6,86	6,97	6,96
pH FNa	2'	-	-	7,50	-	7,62	-
	60'	-	-	7,57	-	7,65	-
Materia orgánica*	(%)	3,73	3,15	3,22	3,08	3,24	3,01
Humedad actual	(%)	-	5,56	6,19	6,33	8,42	7,80
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,22	1,13	1,18	1,16	1,13
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				3,70		

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 282

Fecha de observación: 9/2/03

Ubicación: Campo de Taylor – San Martín de los Andes

40° 6' 9,1" Lat S

71° 12' 34,6" Long O

Altitud: 880 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: pendiente superior.

Pendiente: 15 %

Exposición: Oeste.

Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 100 %

Material originario: ceniza volcánica.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Typic Vitrixerand.

Oi 0 – 2 cm

Oe 2 – 6 cm

Oa 6 – 8 cm Abundantes hifas.

A 8 – 38 cm Pardo oscuro (10YR 3/3) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Franca arenosa. Migajosa. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y moderada). Temperatura a los 5 cm: 11,4° C.

C1 38 – 73 cm Pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. Masiva con tendencia a grano suelto. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 50 cm: 10,6° C.

C2 73 – 108+ cm Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. Masiva con tendencia a grano suelto. Abundantes raíces. Reacción al FNa: positiva (lenta y fuerte).

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,15	6,33	6,38	6,41	6,36	6,36
pH FNa	2'	-	-	10,06	-	10,25	-
	60'	-	-	10,41	-	10,72	-
Materia orgánica*	(%)	8,09	5,33	5,59	6,33	6,76	6,43
Humedad actual	(%)	-	8,78	8,33	8,25	7,18	10,10
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,00	0,97	0,91	0,98	0,96
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	9,28					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 283

Fecha de observación: 9/2/03

Ubicación: Campo de Taylor – San Martín de los Andes

40° 6' 9,1" Lat S

71° 12' 34,6" Long O

Altitud: 880 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: pendiente superior.

Pendiente: 14 %

Exposición: Oeste.

Vegetación: coirón y gramíneas con una cobertura vegetal del 100 %

Material originario: ceniza volcánica.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: recreativo paisajístico. Antiguamente ganadero.

Clasificación: Typic Vitrixerand.

- |    |              |   |
|----|--------------|---|
| A  | 0 – 25 cm    | Pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. Masiva. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 5 cm: 20,2° C.       |
| C1 | 25 – 60 cm   | Gris (10YR 5/1) en seco y gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Franca arenosa. Masiva. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 50 cm: 16,2° C.                          |
| C2 | 60 – 100 cm+ | Gris oscuro (10YR 4/1) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. 1 % de fragmentos gruesos angulares. Masiva con tendencia a grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Reacción al FNa: positiva (rápida y fuerte). |

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,22	6,40	6,37	6,39	6,44	6,41
pH FNa	2'	-	-	10,15	-	10,22	-
	60'	-	-	10,31	-	10,61	-
Materia orgánica*	(%)	10,05	7,17	6,34	6,25	5,33	7,93
Humedad actual	(%)	-	9,74	10,04	10,65	11,22	25,06
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	0,93	0,94	0,91	0,94	0,79
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )			5,81			

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 309

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.

Descripción geomórfica: pendiente larga en ladera.

Pendiente: 6 %

Exposición: Noroeste.

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 signos de erosión.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Haploxeroll.

Oi 0 – 3 cm

Oe 3 – 6 cm Abundante presencia de hifas de hongos.

A 6 – 53 cm Gris grisáceo (10YR 5/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena 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 FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 6,4° C.

C1 53 – 76 cm Gris parduzco claro (10YR 6/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo. Arena 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 FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 7,6° C.

2C2 76 – 96 + cm Pardo pálido (10YR 6/3) en seco y pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo. 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 FNa: negativa.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,39	6,56	6,61	6,69	6,76	6,84
pH FNa	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 <sup>-3</sup> )	-	1,12	1,24	1,20	1,10	-
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	6,57					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 310

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.

Descripción geomórfica: pendiente larga en ladera.

Pendiente: 6 %

Exposición: Noroeste.

Vegetación: coirón con algunos manchones de ciperáceas y plantas semi arbustivas con una cobertura vegetal del 60 %

Material originario: depósitos eólicos sobre formación arcillosa.

Condición de la superficie del suelo: muy pedregoso (2 %) con fragmentos angulares de menos de 5 cm de diámetro. Erosión en pedestal y en sectores incipiente pavimento de erosión.

Drenaje: moderadamente bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Haploxeroll.

A1\* 0 – 8 cm Gris oscuro (10YR 4/1) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Franca. Grano suelto con tendencia a migajosa. Consistencia blanda en seco. Raíces finas muy abundantes. Límite claro y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 6,5° C.

A2 8 – 47 cm Gris oscuro (10YR 4/1) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Franco arenosa. Masiva. Consistencia dura en seco. Pocas raíces finas. Límite gradual y plano. Reacción al FNa: negativa.



C1 47 – 90 cm Gris (10YR 5/1) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva. Rasgos redoximórficos de hierro comunes, finos y medios, prominentes. Consistencia dura en seco. Pocas raíces finas. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 9,1° C.

2C2 90 + cm

\*Tiene características de enlame.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,39	6,56	6,61	6,69	6,76	6,84
pH FNa	2'	-	-	7,98	-	7,97	-
	60'	-	-	7,97	-	8,04	-
Materia orgánica**	(%)	7,71	6,25	4,86	3,76	2,98	2,83
Humedad actual	(%)	-	9,40	9,33	9,40	10,91	-
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	0,76	0,85	0,99	1,04	-
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				7,15		

\*\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 55

Fecha de observación: 17/2/03

Ubicación: Estancia Maitén - Hoja El Maitén

42° 00' 14,3" Lat S

71° 7' 49,2" Long O

Altitud: 740 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie fluvial.

Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 100 %

Material originario: ceniza volcánica.

Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos ni signos importantes de erosión.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Haploxeroll.

Oi 0 – 6 cm

Oe 6 – 13 cm

A 13 – 31 cm Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. Bloques angulares, medios y gruesos, moderados. Abundantes raíces. Presencia de micorrizas. Límite claro y plano. Temperatura a los 5 cm: 13,9° C.

C1	31 – 43 cm	Pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo. Franca arenosa. Masiva. Abundantes raíces. Límite claro y plano.
C2	43 - 79+ cm	Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo. Franca arenosa. Masiva. Abundantes raíces. Temperatura a los 50 cm: 13,0° C.
C3	79 – 120+ cm	Pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo. Franca arenosa. 20 % de fragmentos gruesos de tamaño menor a 2 cm de diámetro. Masiva. Abundantes raíces. Temperatura a los 100 cm: 11,6° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	5,97	6,17	6,53	7,71	8,64	8,39
pH FNa	2'	-	-	7,56	-	7,76	-
	60'	-	-	7,62	-	7,82	-
Materia orgánica*	(%)	5,17	2,83	2,42	2,40	2,33	1,97
Humedad actual	(%)	-	4,79	4,64	4,26	5,72	3,05
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,31	1,16	1,35	1,28	1,76
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	2,96					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 286

Fecha de observación: 17/2/03

Ubicación: Estancia Maitén - Hoja El Maitén

42° 00' 14,3" Lat S

71° 7' 49,2" Long O

Altitud: 740 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie fluvial.

Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: gramíneas con una cobertura vegetal del 100 %

Material originario: ceniza volcánica.

Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos ni signos importantes de erosión.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Haploxeroll.

A	0 – 26 cm	Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca. 10 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva con tendencia a bloques angulares, medios, fuertes. Consistencia dura en seco. Raíces comunes. Límite difuso y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 15,7° C.
---	-----------	--

C1	26 – 65 cm	Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca. 10 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva con tendencia a bloques subangulares, finos, débiles. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Límite difuso y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 16,5° C.
C2	65 - 100+ cm	Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca. 10 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva con tendencia a bloques subangulares, finos, débiles. Consistencia blanda en seco. Moderadamente pocas raíces. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 100 cm: 15,3° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,31	6,59	6,99	7,30	7,52	7,89
pH FNa	2'	-	-	7,70	-	7,84	-
	60'	-	-	7,67	-	7,81	-
Materia orgánica*	(%)	6,66	3,40	3,17	2,77	2,85	2,35
Humedad actual	(%)	-	5,21	7,74	7,08	6,54	6,57
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,27	1,12	1,12	1,26	1,17
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				6,81		

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 257

Fecha de observación: 6/11/02

Ubicación: Estancia Maitén (Cuartel vuelta del río) - Hoja El Maitén

42° 15' 26" Lat S

71° 9' 39,4" Long O

Altitud: 750 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie glacifluvial.

Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: pino ponderosa y acaena con una cobertura vegetal del 60 %

Material originario: ceniza volcánica sobre depósito glacifluvial.

Condición de la superficie del suelo: muy escombroso (60 %) con fragmentos gruesos menores a 2 cm de diámetro (pavimento de erosión incipiente). Hay erosión laminar.

Drenaje: algo excesivamente drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Typic Vitrixerand.

Oi	0 – 1 cm	Se presenta discontinuo siendo más profundo bajo la copa de los pinos y nulo entre los árboles.
----	----------	---

A	1 – 31 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. 30 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 0,5 cm de diámetro. Bloques subangulares, finos, débiles con tendencia a grano suelto. Raíces comunes. Límite difuso y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada).
C1	31 – 61 cm	Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Arena franca. 30 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 0,5 cm de diámetro. Bloques subangulares, finos, débiles con tendencia a grano suelto. Raíces comunes, medias y gruesas. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y moderada). Temperatura a los 50 cm: 11,8° C.
2C2	61+ cm	90 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 15 cm de diámetro.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,17	6,58	6,60	6,61	6,65	6,78
pH FNa	2'	-	-	8,73	-	8,36	-
	60'	-	-	10,08	-	9,98	-
Materia orgánica*	(%)	3,07	3,25	3,35	3,34	3,04	1,51
Humedad actual	(%)	-	2,43	2,52	3,65	2,27	-
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,28	1,39	1,29	1,51	-
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	10,17					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 262

Fecha de observación: 22/1/03

Ubicación: Estancia Maitén (Cuartel vuelta del río) - Hoja El Maitén

42° 15' 16,7" Lat S

71° 9' 51,1" Long O

Altitud: 700 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie glacifluvial.

Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: acaena, coirón, neneo, vinagrillo, calafate con una cobertura vegetal del 40 %

Material originario: ceniza volcánica sobre depósito glacifluvial.

Condición de la superficie del suelo: muy escombroso (60 %) con fragmentos chicos menores a 2 cm de diámetro (pavimento de erosión incipiente). Hay erosión laminar.

Drenaje: algo excesivamente drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Typic Vitrixerand.

0 – 3 cm      Enlame.

A	3 – 33 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Grano suelto con tendencia a bloques subangulares, finos, débiles. Abundantes raíces. Límite difuso y ondulado. Reacción al FNa: positiva (instantánea y fuerte). Temperatura a los 5 cm: 13,6° C.
C1	33 – 60 cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. 30 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 10 cm de diámetro. Masiva con tendencia a grano suelto. Moderadamente pocas raíces. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: positiva (instantánea y fuerte). Temperatura a los 50 cm: 16,1° C.
2C2	60 - 92+ cm	90 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 15 cm de diámetro. Pocas raíces. Reacción al FNa: positiva (instantánea y fuerte).

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,15	6,64	6,62	6,69	6,72	6,78
pH FNa	2'	-	-	9,05	-	8,78	-
	60'	-	-	9,93	-	9,93	-
Materia orgánica*	(%)	3,23	3,26	3,18	3,27	3,08	2,24
Humedad actual	(%)	-	2,64	3,07	4,66	12,20	-
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,56	1,48	1,43	1,25	-
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	4,45					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 17

Fecha de observación: 28/1/03

Ubicación: S. Breide – Hoja Cholila

42° 23' 31,2" Lat S

71° 21' 56,6" Long O

Altitud: 750 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte media de ladera.

Pendiente: 18 %

Exposición: Este.

Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 90 %

Material originario: ceniza volcánica.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Haploxeroll.

Oi      0 – 6 cm

A	6 – 46 cm	Gris oscuro a pardo grisáceo oscuro (10YR 4/1,5) en seco y gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Franca arenosa. 5 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Bloques angulares, medios y gruesos, débiles. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Temperatura a los 5 cm: 13,2° C.
C1	46 – 66 cm	Pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. 5 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Bloques subangulares, medios, débiles con tendencia a grano suelto. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 50 cm: 12,6° C.
C2	66 - 110+ cm	Pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. 5 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Grano suelto. Abundantes raíces. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 100 cm: 11,3° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,11	6,46	6,52	6,53	6,52	6,62
pH FNa	2'	-	-	7,84	-	7,93	-
	60'	-	-	8,32	-	8,85	-
Materia orgánica*	(%)	4,12	4,52	4,82	4,53	4,48	4,07
Humedad actual	(%)	-	4,08	4,98	5,68	6,00	5,28
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	0,98	0,94	0,89	0,85	1,20
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	37,77					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 269

Fecha de observación: 28/1/03

Ubicación: S. Breide – Hoja Cholila

42° 23' 31,2" Lat S

71° 21' 56,6" Long O

Altitud: 750 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte media de ladera.

Pendiente: 13 %

Exposición: Este.

Vegetación: coirón, acaena, vinagrillo, flechilla y cola de zorro con una cobertura vegetal del 60 %

Material originario: ceniza volcánica.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Haploxeroll.

A	0 – 26 cm	Gris oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10YR 4/1,5) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Franco arenosa. 5 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Grano suelto con tendencia a granular muy fina, débil. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y fuerte). Temperatura a los 5 cm: 18,4° C.
C1	26 – 60 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Franco arenosa. 5 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva con tendencia a bloques subangulares, medios, débiles. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y fuerte). Temperatura a los 50 cm: 16,2° C.
C2	60 - 110+ cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Franco arenosa. 5 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva con tendencia a bloques subangulares, medios, débiles. Raíces comunes. Reacción al FNa: positiva (rápida y fuerte). Temperatura a los 100 cm: 13,7° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad cm					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,38	6,62	6,60	6,62	6,56	6,58
pH FNa	2'	-	-	8,03	-	7,93	-
	60'	-	-	8,56	-	8,32	-
Materia orgánica*	(%)	5,46	4,97	4,38	4,15	4,19	3,74
Humedad actual	(%)	-	8,68	6,88	7,59	9,54	9,54
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,08	1,23	1,16	1,11	1,11
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	4,72					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 287

Fecha de observación: 20/2/03

Ubicación: Gja. Los Ñires (Regimiento C3) - Hoja Esquel

42° 52' 27,7" Lat S

71° 17' 13,4" Long O

Altitud: 650 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte media de cono aluvial.

Pendiente: 2 %

Exposición: Sur.

Vegetación: pino ponderosa, coirón y neneo con una cobertura vegetal del 50 %

Material originario: ceniza volcánica sobre depósito aluvial.

Condición de la superficie del suelo: escombroso (30 %) con fragmentos chicos menores a 3 cm de diámetro (pavimento de erosión).

Drenaje: algo excesivamente drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Vitrandic Haploxeroll.







Material originario: arena volcánica.

Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos y con signos de erosión laminar con algunas manifestaciones de pedestal.

Drenaje: algo excesivamente drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Vitrandic Haploxeroll.

Oi	0 – 2 cm	Se presenta discontinuo siendo más profundo bajo la copa de los pinos y nulo entre los árboles.
A	2 – 17 cm	Gris oscuro (10YR 4/1) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Arena franca. Migajosa con tendencia a granular. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 13,1° C.
AC	17 – 49 cm	Pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arenosa. Grano suelto con tendencia a bloques subangulares, finos y muy finos, débiles. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave).
C	49 - 110+ cm	Gris parduzco claro (10YR 6/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arenosa. Masiva con tendencia a grano suelto. Abundantes raíces. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 13,5° C y a los 100 cm 12,3° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	5,90	6,56	6,57	6,53	6,61	6,83
pH FNa	2'	-	-	8,33	-	8,13	-
	60'	-	-	8,85	-	8,33	-
Materia orgánica*	(%)	3,37	3,91	3,82	3,82	3,78	3,71
Humedad actual	(%)	-	1,82	7,33	13,38	11,16	13,36
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,07	1,04	0,89	0,96	0,99
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				53,06		

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 273

Fecha de observación: 30/1/03

Ubicación: Laguna La Zeta (Esquel) – Hoja Esquel

42° 52' 35,9" Lat S

71° 20' 11,2" Long O

Altitud: 875 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: base de ladera en pendiente larga.

Pendiente: 2 %

Exposición: Oeste.

Vegetación: coirón, neneo, acaena y vinagrillo con una cobertura vegetal del 50 %

Material originario: arena volcánica.

Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos y con signos de erosión laminar con algunas manifestaciones de pedestal.

Drenaje: algo excesivamente drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Vitrandic Haploxeroll.

A	0 – 12 cm	Gris oscuro (10YR 4/1) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Areno franca. Grano suelto con tendencia a bloques subangulares, medios, débiles. Consistencia friable en húmedo. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 14,9° C.
AC	12 – 43 cm	Gris oscuro (10YR 4/1) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arenosa. Masiva con tendencia a bloques subangulares, gruesos, moderados. Consistencia firme en húmedo. Moderadamente pocas raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa.
C	43 - 110+ cm	Pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Arenosa. Masiva con tendencia a grano suelto. Moderadamente pocas raíces. Consistencia friable en húmedo. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 14,8° C y a los 100 cm 13,4° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	5,85	6,55	6,61	6,62	6,58	6,77
pH FNa	2'	-	-	7,82	-	7,92	-
	60'	-	-	7,88	-	7,85	-
Materia orgánica*	(%)	3,48	2,63	3,00	3,31	2,91	2,87
Humedad actual	(%)	-	1,64	2,40	2,16	5,91	2,78
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	0,94	0,79	0,76	0,95	0,74
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	45,61					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 307

Fecha de observación: 15/3/03

Ubicación: La Zeta – Hoja Esquel

42° 53' 14,4" Lat S

71° 21' 53,9" Long O

Altitud: 780 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie glacialacustre.

Pendiente: 5 %

Exposición: Sureste.

Vegetación: pino ponderosa, coirón, neneo, acaena y vinagrillo con una cobertura vegetal del 80 %

Material originario: depósito de arena volcánica mezclado con fragmentos gruesos de origen fluvial.

Condición de la superficie del suelo: extremadamente pedregoso (10 %) con fragmentos redondeados de menos de 3 cm de diámetro.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Haploxeroll.

Oi	0 - 2	Se presenta discontinuo siendo más profundo bajo la copa de los pinos y nulo entre los árboles.
A1*	2 – 11cm	Gris oscuro (10YR 4/1) en seco y gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 3 cm de diámetro. Migajosa con tendencia a grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y ondulado. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 5 cm: 11,7° C.
A2	11 – 48 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. 15 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave).
C1	48 – 79 cm	Pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arenosa. 60 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 10 cm de diámetro. Masiva con tendencia a grano suelto. Consistencia dura en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 13,6° C.
C2	79 - 102+ cm	Gris (10YR 5/1) en seco y gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Arenosa. 60 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 10 cm de diámetro. Masiva con tendencia a grano suelto. Consistencia dura en seco. Abundantes raíces. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 100 cm: 13° C.

\*Tiene características de enlame.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,21	6,58	6,58	6,64	6,59	6,75
pH FNa	2'	-	-	8,31	-	8,05	-
	60'	-	-	8,78	-	8,27	-
Materia orgánica**	(%)	2,98	3,10	3,03	2,89	2,64	1,84
Humedad actual	(%)	-	4,02	4,41	4,86	4,56	5,01
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,24	1,27	1,25	1,38	1,14
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				5,74		

\*\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 308 Fecha de observación: 15/3/03  
 Ubicación: La Zeta – Hoja Esquel  
 42° 53' 16,6" Lat S 71° 21' 51,4" Long O  
 Altitud: 780 m.s.n.m.  
 Descripción geomórfica: planicie glacialacustre.  
 Pendiente: 2 %  
 Exposición: Sureste.  
 Vegetación: coirón, neneo, acaena y vinagrillo con una cobertura vegetal del 40 %  
 Material originario: depósito de arena volcánica mezclado con fragmentos gruesos de origen fluvial.  
 Condición de la superficie del suelo: extremadamente pedregoso (10 %) con fragmentos redondeados de menos de 2 cm de diámetro. Erosión laminar y en sectores incipiente pavimento de erosión.  
 Drenaje: bien drenado.  
 Uso de la tierra: ganadero.  
 Clasificación: Haploxeroll.

A1*	0 – 9 cm	Gris oscuro a pardo grisáceo oscuro (10YR 4/1,5) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 2 cm de diámetro. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Límite claro y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 13,1° C.
A2	9 – 37 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 2 cm de diámetro. Masiva. Consistencia dura en seco. Moderadamente pocas raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa.
C1	37 – 86 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Arena franca. 20 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva. Consistencia dura en seco. Pocas raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 13° C.
C2	86 - 100+ cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Arenosa. 50 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva con tendencia a grano suelto. Consistencia blanda en seco. Pocas raíces. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 100 cm: 12,1° C.

\*Tiene características de enlame.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,34	6,55	6,71	6,62	6,63	6,98
pH FNa	2'	-	-	7,96	-	7,75	-
	60'	-	-	8,06	-	7,85	-
Materia orgánica**	(%)	4,29	5,04	4,91	4,82	4,90	3,18
Humedad actual	(%)	-	7,92	10,05	16,29	15,49	9,30
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,04	1,01	0,97	0,97	1,42
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				5,36		

\*\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 305

Fecha de observación: 14/3/03

Ubicación: Campo Vargas (arriba del cementerio) – Hoja Esquel

42° 54' 8,9" Lat S

71° 17' 14,4" Long O

Altitud: 670 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte media de ladera.

Pendiente: 13 %

Exposición: Suroeste.

Vegetación: pino ponderosa, coirón, calafate y vinagrillo con una cobertura vegetal del 90 %

Material originario: depósito de arena volcánica.

Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos ni signos importantes de erosión.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Haploxeroll.

Oi	0 - 1	Se presenta discontinuo siendo más profundo bajo la copa de los pinos y nulo entre los árboles.
A	1 – 34 cm	Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arenosa. Migajosa con tendencia a grano suelto. Consistencia ligeramente dura en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 13,9° C.
C1	34 – 85 cm	Gris (10YR 5/1) en seco y gris oscuro (10YR 4/1) en húmedo. Arenosa. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 50 cm: 13,5° C.
C2	85 - 110+ cm	Gris (10YR 5/1) en seco y gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Arenosa. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 100 cm: 13,3° C.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,36	6,60	6,88	6,88	6,93	6,93
pH FNa	2'	-	-	7,65	-	7,67	-
	60'	-	-	7,71	-	7,71	-
Materia orgánica*	(%)	3,18	3,25	3,05	3,20	3,17	3,33
Humedad actual	(%)	-	3,89	3,62	3,33	3,29	2,74
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	0,71	0,69	0,65	0,64	0,60
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				70,52		

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 306

Fecha de observación: 14/3/03

Ubicación: Campo Vargas (arriba del cementerio) – Hoja Esquel

42° 54' 9,4" Lat S

71° 17' 13,4" Long O

Altitud: 670 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte media de ladera.

Pendiente: 14 %

Exposición: Suroeste.

Vegetación: coirón y vinagrillo con una cobertura vegetal del 90 %

Material originario: depósito de arena volcánica.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Haploxeroll.

- |    |              |   |
|----|--------------|---|
| A  | 0 – 29 cm    | Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arenosa. Grano suelto con tendencia a migajosa. Consistencia ligeramente dura en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 13,5° C.                            |
| C1 | 29 – 70 cm   | Gris (10YR 5/1) en seco y gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Arenosa. 1 % de fragmentos gruesos angulares de tamaño menor a 2 cm de diámetro. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 50 cm: 13,2° C. |
| C2 | 70 - 110+ cm | Gris (10YR 5/1) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Arenosa. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 100 cm: 11,9° C.   |

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,46	6,72	7,05	7,09	7,41	7,41
pH FNa	2'	-	-	7,70	-	7,64	-
	60'	-	-	7,77	-	7,71	-
Materia orgánica*	(%)	5,61	4,62	4,94	4,97	4,52	4,49
Humedad actual	(%)	-	6,05	15,87	22,10	33,85	38,14
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	0,70	0,70	0,63	0,64	0,62
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )			51,89			

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 259

Fecha de observación: 26/2/03

Ubicación: U.N.P.S.J.B. - Hoja Esquel

42° 55' 49,2" Lat S

71° 21' 57,9" Long O

Altitud: 610 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: ladera en cono aluvial.

Pendiente: 6 %

Exposición: Este.

Vegetación: pino ponderosa, coirón y vinagrillo con una cobertura vegetal del 100 %

Material originario: ceniza volcánica sobre depósito aluvial.

Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos ni signos importantes de erosión.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Haploxeroll.

Oi	0 - 1	Se presenta discontinuo siendo más profundo bajo la copa de los pinos y nulo entre los árboles.
A1*	1 – 11cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 1 cm de diámetro. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces finas. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y moderada). Temperatura a los 5 cm: 18° C.
A2	11 – 48 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. 30 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Bloques subangulares, medios y finos, débiles con tendencia a grano suelto. Consistencia dura en seco. Abundantes raíces finas, medias y gruesas. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y fuerte).





A2	8 – 31 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. 10 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 2 cm de diámetro. Bloques subangulares, medios y finos, débiles con tendencia a masivo. Consistencia dura en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave).
C1	31 – 80 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. 30 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Bloques subangulares, medios, débiles con tendencia a grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y moderada). Temperatura a los 50 cm: 14,7° C.
C2	80 - 110+ cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arena franca. 30 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Reacción al FNa: positiva (lenta y moderada). Temperatura a los 100 cm: 13,3° C.

\*Tiene características de enlame, el material está entrampado con la hojarasca de coirón.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	5,58	6,44	6,71	6,96	7,11	7,14
pH FNa	2'	-	-	8,09	-	8,06	-
	60'	-	-	8,77	-	9,10	-
Materia orgánica**	(%)	5,45	3,57	3,93	3,80	3,73	3,57
Humedad actual	(%)	-	4,12	8,24	7,69	4,83	9,22
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,18	1,20	1,20	1,26	1,15
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	21,66					

\*\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 265

Fecha de observación: 24/1/03

Ubicación: Municipalidad de Esquel – Hoja Esquel

42° 55' 57,1" Lat S

71° 18' 51,5" Long O

Altitud: 850 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte media de ladera.

Pendiente: 8 %

Exposición: Suroeste.

Vegetación: pino ponderosa, coirón y gramíneas con una cobertura vegetal del 90 %

Material originario: ceniza volcánica.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Vitrandic Haploxeroll.

Oi	0 – 1 cm	Se presenta discontinuo siendo más profundo bajo la copa de los pinos y nulo entre los árboles.
A*	1 – 16 cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Franco arenosa. Grano suelto con tendencia a granular, muy fino, débil. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 5 cm: 12,5° C.
C1	16 – 73 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Franca. 5 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva con tendencia a bloques angulares, medios y grandes, fuertes. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 12° C.
C2	73 – 91+ cm	Pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Franca. 5 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva con tendencia a bloques angulares, medios y gruesos, fuertes. Raíces comunes. Reacción al FNa: negativa.

\*Tiene características de enlame.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,42	6,65	6,83	6,83	6,86	6,96
pH FNa	2'	-	-	7,73	-	7,83	-
	60'	-	-	7,77	-	7,89	-
Materia orgánica**	(%)	4,09	4,24	3,78	3,56	3,88	3,21
Humedad actual	(%)	-	5,02	12,59	14	5,39	6,02
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,14	1,05	0,96	1,05	1,16
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				7,42		

\*\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 266

Fecha de observación: 24/1/03

Ubicación: Municipalidad de Esquel – Hoja Esquel

42° 55' 59,6" Lat S

71° 18' 58,3" Long O

Altitud: 850 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte media de ladera.

Pendiente: 15 %

Exposición: Suroeste.



Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: pino ponderosa, coirón y neneo con una cobertura vegetal del 50 %

Material originario: depósito glacifluvial mezclado con ceniza volcánica.

Condición de la superficie del suelo: muy escombroso (70 %) con fragmentos chicos (pavimento de erosión). Hay erosión laminar.

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal y ganadero.

Clasificación: Vitrandic Haploxeroll.

Oi	0 – 2 cm	Se presenta discontinuo siendo más profundo bajo la copa de los pinos y nulo entre los árboles.
A	2 – 29 cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Areno franca. 30 % de fragmentos gruesos, redondeados de tamaño menor a 0,5 cm de diámetro. Bloques subangulares, medios, fuertes. Raíces comunes, medias y finas. Límite difuso y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 8,5° C.
C	29 – 92 cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Areno franca. 30 % de fragmentos gruesos, redondeados de tamaño menor a 0,5 cm de diámetro. Masiva con tendencia a grano suelto. Pocas raíces. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 10,5° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,23	6,78	6,89	7,09	7,01	7,20
pH FNa	2'	-	-	7,78	-	7,76	-
	60'	-	-	7,85	-	7,96	-
Materia orgánica*	(%)	3,39	2,88	2,93	2,87	2,50	2,57
Humedad actual	(%)	-	2,25	2,18	1,83	1,96	-
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,48	1,54	1,58	1,63	-
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				18,62		

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 264

Fecha de observación: 23/1/03

Ubicación: Aeropuerto Esquel - Hoja Esquel

42° 56' 17,8" Lat S

71° 11' 29,4" Long O

Altitud: 750 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie glacifluvial.

Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: coirón y neneo con una cobertura vegetal del 50 %

Material originario: depósito glacifluvial mezclado con ceniza volcánica.

Condición de la superficie del suelo: muy escombroso (70 %) con fragmentos chicos (pavimento de erosión). Hay erosión laminar.



Oi	0 – 3 cm	Se presenta en parte discontinuo siendo más profundo bajo la copa de los pinos y casi nulo entre los árboles.
A	3 – 26 cm	Pardo oscuro (10YR 3/3) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Arena franca. 40 % de fragmentos gruesos, redondeados de tamaño menor a 7 cm de diámetro. Masiva con tendencia a migajosa. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (instantánea y fuerte). Temperatura a los 5 cm: 13,2° C.
AB	26 – 47 cm	Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Arena franca. 40 % de fragmentos gruesos, redondeados de tamaño menor a 7 cm de diámetro. Masiva con tendencia a migajosa. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (instantánea y fuerte).
Bw	47 – 83 cm	Pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Arena franca. 40 % de fragmentos gruesos, redondeados de tamaño menor a 7 cm de diámetro. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: positiva (instantánea y fuerte). Temperatura a los 50 cm: 12,9° C.
2C	80+ cm	90 % de fragmentos gruesos redondeados de hasta 15 cm de diámetro. Temperatura a los 80 cm: 12,5° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad cm					
		5	10	30	40	60	90
PH actual	(1:1)	6,09	6,17	6,27	6,29	6,34	6,55
pH FNa	2'	-	-	10,26	-	10,80	-
	60'	-	-	11,43	-	11,64	-
Materia orgánica*	(%)	4,11	5,19	4,98	4,74	4,78	1,39
Humedad actual	(%)	-	6,70	6,06	5,06	3,51	1,20
Cte. Hídrica	0,03 MPa	-	15,98	17,41	18,98	22,33	21,22
(% en vol.)	1,5 MPa	-	8,66	9,41	10,27	12,32	12,08
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,22	1,29	1,30	1,45	1,83
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	11,75					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 248 Fecha de observación: 24/1/00

Ubicación: Lago Terraplén - Hoja Villa Futalaufquen

42° 58' 32,3" Lat S

71° 29' 46,1" Long O

Altitud: 720 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie glacifluvial.

Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: acaena, coirón y laura con una cobertura vegetal del 40 %

Material originario: ceniza volcánica sobre depósito glacial.  
 Condición de la superficie del suelo: escombroso (20 %) con fragmentos chicos (pavimento de erosión). Hay erosión laminar.  
 Drenaje: algo excesivamente drenado.  
 Uso de la tierra: ganadero.  
 Clasificación: Typic Vitrixerand.

A	0 – 28 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Arena franca. 40 % de fragmentos gruesos, redondeados de tamaño menor a 7 cm de diámetro. Grano suelto con tendencia a granular. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (instantánea y fuerte). Temperatura a los 5 cm: 18,9° C.
AB	28 – 40 cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Arena franca. 40 % de fragmentos gruesos, redondeados de tamaño menor a 7 cm de diámetro. Masiva con tendencia a grano suelto. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (instantánea y fuerte).
Bw	40 – 55 cm	Pardo amarillento claro (10YR 6/4) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Arena franca. 40 % de fragmentos gruesos, redondeados de tamaño menor a 7 cm de diámetro. Grano suelto. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: positiva (instantánea y fuerte). Temperatura a los 50 cm: 16,2° C.
2C	55 - 80+ cm	90 % de fragmentos gruesos redondeados de hasta 15 cm de diámetro. Reacción al FNa: positiva (instantánea y moderada). Temperatura a los 80 cm: 15,5° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad cm					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,29	6,46	6,42	6,45	6,44	6,40
pH FNa	2'	-	-	10,48	-	10,40	-
	60'	-	-	11,61	-	11,62	-
Materia orgánica*	(%)	6,14	6,66	6,27	6,22	6,10	2,16
Humedad actual	(%)	-	4,26	4,05	3,94	2,77	-
Cte. Hídrica	0,03 MPa	-	19,72	21,28	23,18	31,99	16,10
(% en vol.)	1,5 MPa	-	10,57	10,70	11,26	15,30	9,88
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,09	1,29	1,31	1,72	
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )				2,73		

\*Método Davies (combustión seca) (1974),



Número de perfil: 245 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.

Descripción geomórfica: parte superior de ladera larga.

Pendiente: 5 %

Exposición: Sureste.

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 signos de erosión.

Drenaje: bien drenado a moderadamente bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Haploxerand.

Oi 0 – 7 cm

Oe 7 – 8 cm

A 8 – 38 cm Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. 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 FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 5 cm: 11,2° C.

AC 38 – 68 cm Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. 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 FNa: positiva (instantánea y suave). Temperatura a los 50 cm: 11,7° C.

C 68 – 110+ cm Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca arenosa. 5 % de fragmentos gruesos de tamaño menor a 3 cm de diámetro. Masiva. Consistencia blanda en seco. Raíces comunes. Reacción al FNa: positiva (instantánea y suave). Temperatura a los 100 cm: 11° C.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,37	6,90	6,70	6,58	6,68	6,91
pH FNa	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 <sup>-3</sup> )	-	0,31	0,52	0,58	0,57	0,84
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )			17,71			

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 244

Fecha de observación: 24/1/00

Ubicación: Ea. El Parque - Hoja Trevelin

43° 02' 11,8" Lat S

71° 23' 7,7" Long O

Altitud: 670 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte superior de ladera larga.

Pendiente: 4 %

Exposición: Sureste.

Vegetación: gramíneas con una cobertura vegetal del 80 %

Material originario: ceniza volcánica.

Condición de la superficie del suelo: algunos bloques grandes redondeados de 1 m de diámetro. Sin signos de erosión.

Drenaje: bien drenado a moderadamente bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Haploxerand.

- |    |             |  |
|----|-------------|--|
| A  | 0 – 40 cm   | Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Franca arenosa. 15 % de fragmentos gruesos de tamaño menor a 4 cm de diámetro. Masiva con tendencia a grano suelto. Consistencia blanda en seco. Abundantes raíces, concentradas en los 10 cm superficiales. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 11,2° C. |
| AC | 40 – 60 cm  | Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. 15 % de fragmentos gruesos de tamaño menor a 4 cm de diámetro. Masiva. Consistencia blanda en seco. Moderadamente pocas raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 50 cm: 13,7° C.  |
| C  | 60 – 90+ cm | Pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franca arenosa. 15 % de fragmentos gruesos de tamaño menor a 4 cm de diámetro. Masiva. Consistencia blanda en seco. Pocas raíces. Reacción al FNa: positiva (lenta y suave). Temperatura a los 90 cm: 12,8° C.   |

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,40	6,78	6,81	6,99	7,07	6,97
pH FNa	2'	-	-	8,53	-	9,12	-
	60'	-	-	9,12	-	9,51	-
Materia orgánica*	(%)	10,13	6,49	5,95	6,19	5,27	4,59
Humedad actual	(%)	-	16,67	29,70	25,59	23,45	24,26
Cte. Hídrica	0,03 MPa	-	19,76	23,07	22,53	21,75	22,35
(% en vol.)	1,5 MPa	-	9,36	11,03	10,70	11,25	12,14
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	0,52	0,83	0,87	0,84	0,92
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )			18,84			

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 260

Fecha de observación: 20/1/03

Ubicación: H. Garzonio - Hoja Trevelin

43° 9' 4,6" Lat S

71° 24' 29,2" Long O

Altitud: 690 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie glacilacustre.

Pendiente: 7 %

Exposición: Noroeste.

Vegetación: pino ponderosa y gramíneas con una cobertura vegetal del 100 %

Material originario: depósito glacilacustre.

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

Drenaje: moderadamente bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Vitrandic Oxyaquic Haploxeroll.

Oi	0 – 3 cm	Hojarasca en parte mezclada con el pasto verde y en parte incorporada al suelo por pisoteo de animales.
A	3 – 33 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Franca. Bloques subangulares, medios y gruesos, fuertes con tendencia a granular. Raíces comunes. Límite claro y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 12,7° C.
AC	33 – 68 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Franca. Masiva con tendencia a bloques angulares, medios y gruesos. Raíces comunes. Límite claro y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 12,3° C.
C1	68 – 85 cm	Gris oscuro (10YR 4/1) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Franca arcillosa. 1 % de fragmentos gruesos en estado de meteorización. Masiva con tendencia a bloques angulares, muy gruesos, fuertes. Rasgos redoximórficos abundantes, finos y precisos. Pocas raíces. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 80 cm: 11,3° C.

2C2 85 - 99+ cm Pardo pálido (10YR 6/3) en seco y pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo. Arcillosa. 70 % de fragmentos gruesos redondeados de hasta 15 cm de diámetro. Pocas raíces. Reacción al FNa: negativa.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,29	6,23	6,48	6,41	6,51	6,65
pH FNa	2'	-	-	7,83	-	7,66	-
	60'	-	-	7,86	-	7,74	-
Materia orgánica*	(%)	11,08	8,57	7,59	7,24	5,13	2,11
Humedad actual	(%)	-	13,47	14,16	13,88	12,54	3,27
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	0,86	0,86	0,91	1,11	1,54
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	1,06					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 261 Fecha de observación: 20/1/03  
 Ubicación: H. Garzonio - Hoja Trevelin  
 43° 9' 6,1" Lat S 71° 24' 26,9" Long O  
 Altitud: 690 m.s.n.m.  
 Descripción geomórfica: planicie glacialacustre.  
 Pendiente: 5 %  
 Exposición: Noroeste.  
 Vegetación: gramíneas con una cobertura vegetal del 100 %  
 Material originario: depósito glacialacustre.  
 Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos ni signos de erosión.  
 Drenaje: moderadamente bien drenado.  
 Uso de la tierra: ganadero.  
 Clasificación: Vitrandic Oxyaquic Haploxeroll.

A 0 – 28 cm Pardo oscuro (10YR 3/3) en seco y gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Franca. 1 % de fragmentos gruesos de tamaño menor a 1 cm de diámetro. Bloques subangulares, medios, fuertes con tendencia a granular. Abundantes raíces. Límite claro y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Presencia de lombrices. Temperatura a los 5 cm: 17,7° C.

AC 28 – 52 cm Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Franca. 1 % de fragmentos gruesos de tamaño menor a 1 cm de diámetro. Masiva con tendencia a bloques subangulares, medios y gruesos, débiles. Raíces comunes. Límite claro y ondulado. Reacción al FNa: negativa. Presencia de lombrices. Temperatura a los 50 cm: 14,7° C.

C1	52 – 90 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Franca arcillosa. 50 % de fragmentos gruesos de tamaño menor a 10 cm de diámetro. Masiva con tendencia a bloques subangulares, medios, débiles. Rasgos redoximórficos abundantes, gruesos y débiles a partir de los 80 cm de profundidad. Pocas raíces. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 80 cm: 14° C.
2C2	90+ cm	90 % de fragmentos gruesos redondeados de hasta 15 cm de diámetro. Rasgos redoximórficos abundantes, gruesos y precisos. Pocas raíces. Reacción al FNa: negativa.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,52	6,56	6,57	6,61	6,61	7,01
pH FNa	2'	-	-	7,64	-	7,57	-
	60'	-	-	7,67	-	7,57	-
Materia orgánica*	(%)	11,24	9,03	7,48	6,68	4,45	1,52
Humedad actual	(%)	-	11,44	14,77	13,61	9,64	-
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	0,91	0,95	0,98	1,13	-
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )			0,74			

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 267

Fecha de observación: 27/1/03

Ubicación: Ea. Suñica – Hoja Trevelin

43° 10' 8,7" Lat S

71° 4' 42,1" Long O

Altitud: 720 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie glacialacustre.

Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 100 %

Material originario: ceniza volcánica.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Vitrandic Haploxeroll.

Oi 0 – 3 cm

Oe 3 – 6 cm Presencia de hifas de hongos.

Oa 6 – 12 cm Presencia de abundantes hifas de hongos y raíces en la superficie del horizonte A.

A	12 – 56 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Franco arenosa. Masiva con tendencia a granular fina, débil. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Presencia de lombrices. Temperatura a los 5 cm: 10,8° C.
C1	56 – 95 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Franco arenosa. Masiva con tendencia a bloques angulares, medios y gruesos, moderados. Consistencia firme en húmedo. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Presencia de lombrices. Temperatura a los 50 cm: 10° C.
C2	95 – 112+ cm	Gris oscuro (10YR 4/1) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Franco arenosa. Masiva con tendencia a bloques subangulares, medios, y gruesos, moderados. Consistencia friable en húmedo. Abundantes raíces. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 100 cm: 9,6° C.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,14	6,51	6,57	6,76	7,12	7,09
pH FNa	2'	-	-	7,86	-	7,85	-
	60'	-	-	7,91	-	7,90	-
Materia orgánica*	(%)	5,18	3,48	2,84	2,60	2,29	2,05
Humedad actual	(%)	-	5,34	4,38	3,70	4,16	9,87
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,10	1,27	1,42	1,27	1,35
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	66,54					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 268

Fecha de observación: 27/1/03

Ubicación: Ea. Suñica – Hoja Trevelin

43° 10' 3,3" Lat S

71° 4' 46,3" Long O

Altitud: 710 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie glacialacustre.

Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: neneo, coirón y vinagrillo con una cobertura vegetal del 70 %

Material originario: ceniza volcánica.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Vitrandic Haploxeroll.

0 – 2 cm Enlame.

A	2 – 36 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco y gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Franco arenosa. Masiva con tendencia a bloques subangulares, gruesos, moderados. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 5 cm: 23,3° C.
C1	36 – 69 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo. Franco arenosa. Masiva con tendencia a bloques subangulares, gruesos, moderados. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 50 cm: 13,9° C.
C2	69 – 100+ cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franco arenosa. Masiva con tendencia a grano suelto. Raíces comunes. Reacción al FNa: negativa. Temperatura a los 100 cm: 11,3° C.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	6,42	6,83	7,06	7,14	7,07	7,17
pH FNa	2'	-	-	7,86	-	7,88	-
	60'	-	-	7,93	-	7,96	-
Materia orgánica*	(%)	3,01	2,69	2,57	2,37	2,18	1,75
Humedad actual	(%)	-	3,57	4,03	4,55	6,92	11,12
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,30	1,24	1,22	1,34	1,29
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	15,87					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 169

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.

Descripción geomórfica: parte alta de ladera.

Pendiente: 0 % (llana).

Vegetación: pino ponderosa con una cobertura vegetal del 70 %

Material originario: ceniza volcánica.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Typic 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) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. Granular, fina, débil. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (instantánea y suave).
AC	26 – 61 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. Masiva con tendencia a grano suelto. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (instantánea y moderada).
C	61 – 110+ cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. Grano suelto. Raíces comunes. Reacción al FNa: positiva (instantánea y moderada).

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	5,89	6,14	6,20	6,34	6,39	6,39
pH FNa	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 <sup>-3</sup> )	-	1,40	1,36	1,29	1,31	1,27
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	7,14					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 170

Fecha de observación: 21/1/03

Ubicación: E. Torres – Hoja Corcovado

43° 29' 16,2" Lat S

71° 18' 30,6" Long O

Altitud: 770 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: parte media de ladera.

Pendiente: 20 %

Exposición: Noreste.

Vegetación: acaena con una cobertura vegetal del 40 %

Material originario: ceniza volcánica.

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

Drenaje: bien drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Typic Vitrixerand.

A	0 – 23 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro a pardo muy oscuro (10YR 2,5/2) en húmedo. Franca arenosa. 5 % de fragmentos gruesos de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Granular, débil con tendencia a grano suelto. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (lenta y moderada).
---	-----------	---



AC	23 – 90 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. 5 % de fragmentos gruesos de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva, débil. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (instantánea y suave).
C	90 – 150+ cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo. Arena franca. 5 % de fragmentos gruesos de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva. Moderadamente pocas raíces. Reacción al FNa: positiva (instantánea y suave).

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	5,73	6,19	6,38	6,43	6,53	6,50
pH FNa	2'	-	-	8,21	-	8,31	-
	60'	-	-	10,25	-	10,18	-
Materia orgánica*	(%)	3,58	3,52	3,25	3,43	3,33	2,71
Humedad actual	(%)	-	11,49	7,10	8,31	9,72	7,43
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,26	1,23	1,25	1,24	1,32
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )			6,30			

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 270

Fecha de observación: 29/1/03

Ubicación: Río Pico – Hoja Río Pico

44° 8' 2,9" Lat S

71° 26' 46,2" Long O

Altitud: 980 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie glacifluvial.

Pendiente: 1 %

Exposición: Sur.

Vegetación: pino ponderosa, coirón, neneo y acaena con una cobertura vegetal del 60 %

Material originario: ceniza volcánica sobre depósito glacifluvial.

Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos y con signos de erosión laminar con algunas manifestaciones de pedestal.

Drenaje: algo excesivamente drenado.

Uso de la tierra: forestal.

Clasificación: Haploxerand.

Oi	0 – 2 cm	Se presenta discontinuo siendo más profundo bajo la copa de los pinos y nulo entre los árboles. Abundante cantidad de hifas de hongos.
----	----------	--

A*	2 – 18 cm	Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. 3 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 1 cm de diámetro. Bloques subangulares, finos, débiles con tendencia a grano suelto. Abundantes raíces. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y fuerte). Temperatura a los 5 cm: 15,6° C.
C1	18 – 42 cm	Pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo. Franca arenosa. 10 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 3 cm de diámetro. Masiva con tendencia a bloques subangulares, medios, débiles. Abundantes raíces. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y fuerte).
2C2	42 - 72+ cm	90 % de fragmentos gruesos redondeados de hasta 20 cm de diámetro mezclados con ceniza volcánica. Raíces comunes. Reacción al FNa: positiva (rápida y fuerte). Temperatura a los 50 cm: 11,7° C.
3C3	72 – 90+ cm	90 % de fragmentos gruesos redondeados de hasta 20 cm de diámetro mezclados con arena de origen fluvial.

\*Tiene características de enlame.

#### Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	5,76	6,23	6,30	6,33	6,32	6,30
pH FNa	2'	-	-	10,10	-	9,89	-
	60'	-	-	11,12	-	11,07	-
Materia orgánica**	(%)	4,66	5,62	5,98	6,74	2,86	2,38
Humedad actual	(%)	-	4,24	6,61	13,80	-	-
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	1,13	0,99	0,97	-	-
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	32,03					

\*\*Método Davies (combustión seca) (1974).

Número de perfil: 271

Fecha de observación: 29/1/03

Ubicación: Río Pico – Hoja Río Pico

44° 8' 2,9" Lat S

71° 26' 42,8" Long O

Altitud: 980 m.s.n.m.

Descripción geomórfica: planicie glacifluvial.

Pendiente: 1 %

Exposición: Sur.

Vegetación: coirón y neneo con una cobertura vegetal del 50 %

Material originario: ceniza volcánica sobre depósito glacifluvial.

Condición de la superficie del suelo: sin fragmentos gruesos y con signos de erosión laminar con algunas manifestaciones de pedestal.

Drenaje: algo excesivamente drenado.

Uso de la tierra: ganadero.

Clasificación: Haploxerand.

A	0 – 10 cm	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Franca arenosa. 5 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 2 cm de diámetro. Granular fina, débil con tendencia a grano suelto. Raíces comunes. Límite claro y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y fuerte). Temperatura a los 5 cm: 15,0° C.
C1	10 – 43 cm	Pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo. Franca arenosa. 5 % de fragmentos gruesos redondeados de tamaño menor a 5 cm de diámetro. Masiva con tendencia a bloques angulares, gruesos, moderados. Raíces comunes. Límite abrupto y plano. Reacción al FNa: positiva (rápida y fuerte).
2C2	43 - 70+ cm	90 % de fragmentos gruesos redondeados de hasta 20 cm de diámetro mezclados con ceniza volcánica. Raíces comunes. Reacción al FNa: positiva (rápida y fuerte). Temperatura a los 50 cm: 11,9° C.
3C3	70 – 100+ cm	90 %de fragmentos gruesos redondeados de hasta 20 cm de diámetro mezclados con arena de origen fluvial.

Datos analíticos

		Profundidad (cm)					
		5	10	30	40	60	90
pH actual	(1:1)	5,93	6,26	6,45	6,45	6,54	6,53
pH FNa	2'	-	-	10,47	-	10,32	-
	60'	-	-	11,20	-	11,58	-
Materia orgánica*	(%)	7,34	7,29	6,37	7,15	5,48	1,20
Humedad actual	(%)	-	26,15	17,99	24,63	-	-
Densidad	(g cm <sup>-3</sup> )	-	0,99	0,95	0,91	-	-
Infiltración básica	(cm hora <sup>-1</sup> )	6,97					

\*Método Davies (combustión seca) (1974).

**ANEXO 2: Precipitación incidente (mm) y % de precipitación directa, interceptada y flujo de tronco en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.**

**Ea El Parque**

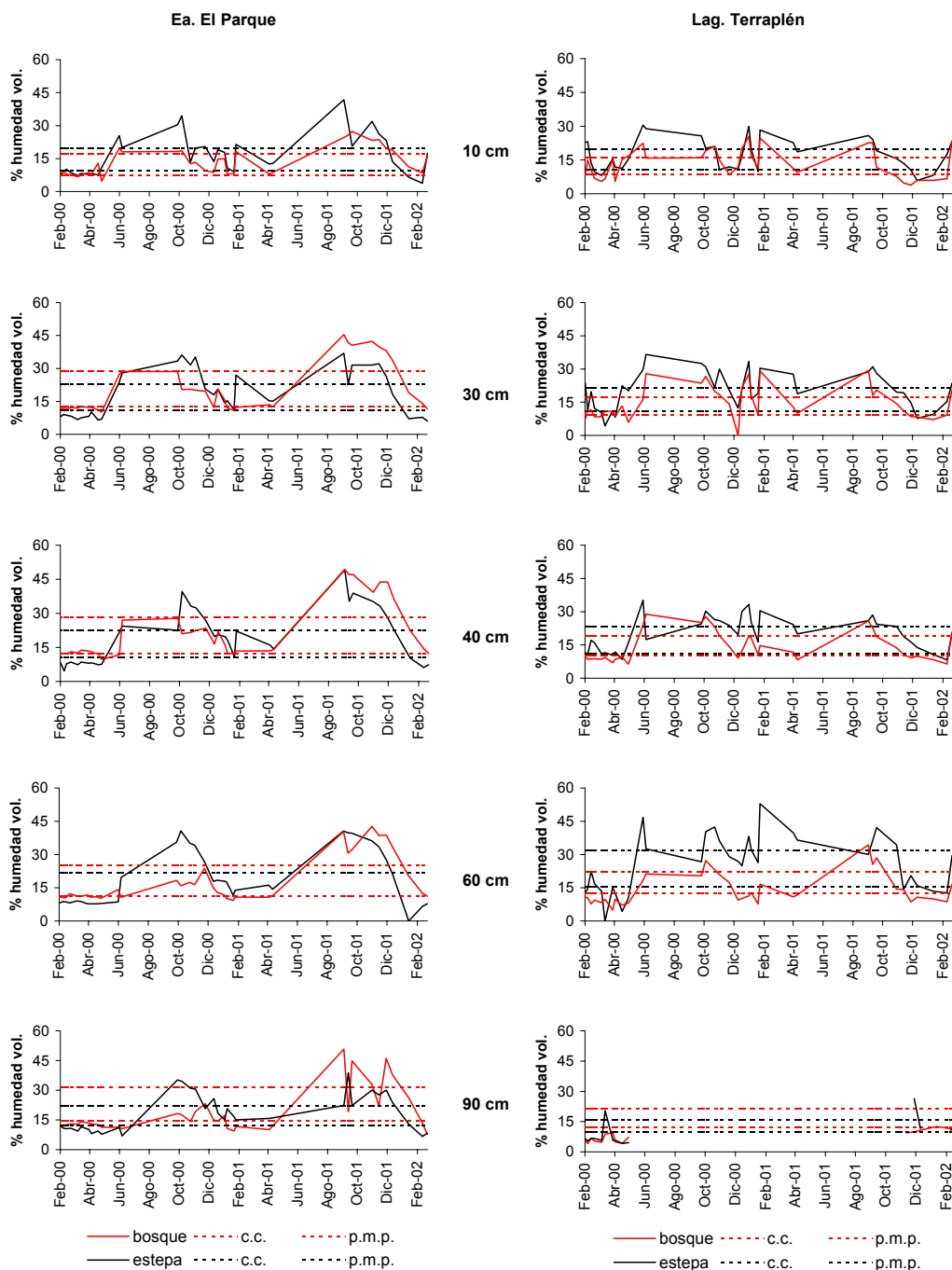
	Precipitación incidente (mm)	Fecha	Precipitación directa		Precipitación interceptada		Flujo de tronco	
			(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
	15	26-04-00	2,06	13,72	12,90	85,99	0,04	0,29
	8	03-05-00	1,42	17,75	6,57	82,11	0,01	0,14
	100	08-06-00	33,87	33,87	64,18	64,18	1,95	1,95
	16	14-06-00	2,78	17,66	12,92	82,14	0,03	0,19
	11	24-06-00	2,80	25,41	8,15	74,08	0,06	0,51
	18	03-07-00	3,02	16,79	14,84	82,44	0,14	0,77
	41	24-07-00	20,44	49,86	19,97	48,70	0,59	1,44
	56	02-08-00	19,82	35,39	35,03	62,56	1,15	2,05
	31	08-08-00	9,36	30,19	21,20	68,38	0,44	1,43
	2	17-08-00	0,08	4,06	1,92	95,94	0,00	0,00
	12	22-08-00	4,52	37,65	7,27	60,62	0,21	1,73
	10	30-08-00	3,38	33,80	6,58	65,79	0,04	0,41
	13	19-09-00	1,84	14,13	11,15	85,80	0,01	0,07
	32	25-09-00	11,05	34,53	20,33	63,54	0,62	1,93
	10	05-10-00	1,24	12,35	8,74	87,38	0,03	0,27
	66	14-10-00	24,47	37,08	40,16	60,85	1,37	2,07
	11	23-11-00	1,01	9,16	9,98	90,75	0,01	0,09
	28	27-12-00	8,42	30,06	19,41	69,31	0,18	0,63
	20	08-01-01	3,69	18,44	16,05	80,23	0,27	1,33
	16	10-01-01	6,73	42,05	8,92	55,74	0,35	2,21
	6	15-01-01	0,37	6,23	5,49	91,56	0,13	2,21
	91	31-01-01	39,65	43,57	47,90	52,64	3,45	3,79
	7	02-02-01	0,70	9,98	6,30	89,97	0,00	0,05
	4	10-02-01	0,00	0,00	4,00	100	0,00	0,00
	3	28-02-01	0,20	6,50	2,81	93,50	0,00	0,00
	20	05-03-01	8,16	40,79	11,00	55,02	0,84	4,20
	38	13-03-01	18,75	49,35	18,01	47,40	1,24	3,26
	2	19-04-01	0,13	6,50	1,87	93,50	0,00	0,00
	9	27-04-01	0,00	0,00	8,98	99,82	0,02	0,18
	24	06-06-01	4,09	17,06	19,79	82,45	0,12	0,49
	46	25-06-01	15,08	32,78	29,86	64,91	1,06	2,30
	68	04-07-01	28,24	41,53	38,26	56,26	1,50	2,21
	33	11-07-01	10,04	30,43	22,25	67,43	0,71	2,14
	17	30-08-01	2,78	16,35	14,21	83,60	0,01	0,05
	2	11-09-01	0,00	0,00	2,00	100	0,00	0,00
	6	20-09-01	1,15	19,23	4,84	80,68	0,01	0,09
	4	28-09-01	0,07	1,63	3,94	98,38	0,00	0,00
	5	04-10-01	0,00	0,00	5,00	100	0,00	0,00
	2	07-12-01	0,00	0,00	2,00	100	0,00	0,00
	1	22-01-02	0,00	0,00	0,49	98,76	0,01	1,24
	42	26-02-02	14,62	34,82	26,67	63,50	0,71	1,68
	24	01-03-02	6,56	27,35	17,29	72,04	0,15	0,61
<b>Total</b>	<b>970</b>		<b>313</b>	<b>32,22</b>	<b>639</b>	<b>65,90</b>	<b>17</b>	<b>1,80</b>

### Lag. Terraplén

	Precipitación incidente (mm)	Fecha	Precipitación		Flujo de tronco			
			directa (mm)	(%)	interceptada (mm)	(%)	(mm)	(%)
	13	09-05-00	2,67	20,50	9,82	75,56	0,51	3,94
	32	14-06-00	11,91	37,22	18,96	59,25	1,13	3,53
	32,5	24-06-00	14,24	43,80	16,56	50,96	1,70	5,24
	88	24-07-00	32,37	36,78	54,03	61,40	1,60	1,82
	81	02-08-00	28,29	34,92	48,61	60,01	4,10	5,06
	4	17-08-00	0,37	9,34	3,58	89,41	0,05	1,25
	16	22-08-00	6,34	39,61	9,34	58,36	0,32	2,03
	10	30-08-00	2,88	28,76	6,95	69,49	0,18	1,75
	32	19-09-00	10,60	33,11	20,36	63,61	1,05	3,28
	31	25-09-00	10,40	33,55	19,50	62,90	1,10	3,55
	5	05-10-00	1,25	25,03	3,60	71,98	0,15	3,00
	130	14-10-00	53,11	40,85	72,80	56,00	4,10	3,15
	62	27-12-00	23,86	38,48	34,45	55,56	3,70	5,97
	38	08-01-01	13,29	34,98	22,86	60,15	1,85	4,87
	22	10-01-01	10,27	46,68	10,98	49,91	0,75	3,41
	5	15-01-01	0,16	3,25	4,54	90,75	0,30	6,00
	112	31-01-01	49,49	44,19	58,31	52,06	4,20	3,75
	10	02-02-01	1,64	16,41	8,16	81,59	0,20	2,00
	11	10-02-01	0,10	0,89	10,60	96,39	0,30	2,73
	3	28-02-01	0,71	23,83	2,28	76,13	0,00	0,03
	24	05-03-01	8,42	35,07	14,48	60,35	1,10	4,58
	84	13-03-01	29,39	34,99	52,43	62,42	2,18	2,59
	30	27-04-01	5,56	18,53	23,04	76,81	1,40	4,67
	92	06-06-01	31,17	33,88	56,58	61,50	4,25	4,62
	78	25-06-01	32,50	41,67	41,65	53,40	3,85	4,94
	122	04-07-01	50,24	41,18	67,45	55,29	4,29	3,52
	82	11-07-01	35,90	43,78	42,25	51,52	3,85	4,70
	33	30-08-01	12,74	38,62	19,40	58,80	0,85	2,58
	17	20-09-01	6,60	38,81	9,65	56,78	0,75	4,41
	3	28-09-01	0,08	2,71	2,92	97,18	0,00	0,12
	6	22-11-01	0,00	0	5,85	97,50	0,15	2,50
	1,5	07-12-01	0,00	0	1,50	99,77	0,00	0,23
	23	19-02-02	11,60	50,45	10,50	45,64	0,90	3,91
	53	26-02-02	27,95	52,74	21,75	41,04	3,30	6,23
	36	01-03-02	22,17	61,57	11,53	32,04	2,30	6,39
<b>Total</b>	<b>1.422</b>		<b>548</b>	<b>38,56</b>	<b>817</b>	<b>57,47</b>	<b>56</b>	<b>3,97</b>

### ANEXO 3: Dinámica de la humedad edáfica a 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad en Ea. El Parque y Lag. Terraplén.

En cada parcela permanente (Ea. El Parque y Lag. Terraplén), según lo explicado en la Metodología General y en el Capítulo 3, se evaluó el contenido hídrico del suelo con cápsulas de yeso ubicadas a 10, 30, 40, 60 y 90 cm de profundidad. Se instalaron para ello, 5 sensores dentro del bosque y 5 en la estepa adyacente. También se extrajeron muestras de suelo con barreno a las mismas profundidades, para determinar el porcentaje de humedad (método gravimétrico) y poder calibrar el funcionamiento de los sensores. En Lag. Terraplén a los 90 cm se tuvieron problemas con los registros debido a la abundante presencia de fragmentos gruesos. Las mediciones se realizaron entre el 9/2/00 y el 1/3/02 en forma periódica, dependiendo la frecuencia de medición de la época del año y de la lluvia caída (c.c. = 0,03 MPa, p.m.p. = 1,5 MPa).



**ANEXO 4: Grado de alofanización de la ceniza volcánica en base al pH FNa (solución pH 7,6 – 7,8) a los 2 y 60 minutos bajo bosque y estepa en los 29 lugares estudiados (ver Tabla 1, en Metodología General)**

Lugar	Prof. (cm)	Bosque			Estepa		
		2'	60'	arcilla	2'	60'	arcilla
293	30	10,8	11,6	alófano	10,0	11,1	alófano
	60	10,7	11,6	alófano	10,8	11,9	alófano
299	30	7,8	7,9	haloisita	7,7	8,2	haloisita
	60	8,1	8,0	haloisita	7,8	7,9	haloisita
289	30	8,7	9,0	haloisita	8,0	8,2	haloisita
	60	7,9	8,2	haloisita	8,0	8,1	haloisita
291	30	9,3	10,0	alófano	9,0	9,9	imogolita
	60	9,3	10,1	alófano	9,5	9,9	alófano
295	30	8,1	8,2	haloisita	8,0	8,1	haloisita
	60	7,9	8,0	haloisita	7,8	7,8	haloisita
297	30	8,1	8,6	haloisita	9,1	9,5	imogolita
	60	8,1	8,4	haloisita	9,1	9,6	imogolita
279	30	9,3	10,0	alófano	8,7	9,9	imogolita
	60	9,3	9,9	alófano	8,6	9,2	imogolita
274	30	7,9	8,0	haloisita	7,9	8,1	haloisita
	60	7,8	7,9	haloisita	7,9	7,9	haloisita
276	30	9,1	9,3	imogolita	8,9	9,3	imogolita
	60	8,7	9,4	imogolita	8,6	8,9	haloisita
280	30	7,8	7,9	haloisita	7,7	7,8	haloisita
	60	7,8	7,8	haloisita	7,7	7,8	haloisita
284	30	7,6	7,7	haloisita	7,5	7,6	haloisita
	60	7,6	7,6	haloisita	7,6	7,7	haloisita
282	30	10,1	10,4	alófano	10,2	10,3	alófano
	60	10,3	10,7	alófano	10,2	10,6	alófano
309	30	7,9	8,0	haloisita	8,0	8,0	haloisita
	60	8,0	8,1	haloisita	8,0	8,0	haloisita
55	30	7,6	7,6	haloisita	7,7	7,7	haloisita
	60	7,8	7,8	haloisita	7,8	7,8	haloisita

Lugar	Prof. (cm)	Bosque			Estepa		
		2'	60'	arcilla	2'	60'	arcilla
257	30	8,7	10,1	imogolita	9,0	9,9	imogolita
	60	8,4	10,0	imogolita	8,8	9,9	imogolita
17	30	7,8	8,3	haloisita	8,0	8,6	haloisita
	60	7,9	8,9	haloisita	7,9	8,3	haloisita
287	30	7,8	8,0	haloisita	7,9	8,0	haloisita
	60	7,8	7,9	haloisita	7,7	7,8	haloisita
272	30	8,3	8,8	haloisita	7,8	7,9	haloisita
	60	8,1	8,3	haloisita	7,9	7,9	haloisita
307	30	8,3	8,8	haloisita	8,0	8,1	haloisita
	60	8,0	8,3	haloisita	7,8	7,9	haloisita
305	30	7,6	7,7	haloisita	7,7	7,8	haloisita
	60	7,7	7,7	haloisita	7,6	7,7	haloisita
259	30	8,4	9,3	imogolita	8,1	8,8	haloisita
	60	8,2	9,4	imogolita	8,1	9,1	haloisita
265	30	7,7	7,8	haloisita	7,8	7,8	haloisita
	60	7,8	7,9	haloisita	7,7	7,7	haloisita
263	30	7,8	7,8	haloisita	7,8	7,9	haloisita
	60	7,8	8,0	haloisita	7,8	7,9	haloisita
247	30	10,3	11,4	alófano	10,5	11,6	alófano
	60	10,8	11,6	alófano	10,4	11,6	alófano
245	30	9,5	9,8	alófano	8,5	9,1	haloisita
	60	10,1	10,3	alófano	9,1	9,5	imogolita
260	30	7,8	7,9	haloisita	7,6	7,7	haloisita
	60	7,7	7,7	haloisita	7,6	7,6	haloisita
267	30	7,9	7,9	haloisita	7,9	7,9	haloisita
	60	7,9	7,9	haloisita	7,9	8,0	haloisita
169	30	7,8	9,1	haloisita	8,2	10,2	imogolita
	60	8,4	10,2	imogolita	8,3	10,2	imogolita
270	30	10,1	11,1	alófano	10,5	11,2	alófano
	60	9,9	11,1	alófano	10,3	11,6	alófano