

Estructura y porosidad en andisoles con vegetación natural y con plantaciones de *Pinus ponderosa* Dougl. en el sudoeste de Neuquén, Argentina*

Structure and porosity of andisols under natural vegetation and *Pinus ponderosa* Dougl.
Plantations in Southwest Neuquén, Argentina

P. BROQUEN, G. FALBO, C. FRUGONI, J. L. GIRARDIN, M. GUIDO, P. MARTINESE

Facultad Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue,
Pasaje de la Paz 235, 8370 S. M. Andes, Argentina

SUMMARY

The effect of vegetation on morphological soil features was examined by characterizing twenty-six sites in southwest Neuquén province, Argentina. Thirteen sites were under native vegetation *Nothofagus* forest and thirteen under *Pinus ponderosa* Dougl. Four representative soil profiles were compared, under both conditions, to establish if there were any relationships between vegetation change and soil porosity, soil water retention and soil structure. For each horizon, three samples were plotted for bulk density and three undisturbed samples for water characterization. Hydric constants were determined for disturbed and undisturbed samples. Hydric contents at low tension were made with tension tables, and others with a pressure plate extractor. Total porosity and pore size distribution (macropores and micropores) were determined. A change in soil structure from granular to massive was observed under ponderosa pine at all sites. No significant changes in bulk density and total porosity were detected between the vegetation conditions. The change in soil structure reflected the change in pore size distribution, increasing microporosity and decreasing macroporosity under ponderosa pine.

Key words: water retention, volcanic ash, andinopatagonia, *Nothofagus*, *Pinus ponderosa* Dougl.

RESUMEN

Se caracterizaron veintiséis sitios, trece bajo vegetación nativa de bosque de *Nothofagus* y trece bajo vegetación implantada con *Pinus ponderosa* Dougl. para determinar el efecto que la vegetación pueda tener sobre las características morfológicas del suelo en el sudoeste de la Provincia del Neuquén, Argentina. En cuatro perfiles representativos se compararon estructura y porosidad bajo esas dos condiciones, para establecer si existe relación entre el tipo de vegetación y la porosidad, la retención hídrica y la estructura. Se tomaron tres muestras por horizonte para densidad aparente y tres muestras no disturbadas para la caracterización hídrica. El contenido de humedad a bajas tensiones se determinó en mesas de tensión y las demás con la placa extractora por presión. Se calculó la porosidad total y la distribución por tamaño de poros (macroporos y microporos). Se observó un cambio de estructura en todos los sitios bajo pino ponderosa, pasando de granular a masivo. No se encontró diferencia significativa en la densidad aparente, y la porosidad total se mantuvo bajo las dos condiciones de vegetación. El cambio en la estructura refleja el cambio de la distribución del tamaño de poros, aumentando la microporosidad y disminuyendo la macroporosidad bajo pino ponderosa.

Palabras clave: retención hídrica, ceniza volcánica, andinopatagonia, *Nothofagus*, *Pinus ponderosa* Dougl.

* Subsidiado por la Secretaría de Investigación de la Universidad Nacional del Comahue dentro del Proyecto de Investigación S003.

INTRODUCCION

En la región andinopatagónica los suelos derivados de cenizas volcánicas adquieren gran relevancia, en relación con el uso forestal, por su amplia distribución areal, por su potencial forestal y por sus propiedades particulares y únicas. Las principales particularidades se centran en las propiedades físicas, que son atribuibles al material parental; incluyen: el color muy oscuro, la dificultad en la dispersión de arcillas, la baja densidad aparente, la alta capacidad de retención hídrica acompañada de una alta permeabilidad, así como un desecamiento irreversible al aire (Besoin 1985, Shoji *et al.* 1993, Wada 1985, Maeda *et al.* 1977).

Es importante considerar que el éxito de la silvicultura sustentable está indefectiblemente ligado con el desarrollo y adopción de prácticas que integran el potencial genético de las especies y la disponibilidad de agua y nutrientes del suelo en el largo plazo (Nambiar 1995).

Se torna fundamental profundizar el conocimiento del comportamiento del sistema suelo-agua, considerando el particular comportamiento del agua en los suelos derivados de cenizas volcánicas y los pocos antecedentes existentes en la región. Colmet Daage *et al.* (1988) plantean las particularidades de estos suelos citando altos valores de retención hídrica, que en algunos casos superan el 100% base seca, llegando en Chile al 200% base seca, e informan valores de retención métrica a 1.5 MPa, 0.033 MPa, así como el contenido de agua al fin de la estación seca en una serie de perfiles dentro de la transecta Paso Hua Hum-Collón Cura. Estos valores pueden variar según el uso de los suelos y son muy pocos los antecedentes en la zona sobre el tema (Broquen *et al.* 1995). En Chile se encuentran trabajos realizados sobre suelos volcánicos relacionados con cambios en la porosidad debidos al uso (Ellies 1995 a, b, Ellies *et al.* 1993 a, b). Se encontró, como consecuencia del uso forestal, una reducción de la porosidad total y una redistribución de tamaño de poros, donde la reducción se produce en la pérdida de la porosidad gruesa, que se transforma en pequeña. Tamura *et al.* (1990) estudia los cambios de propiedades de un andosol en Japón, encontrando cambios en la estructura después de pocos años de la instalación de vegetación secundaria, en un suelo desnudo donde la estructura migajosa y la agregación eran casi ausentes. En los 6 a 10 años posteriores se desarrolló una estructura granular. Según

la vegetación que fue sustituyendo a la primera sucesión se observó un cambio microestructural. La microestructura bajo pastura era en bloques subangulares, al desarrollarse el bosque pasó a migas y granulos con una alta porosidad y conductividad hidráulica. Por otro lado, el mismo autor (Tamura *et al.* 1991) en trabajos experimentales sucesivos en un andosol encuentra el desarrollo de estructura migajosa con un incremento de los poros mayores de 2 mm y un incremento de la conductividad hidráulica. Los resultados de estos trabajos sugieren que los suelos ándicos desarrollan en pocos años la estructura luego de la instalación de vegetación secundaria. Sato y Tokunaga (1989) a través del examen de macroporos de Andosoles encuentran la formación de macroporos por raíces de las plantas, que permiten tanto la retención de agua como el drenaje.

En este estudio se consideran variaciones morfológicas de suelos derivados de cenizas volcánicas, asociadas a distintos tipos de vegetación consecuencia de las plantaciones realizadas con coníferas exóticas en la región andinopatagónica, Provincia del Neuquén, en la zona correspondiente al bosque muy húmedo a húmedo. Se pretende lograr un aporte a la comprensión de la relación entre la porosidad y la retención de agua en suelos derivados de cenizas volcánicas que han sido sometidos a diferentes usos. Para esto se caracterizan las propiedades hídricas bajo dos condiciones de uso, bajo vegetación natural (bosque mixto de diferentes especies del género *Nothofagus*) y bajo vegetación implantada con coníferas (*Pinus ponderosa* Dougl, pino ponderosa).

El objeto de este trabajo es estudiar las relaciones entre la porosidad, la retención hídrica, la estructura y su variación bajo pino ponderosa dentro de la biosecuencia bosque húmedo muy húmedo en la región andinopatagónica en la Provincia del Neuquén. El pino ponderosa es la especie utilizada en forestaciones de importancia comercial que abarca mayores superficies.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se localiza en el sudoeste de la Provincia de Neuquén, en una zona caracterizada por la presencia de la Cordillera de los Andes, con una altitud de alrededor de 2.000 m que desciende paulatinamente hacia el este hasta aproximadamente los 600 m, modelada por la acción de los

glaciares y cubierta luego por depósitos de cenizas volcánicas. Los vientos dominantes, dirección oeste-este, cargados con humedad del Océano Pacífico, se van tornando más secos a medida que se alejan de la cordillera (Colmet Daage *et al.* 1988).

En la zona boscosa los suelos se caracterizan por ser en su mayoría alofanizados, profundos, con densidades aparentes $< 0.9 \text{ Mg m}^{-3}$. Tienen altos porcentajes de materia orgánica, entre el 10 y 5% en superficie, una capacidad de intercambio catiónico relativamente alta, con predominio de las cargas variables. Estas cargas tienen su origen en la presencia de alófanos y materia orgánica. La retención de fósforo es alta, en general superior al 85%, la disponibilidad de las bases de cambio es baja en la zona muy húmeda ($3-6 \text{ cmol kg}^{-1}$) y buena en la zona húmeda ($10-15 \text{ cmol kg}^{-1}$) (Colmet Daage *et al.* 1988). El régimen térmico de los suelos es méxico y el hídrico es údico (Ferrer *et al.* 1991).

Para determinar los límites de la biosecuencia bosque se consideró como extremo oeste la Cordillera de los Andes y hacia el este la Loma Atravesada ($40^{\circ}3'35'' \text{ LS}$, $72^{\circ}12'19'' \text{ LO}$). Para fijar el extremo este se tuvieron en cuenta los cambios que ocurren a nivel del suelo, producto del pasaje del régimen údico a un dominio del régimen xérico, asociado a su vez al cambio de vegetación. El cambio de régimen hídrico de los suelos genera un cambio en la edafogénesis, que se manifiesta en variaciones en la composición mineralógica, con presencia de arcillas embrionarias, determinando su transición a molisoles. Esta transición está detectada en perfiles de suelo ubicados hacia el este de Loma Atravesada (Colmet Daage *et al.* 1988).

Se seleccionó el pino ponderosa por ser la especie con la que se ha forestado un mayor número de hectáreas en la región, y el orden andisoles, por ser el de mayor distribución areal de importancia forestal, abarcando una mayor área asociada a los sitios con mayor índice de sitio (Girardin y Broquen 1995) en la biosecuencia seleccionada.

Criterios de selección de las unidades de muestreo: Para la selección de los puntos de muestreo se consideró:

- Una transecta oeste-este, abarcando las posibles variaciones biotopo-climáticas existentes dentro de la biosecuencia bosque.
- Suelos derivados de cenizas volcánicas, monitoreando las propiedades ándicas con el test de Fieldes y Perrotts a campo.
- Situaciones bajo vegetación nativa e implantada en equivalentes condiciones de sitio: igual posición, exposición, grados de pendiente, colindantes. Con una distancia de 20 m de separación, garantizando la mínima influencia de la vegetación implantada sobre la natural, tanto a nivel hojarasca como de raíces.
- Plantaciones con densidades entre 500 y 2.500 ejemplares por hectárea, sin intervenciones silvícolas que hayan alterado notablemente el suelo, tales como quemas, extracciones de ejemplares con remoción de hojarasca o raleos intensivos. Con edades entre 14 y 56 años. La edad de las plantaciones se determinó por lectura de anillos de tarugos extraídos con barrenos de incremento.
- Vegetación nativa en condiciones lo más próxima posible a su situación de origen, al momento de realizada la plantación. Como situación de origen se consideraron los sitios con vegetación natural en los que no se evidencien alteraciones notables desde la instalación de la plantación, que no hayan sido sometidas a extracciones, quemas, ni a un uso agrícola o ganadero intensivo o correspondan a cortafuegos. Para esto se consideró la historia previa, en general indocumentada, aportada por los pobladores, administradores o propietarios de los establecimientos.

El límite de la transecta se fijó entre la Estancia Quechuquina ($40^{\circ}09' \text{ LS}$, $71^{\circ}35' \text{ LO}$) y la vertiente oeste de Loma Atravesada de Taylor ($40^{\circ}05' \text{ LS}$, $71^{\circ}12' \text{ LO}$), por ser éstas las situaciones extremas dentro de la biosecuencia donde se encuentran plantaciones. Las precipitaciones varían de oeste a este entre los 2.000 mm y los 1.200 mm, la vegetación natural dominante en la transecta corresponde a la formación de bosque mixto de diferentes especies del género *Nothofagus*. Hacia el oeste del bosque mixto de *Nothofagus* con dominio del *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Blume. (roble pellín) y/o *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Blume. (coihue) y/o *Nothofagus alpina* (Phil) Dim. et Mil. (raulí). Las especies más frecuentes del sotobosque fueron *Berberis heterophylla* (berberis), *Chusquea culeou* E. Desv. (caña colihue), *Trifolium sp* (trébol), *Ovidia andina* (Poepp et Endl.) Meissn. (pillo-pillo). La vegetación pasa hacia el este a bosque mixto abierto de *Lomatia hirsuta* (Lam.) Diels (radal) y/o *Nothofagus antarctica* (Forst.f.) Oerst. (ñire), a ñiranto - pastizal compuesto por bosquetes de ñire con *Mulinum espinosum* Pers. (neneo), *Stipa*

speciosa. Trin (coirón amargo), *Festuca pallescens* (St.Yv.), Parodi (coirón dulce), *Acaena splenden* (acaena), acorde con los antecedentes (Movia *et al.* 1981, Colmet Daage *et al.* 1988).

Se seleccionó un total de trece situaciones en diferentes condiciones de sitio, abarcando cada una de ellas dos parcelas en condiciones equivalentes, una bajo vegetación implantada y otra bajo vegetación nativa. Se determinaron las especies dominantes del estrato dominante y del sotobosque. Se estimó el grado de cobertura vegetal para ambos tipos de vegetación.

De los trece sitios se seleccionaron cuatro unidades de muestreo representativas de los extremos de la biosecuencia bosque, dos en el extremo este y dos en el oeste. En cada caso se realizó la descripción y toma de muestras para realizar el estudio de las propiedades físicas. Las propiedades físicas estudiadas fueron aquellas que pueden ser modificadas por el uso, relacionadas con la porosidad total y distribución de porosidad entre macroporos y microporos.

La porosidad total (PT): se calculó utilizando el valor de densidad de partícula $\delta_s = 2.65 \text{ Mg m}^{-3}$ y densidad aparente δ_a , siendo la $PT = (1 - \delta_a / \delta_s)$. Se utilizó ese valor de densidad de partícula dado que Shoji *et al.* (1993) hacen notar que los alófanos en los andisoles tienen densidades de partícula entre 2.5 y 2.7 Mg m^{-3} , planteando que es similar para otros suelos minerales. Para densidad aparente se tomaron tres muestras por horizonte, utilizando el método del cilindro (SAMLA 1996). Las propiedades de estos suelos permiten el uso del cilindro para determinar la densidad aparente (Broquen *et al.* 1995). Los cilindros fueron construidos con tres aros móviles encastrados, el central de volumen fijo, con una relación altura/diámetro próxima a 0.35 (diámetro de 7 cm y una altura de 2.5 cm). El aro inferior biselado, afilado y el superior de apoyo, de forma tal de facilitar la penetración, el corte del suelo y minimizar las deformaciones. El muestreo se realizó en el mismo momento en cada sitio bajo ambos usos, a modo de minimizar el sesgo que las variaciones estacionales pueden llegar a generar en la estructura del suelo y su densidad.

Para la caracterización hídrica se tomaron tres muestras no disturbadas por horizonte, con cilindros de volumen y peso conocido, sustituyendo el equipamiento adecuado que acompaña los platos extractores, tomadas con cilindros de menor tama-

ño, similares a los utilizados para densidad aparente, respetando el criterio que la altura fuese menor que el diámetro. Las determinaciones se hicieron con muestras no disturbadas a excepción del valor correspondiente a la tensión de 1.5 MPa. Fue necesario ajustar la metodología y repetir las mediciones, considerando los mayores tiempos insumidos al utilizar muestras no disturbadas. Las constantes hídricas se determinaron además con muestras disturbadas, para tener un parámetro de comparación con otros trabajos, y poder realizar una primera estimación de las variaciones que el uso de muestras no disturbadas pueda generar.

La distribución de porosidad: se estimó por el método de desorción de agua a partir de las muestras no disturbadas, saturadas por humectación gradual, sin desecación previa al aire. Para tamaño de poros se considera el diámetro equivalente estimado por la retención del líquido y la presión capilar, tomando 10 μm para el límite entre macroporos (MP) y microporos (mp). El límite entre MP y mp no es claro, se encuentran citas de diferentes valores (Kay 1990, Oades y Waters 1991, Dexter 1988, Ellies *et al.* 1993a). Tomando el valor de 10 μm se incluirían como mp los mesoporos y microporos (Dexter 1988). Esto a su vez coincide con el valor citado por Ellies (1995a, b), Ellies *et al.* (1993 a, b) por encima del cual corresponde a poros ocupados por aire de drenaje de lento a rápido.

El contenido de humedad a diferentes tensiones: se determinó a partir de tres muestras no disturbadas por horizonte. Se usaron mesas de tensión para determinar con mayor exactitud los contenidos de humedad entre saturación y 0.020 MPa (Danielson y Sutherland 1986). Los puntos a 0.033, 0.1, 0.3, 0.5, 1.5 MPa se determinaron con el plato extractor por presión. El valor a 1.5 MPa se determinó con el plato extractor usando muestras disturbadas, correspondiendo este valor a la porosidad textural, la que es menos afectada por la variabilidad del suelo o la estructura (INTA 1998).

RESULTADOS Y DISCUSION

Del análisis de los antecedentes se desprende que los valores de retención hídrica a 1.5 MPa (P. M. P.) y 0.033 MPa (C.C.) se obtuvieron de muestras disturbadas utilizando la metodología tradi-

cional. Es importante considerar que las muestras disturbadas no reflejan las condiciones de campo, lo que se acentuaría en estos suelos dada la estructura de finos agregados muy estables, con un tamaño de agregados similar al limo o a la arena (Mizota y van Reeuwijk 1989). En diferentes estudios realizados en Japón (Shoji *et al.* 1993) se encontraron grandes diferencias utilizando muestras no disturbadas en particular para capacidad de campo (0.033 MPa).

En los suelos derivados de cenizas volcánicas, la distribución de los agregados está más fuertemente relacionada con la distribución y el tamaño de los poros y la retención de agua que con la distribución y tamaño de las partículas (Shoji *et al.* 1993). La textura no permite predecir el comportamiento de suelos alofánicos dado que los agregados no se pueden dispersar con los métodos tradicionales de análisis mecánico (Besoain 1985, Maeda *et al.* 1977). Esto genera grandes diferencias entre las determinaciones a campo y de laboratorio, no reflejando la composición granulométrica el comportamiento del suelo. Se utiliza para estos suelos un modificador de la textura a campo aplicándose el termino "aparente" (Soil Survey Staff 1994) o el prefijo "pseudo" en su designación (Colmet Daage *et al.* 1988).

Las mayores dificultades radicaron en la ubicación de las parcelas en equivalentes condiciones de sitio bajo vegetación nativa. En muchos casos los sitios sin forestar abarcan franjas de menos de 20 m, en las que al hacer las prospecciones de suelo se encontraban raíces de pino en profundidad, a pesar de no haber evidencia de acumulación de acículas en superficie, lo que determinó su descarte. Por otra parte, en otras plantaciones los lugares sin forestar corresponden aparentemente a interrupciones debidas a condiciones extremadamente desfavorables, tales como suelos muy superficiales arcillosos, sustratos morrénicos o de materiales tobáceos, no pudiendo considerarse equivalentes las condiciones.

Características de la vegetación. Bajo vegetación natural, los porcentajes de cobertura del estrato arbóreo disminuyen en dirección oeste-este. En las parcelas de menores precipitaciones se observa un incremento del estrato herbáceo con especies que suelen encontrarse en la transición a la estepa. En todos los casos la vegetación está alterada por pastoreo, lo que es también más notorio hacia el este. Los altos porcentajes de cobertura vegetal,

entre 100% y 70% con un valor medio de 89.2%, y la diversidad de especies permiten estimar que la alteración de la vegetación natural no es severa.

El bosque implantado fue en todos los sitios de *Pinus ponderosa* Dougl. (pino ponderosa), en algunos casos con presencia de sotobosque de *Chusquea culeou* E. Desv. (caña colihue), así como algún renoval de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Dougl. (pino oregón). La edad de las plantaciones está comprendida entre los 14 y 56 años con un valor medio de 28.3, siendo una sola de 14 años. Los porcentajes de cobertura oscilan entre 100% y 80%, con un valor medio de 91.54%.

Bajo vegetación implantada de pino, cuando las densidades son altas, no se encuentra vegetación de sotobosque, sobre todo considerando la vegetación heliófila. El sotobosque de caña colihue se mantiene bajo bosque implantado en dos casos (sitios 3 y 4).

Los sitios, en ambos extremos de la biosecuencia, no fueron sometidos a ningún otro manejo (forestal, agrícola o ganadero) desde el momento de la instalación de la plantación hasta la fecha de las mediciones, según los antecedentes recopilados y las observaciones a campo. Las comparaciones se realizaron en sitios que desde hace 56 años (extremo oeste) y 17 años (extremo este) se mantuvieron prácticamente indisturbados.

Características de los suelos de los trece sitios bajo dos condiciones de vegetación. Los suelos son todos derivados de cenizas volcánicas, correspondiéndoles el orden andisoles (Soil Taxonomy 1992). Las secuencias de horizontes son muy semejantes entre los suelos bajo los dos tipos de vegetación. En las situaciones más hacia el oeste aparecen varias deposiciones sucesivas de cenizas, que se reflejan en los horizontes tápticos.

Los horizontes superficiales, es decir, el horizonte orgánico O y el horizonte mineral con incorporación de materia orgánica A, manifiestan un patrón de comportamiento diferente que se refleja en el espesor del horizonte O y en el color y estructura del horizonte A.

En el cuadro 1 se sintetizan las características morfológicas más relevantes de las parcelas de la biosecuencia bosque. Todos los suelos son profundos, excepto uno, oscuros en superficie, de color negro (10 YR 2/1) a pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo que cambia a gris oscuro (10 YR 3/1) o pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) cuando seco. El color en húmedo del horizonte A se

CUADRO 1

Características morfológicas de los suelos seleccionadas como más relevantes.

Selected relevant morphological soil features.

Sitio N°	Ppt mm	Parcela	Prof. total	Horizonte a		
				Prof.	Color	Estructura
		N° V	(cm)	(cm)	Húmedo	Tipo
1	2000	01 PP	50	0-14	10 YR 2/1	grano suelto
		02 VN	47	0-15	10 YR 2/1	granular
2	2000	03 PP	145 +	0-50	10 YR 2/1	masiva
		04 VN	150+	0-10 A1 10-55 A2	10 YR 2/1 10 YR 2/1	granular masiva
3	2000	05 PP	100+	0-50	10 YR 2/1	masiva
		06 VN	100+	0-50	10 YR 2/1	grano suelto
4	2000	07 PP	160+	3-37	10 YR 2/1	masiva
		08 VN	110+	3 -13 A1 13-35 A2	10 YR 2/2 10 YR 2/2	granular masiva
5	1800	09 PP	180+	0- 75	10 YR 2/1	masiva
		10 VN	180+	0-12 A1 12-80 A2	10 YR 2/2 10 YR 2/2	granular fluffy masiva
6	1800	11 PP	200+	0-50	10 YR 2/1	masiva
		12 VN	200+	0-30 A1 30-50 A2	10 YR 2/1 10 YR 2/2	granular masiva
7	1200	13 PP	110+	0-110	10 YR 2/1	grano suelto
		14 VN	100+	0-12 A1 12-100 A2	10YR 2/2 10YR 2/2	granular masiva a grano suelto
8	1200	15 PP	110+	0-70	10 YR 2/1	grano suelto
		16 VN	110	0-60	10 YR 2/1	granular y grano suelto
9	1200	17 PP	100+	0-25 A1 25-65 A2	10 YR 2/1 10 YR 2/2	grano suelto masivo
		18 VN	120+	0-30 A1 30-70 A2	10 YR 2/2 10 YR 2/2	granular grano suelto
10	1200	19 PP	110+	0-16 A1 16-42 A2	10 YR 2/1 10 YR 2/2	masiva bloques finos masiva a g. suelto
		20 VN	120+	0-12 A1 12-70 A2	10 YR 2/1 10 YR 2/2	granular masiva a bloques finos
11	1200	21 PP	100	0-33	10 YR 2/1	grano suelto
		22 VN	120	0-34	10 YR 2/2	granular
12	1200	23 PP	155+	0-60	10 YR 2/1	grano suelto
		24 VN	155+	0-60	10 YR 2/1	granular
13	1200	25 PP	143	0-44	10 YR 2/1	bloques + granular
		26 VN	143	0-26 A1 26-46 A2	10 YR 2/2 10YR 2.5/2	granular granular + grano suelto

Ref.: Ppt: precipitaciones medias anuales. V: vegetación, PP: pino ponderosa; VN: vegetación natural. Prof: profundidad. Color: Notación Munsell.

mantiene negro bajo pino ponderosa en siete sitios; en seis casos se nota un cambio del pardo muy oscuro bajo vegetación natural a negro bajo pino ponderosa.

En todos los casos bajo pino hay un cambio de estructura, pasando de granular bajo bosque nativo a masiva o grano suelto. La estructura masiva es particular en estos suelos, continua, coherente, que en general tiende a romper a bloques irregulares, muy débiles, blando en seco, muy friable, no adhesivo y no plástico, donde las raíces se desarrollan sin ningún tipo de impedimento. El pasaje de la estructura granular a masiva o grano suelto está indicando un cambio en la agregación de las partículas sólidas y coloidales del suelo. Dado el rango de edades de las plantaciones, se estaría observando en esta zona bajo régimen hídrico údico una rápida respuesta del suelo a los cambios de vegetación, siendo los resultados acordes con lo reportado por diferentes autores (Tamura *et al.* 1991, 1990, Higuchi y Kashiwagi 1993, Sato y Tokunaga 1989). Tamura *et al.* (1990) estudian los cambios de propiedades de un andosol, encontrando cambios en la estructura después de pocos años de instalación de vegetación secundaria, en un suelo desnudo donde la estructura migajosa y la agregación eran casi ausentes. En los 6 a 10 años posteriores se desarrolló una estructura granular. Según la vegetación que fue sustituyendo a la primera sucesión se observó un cambio microestructural. La microestructura bajo pastura era en bloques subangulares, al desarrollarse el

bosque pasó a migas y gránulos con una alta porosidad y alta conductividad hidráulica.

El horizonte orgánico O está siempre presente bajo pino ponderosa, es en todos los casos, menos uno, de mayor espesor que bajo vegetación natural. La situación en la que es de mayor espesor bajo vegetación natural corresponde a la parcela 4/08, bajo bosque muy cerrado de raulí y roble con sotobosque de *Chusquea culeou* Desv. (caña colihue), con una alta cobertura del sotobosque.

Se procede a la comparación de las medias de los espesores de los horizontes orgánicos realizando el análisis de la varianza (cuadro 2).

Al ser el valor de $F = 6.578$ mayor que F crítico = 4.226 para $\alpha = 0.05$, podemos afirmar que existe una diferencia significativa entre las medias de los espesores del horizonte orgánico bajo vegetación natural y bajo vegetación implantada de pino.

Se caracterizaron cuatro perfiles completos correspondientes a las parcelas 4/07, 4/08, 10/19 y 10/20 (cuadro 1), cuyas principales propiedades se resumen en el cuadro 3. Los dos suelos del extremo oeste corresponden a Udivitránd táptico y los del este a un Hapludánd vítrico (Soil Survey Staff 1992), con texturas aparentes más gruesas en los horizontes superficiales. Son en superficie negros en húmedo, tornándose pardo amarillentos en profundidad, tanto bajo vegetación natural como implantada.

En ambos casos se observan diferentes estructuras, coherente y continua bajo pino y granular bajo vegetación nativa.

CUADRO 2

Análisis de varianza del espesor del horizonte orgánico.

Variance analysis: organic horizon thickness.

Resumen				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
PP	13	163	12.5384	28.6026
VN	13	81	6.2307	50.0256

Análisis de varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F crítico ($\alpha = 0.05$)
Entre grupos	258.6154	1	258.615	6.578	0.017	4.226
Dentro de los grupos	943.538	24	39.314			
Total	1.202.154	25				

Ref.: PP: pino ponderosa VN: vegetación natural.

CUADRO 3

Características de los sitios y propiedades morfológicas de los cuatro suelos representativos.

Site characteristics and morphological features from four representative soils.

	Vegetación			Ppt	Topografía			Suelo
	Especies del estrato dominante	Cob	Formación	mm	Alt msnm	Exp Pdte	Pos	Clasificación (Soil Survey Staff) Secuencia de horizontes
Oeste	<i>Pinus ponderosa</i> Dougl. (pino ponderosa) <i>Chusquea culeou</i> Desv. (caña colihue)	100%	Bosque implantado 56 años	2000	650	SE 15%	pie loma	Udivitránd táptico Oi - Oe -Oa-C-2A-2AC-3A-3C- 4Ab
	<i>Nothofagus alpina</i> (phil) Dim. Et Mil (raulí) <i>Nothofagus dombeyi</i> (Mirb.) Blume (coihue), <i>Chusquea culeou</i> Desv. (caña colihue)	100%	Bosque mixto Denso	2000	650	SE 15%	pie loma	Udivitránd táptico Oi - Oe -Oa- C- 2A1-2A2-2AC1-2AC2-3ACb
Este	<i>Pinus ponderosa</i> Dougl	90%	Bosque implantado 17 años	1200	860	O 12%	media loma baja	Hapludand vítrico Oi - Oe- Oa -A1-A2-AC
	<i>Mulinum espinosum</i> (neneo) <i>Stipa speuosa</i> Trin (coirón amargo), <i>Festuca palliesens</i> (St. Yv.) Parodi (coirón dulce) <i>Acaena splenden</i> (acaena) <i>Nothofagus antarctica</i> (ñire)	70%	Estepa herbácea matorrales ñire	1200	860	O 12%	media loma baja	Hapludand vítrico A1-A2-AC

Ref.: Cob.: cobertura vegetal. Ppt: precipitación media anual. Alt. Altitud. Exp. Exposición. Pdte: pendiente. Pos.: posición.

En el cuadro 4 se vuelcan los valores de las densidades aparentes y las constantes hídricas de los cuatro suelos representativos.

La 5a baja ($< 0.82 \text{ Mg cm}^{-3}$). Considerando la secuencia de horizontes se comparan estadísticamente los valores de δa bajo vegetación natural e implantada (cuadros 5 y 6).

En los dos casos (oeste y este) al ser el valor de F menor que el F crítico para $\alpha = 0.05$, podemos afirmar que no existe una diferencia significativa entre las medias de las densidades aparentes bajo vegetación natural y bajo vegetación implantada de pino (cuadros 5 y 6). Esto confirma resultados anteriores (Broquen *et al.* 1995), así como en estudios realizados en Japón por Higuchi y Kashiwagi (1993), quienes comparan las características morfológicas y contenidos de materia orgánica de suelos cultivados durante 197 años y encuentran, entre otros resultados, ausencia de diferencia significativa en color del suelo y valores de densidad aparente entre los suelos cultivados y no cultivados.

Se calcularon la PT, la MP y mp volcándose los valores en las tablas adjuntas a las figuras 1 y 2. Se desprende que la PT es muy alta, oscilando alrededor de 70%, lo que determina un volumen de sólidos bajo: 27% en promedio. La PT está dominada por una alta proporción de MP.

Se procede a la comparación de los valores de PT en el perfil del suelo bajo pino y bajo vegetación natural; tomando como base que la densidad aparente no varía significativamente, se puede afirmar que la porosidad total se mantiene bajo ambos tipos de vegetación.

El cambio de estructura observado a campo (cuadro 3) refleja el cambio de la distribución del tamaño de poros, aumentando bajo pino la mp (porosidad en agua) y disminuyendo la MP (porosidad en aire). Esta variación en la distribución de porosidad no se detecta usando muestras disturbadas con las que no hay prácticamente variación del contenido de humedad a 0.033 MPa. (poros $> 10 \mu\text{m}$). El porcentaje de MP bajo pino es muy alto, mayor de 10%, valor considerado como crítico para el aire en el suelo. Dexter (1988) plan-

CUADRO 4

Densidad aparente y contenido de humedad de los 4 suelos representativos.
Bulk density and hydric contents from four representative soils.

V	Horiz.	δ_a Mg m ⁻³	Contenido humedad				
			0.033MPa			1.5MPa	
			$\theta_g d$ cm ³ /g	$\theta_g nd$	$\theta_v nd$ cm ³ /cm ³	$\theta_g d$ cm ³ /g	
Oeste Udivitránd tápico	PP*	2A	0.70	0.21	0.43	0.30	0.13
		2AC	0.74	0.27	0.39	0.29	0.14
		3A	0.68	0.27	0.38	0.26	0.15
		3C	ND	ND	ND	ND	ND
		4Ab	0.73	ND	0.26	0.19	ND
	VN*	2A1	0.64	0.29	0.22	0.14	0.13
		2A2	ND	ND	ND	ND	ND
		2AC1	0.77	0.27	0.22	0.17	0.09
		2AC2	0.82	ND	0.23	0.19	ND
		3ACb	0.74	0.38	0.16	0.12	0.23
Este Hapludánd vítrico	PP	A1	0.82	0.26	0.25	0.20	0.15
		A2	0.73	0.32	0.36	0.26	0.21
		AC	0.74	0.26	0.39	0.29	0.16
	VN	A1	0.75	0.26	0.11	0.09	0.15
		A2	0.81	0.28	0.24	0.21	0.37
		AC	0.72	0.35	0.44	0.33	0.20

Ref.: V: vegetación. PP: pino ponderosa. VN: vegetación natural. Horiz.: secuencia horizontes, δ_a : densidad aparente. θ_g contenido agua gravimétrico. θ_v contenido volumétrico. d: disturbada, nd: no disturbada. ND: no determinado. *No se incluye el horizonte C por ser discontinuo y menor de 2 cm.

CUADRO 5

Análisis de varianza: δ_a bajo pino y bajo vegetación natural (oeste).
Variance analysis: bulk density under ponderosa pine and natural vegetation (west).

Resumen				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
PP	4	2.85	0.7125	0.00076
VN	4	2.97	0.7425	0.00576

Análisis de varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F crítico ($\alpha = 0.05$)
Entre grupos	0.0018	1	0.0018	0.552	0.485	5.987
Dentro de los grupos	0.01955	6	0.0033			
Total	0.02135	7				

Ref.: PP: pino ponderosa. VN: vegetación natural.

CUADRO 6

Análisis de varianza da bajo pino y con vegetación natural (este).
 Variance analysis bulk density under ponderosa pine and natural vegetation (east).

Resumen				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
PP	3	2.29	0.763	0.0024
VN	3	2.28	0.760	0.0021

Análisis de varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F critico ($\alpha = 0.05$)
Entre grupos	1.6667E-05	1	1.6667E-05	0.007	0.9358	7.709
Dentro de los grupos	0.00906667	4	0.00226667			
Total	0.00908333	5				

Ref.: PP: pino ponderosa VN: vegetación natural.

tea que mas del 10% del volumen del suelo a capacidad de campo debe estar lleno con aire y de ese aire al menos el 10% tiene que ser oxígeno, de lo que se desprende que debe haber al menos 10% de poros mayores de 30 μm y un máximo volumen de poros de retención entre 30 y 0.2 μm

Se granean las distribuciones de porosidad y su relación con el volumen de sólidos para ambos sitios oeste bajo vegetación implantada y bajo vegetación nativa (figura 1) y este bajo vegetación implantada y bajo vegetación nativa (figura 2).

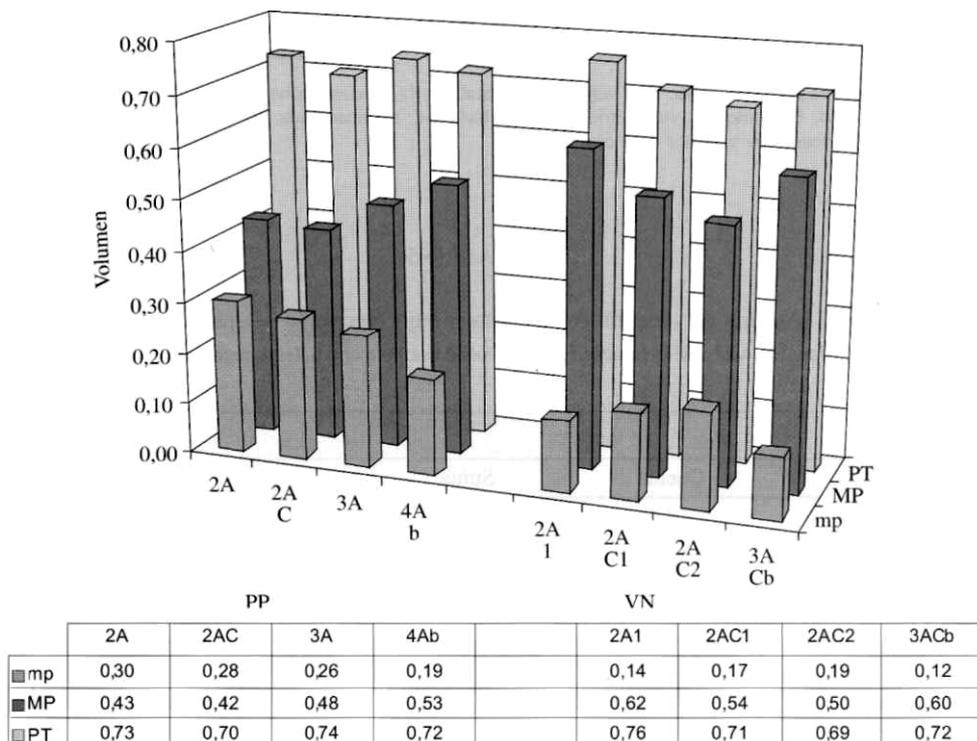
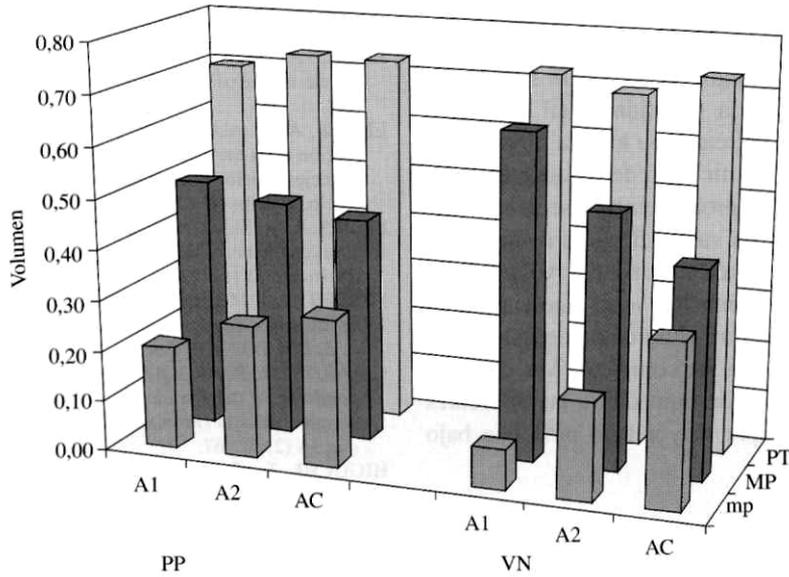


Figura 1: Distribución de la porosidad bajo pino ponderosa y bajo vegetación natural (oeste).
 Soil porosity distribution under ponderosa pine and natural vegetation (west).



	A1	A2	AC		A1	A2	AC
mp	0,20	0,26	0,29		0,08	0,19	0,32
MP	0,49	0,46	0,44		0,64	0,50	0,41
PT	0,69	0,72	0,72		0,72	0,69	0,73

Figura 2: Distribución de la porosidad bajo pino ponderosa y bajo vegetación natural (este).
Soil porosity distribution under ponderosa pine and natural vegetation (east).

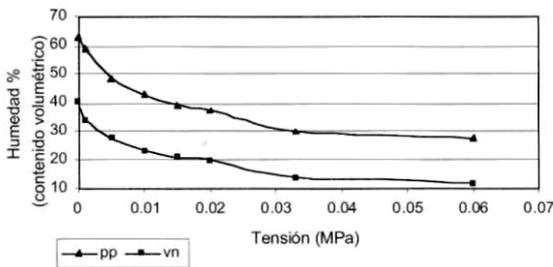


Figura 3: Curvas de retención hídrica del horizonte A bajo pino ponderosa y bajo vegetación natural (oeste).
Moisture retention curves under ponderosa pine and natural vegetation, A horizon (west).

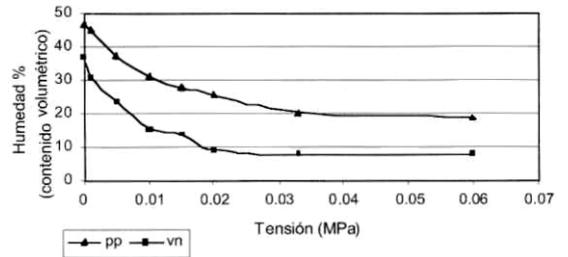


Figura 4: Curvas de retención hídrica del horizonte A bajo pino ponderosa y bajo vegetación natural (este).
Moisture retention curves under ponderosa pine and natural vegetation, A horizon (east).

El comportamiento es algo diferente en el Udivitránd táptico (oeste). Al ser un suelo producto de sucesivos depósitos de cenizas volcánicas, aparecen discontinuidades litológicas con un horizonte táptico. Se observa tanto bajo vegetación nativa como implantada que la microporosidad no varía en los dos primeros horizontes, disminuyendo luego en profundidad. En el Hapludand vítrico (este, bajo VN y PP) se observa un incremento de la microporosidad con la profundidad. Comparando la distribución de porosidad en el primer horizonte bajo ambos tipos de vegetación, se observa

que la porosidad total se mantiene, disminuyendo la macroporosidad y aumentando la microporosidad.

En ambos sitios (oeste y este) el volumen de sólidos es muy bajo y se mantiene dentro del mismo rango de valores en todo el perfil, la porosidad total se mantiene, aumenta la porosidad en agua y disminuye notablemente la porosidad en el primer horizonte bajo bosque implantado de pino en relación al bosque de *Nothofagus*.

Si se considera la curva de retención hídrica a bajas tensiones (figuras 3 y 4) se observa el mis-

mo comportamiento, notándose claramente la diferencia entre ambos tipos de vegetación a contenidos de humedad algo menores a la saturación. Es de destacar que la porosidad total inferida a partir de la curva de retención hídrica no coincide con la calculada a partir de la densidad aparente y la de partícula. Esto probablemente se deba a que no todos los espacios vacíos llegan a colmarse de agua por la propia tortuosidad del volumen de poros. Puede quedar muchas veces aire atrapado, lo que determina un alto tiempo de humedecimiento que no llega a ser completo (Maeda *et al.* 1977). El porcentaje de humedad a las diferentes tensiones fue siempre mayor bajo pino que bajo vegetación nativa.

CONCLUSIONES

La porosidad total de los suelos no varió bajo pino ponderosa, siendo en todos los casos de alrededor del 70%

El cambio de estructura, granular con vegetación natural y masivo con pino ponderosa, refleja el cambio en la distribución de la porosidad.

La distribución de la porosidad varía bajo los dos tipos de vegetación, siendo menor la porosidad en aire y mayor la porosidad en agua bajo pino ponderosa en los horizontes superiores.

BIBLIOGRAFIA

- BESOAIN, E. 1985. Aluminosilicatos no cristalinos y paracristalinos en mineralogía de arcillas de suelos IICA Costa Rica. Capítulo 5: 533- 642.
- BROQUEN, P., J. GIRARDIN, M. FRUGONI. 1995. "Evaluación de algunas propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas asociados a forestaciones con coníferas exóticas". R. A. *Bosque* 16 (2) 69: 79.
- COLMET DAAGE, F., A. MARCOLIN, C. LOPEZ, M. LANCIOTTI, J. AYESA, D. BRAN, E. ANDENMATTEN, P. BROQUEN, J. L. GIRARDIN, G. CORTES, J. IRISARRI, E. BESOAIN, G. SADZAWKA, S. SEPULVEDA, S. MASSARO, P. MILLOT, P. BOULEAU. 1988. Características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la cordillera y precordillera del norte de la Patagonia. INTA-ORSTOM. S. C. Bariloche, Argentina. 167 p.
- DANIELSON, R. E., P. L. SUTHERLAND. 1986. Soil Porosity Monograph N° 9. Amer. Soil Sci Soc. of Agron., 677 p.
- DEXTER, A.R. 1988. "Advances in characterization of soil structure". *Soil Tillage Res.* 11: 199-238.
- ELLIES, A. 1995a. Modificaciones en las propiedades físicas de suelos Palehumults y Hapludands debido al manejo. Simposio del IUFRO para el Cono Sur Suramericano Manejo nutritivo de plantaciones forestales Valdivia, Chile: 255-262.
- ELLIES, A. 1995b. "Efecto del manejo sobre las propiedades físicas de suelos trumaos y rojo arcillosos", *Bosque* 16 (2): 101.
- ELLIES, A., R. MAC DONALD, C. RAMIREZ. 1993a. Variación de la estructura del suelo forestal sujeto a diferentes manejos. Suelos Forestales Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo Boletín N° 10. Chile: 118-135.
- ELLIES, A., R. MAC DONALD, C. RAMIREZ. 1993b. "Cambios en la porosidad de un suelo por efecto del uso" *Turrialba* 43 (1): 72-76.
- FERRER, J., J. MENDIA, J. IRISARRI. 1991. Estudio regional de suelos de la provincia del Neuquen Volumen 1, Tomo 2, 3. CFI-COPADEF Buenos Aires, 344 p.
- GIRARDIN, J., P. BROQUEN. 1995. "Crecimiento del *Pinus ponderosa* y del *Pseudotsuga menziesii* en diferentes condiciones de sitio (Prov. del Neuquén, R. Argentina)", *Bosque* 16 (2) 57: 67.
- HIGUCHI, T., S. KASHIWAGI. 1993. "Changes of soil morphological characteristics and organic matter content after long-term cultivation in Andisols on the Musahino Plateau", *Japan. Soil Sci. Plant. Nutr.* 39 (1): 87-97.
- INTA. 1998. VI Curso de física de suelos. INTA Pergamino Sección Suelos, 41 p.
- KAY, B. D. 1990. "Rates of changes of soils structure with different cropping systems", *Av. in Soil Sci.* 12:1-52.
- MAEDA, T., A. TAKENAKA, B. P. WARKETIN. 1977. "Physical properties of allophane soils", *Adv. Agron.* 29: 229-264.
- MIZOTA, C., P. van REEUWIJK. 1989. Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic material in diverse climatic regions International soil reference and information centre. Soil Monograph 2, 103 p.
- MOVIA, C., G. OWER, C. PEREZ. 1981. Estudio de la vegetación Natural Provincia del Neuquén. Ministerio de Economía y Hacienda, Subsecretaría de Recursos Naturales.
- NAMBIAR, E. K. 1995. Simposio del IUFRO para el Cono Sur Suramericano Manejo nutritivo de plantaciones forestales. Valdivia, Chile: 387-393.
- OADES, J. M., A. G. WATERS. 1991. "Aggregate hierarchy in soils Aust.", *J. Soil Res.* 29: 815-828.
- S.A.M.L.A. 1996. Sistema de apoyo metodológico para laboratorio de análisis de suelos y aguas. Dirección de Producción Agrícola SAGPyA.
- SATO, K., K. TOKUNAGA. 1989. Studies on the macropores structure of grassland's soil. Proceedings of the XVI International Grassland Congress France: 23-24.
- SHOJI, S, M. NANZYO, R. DAHLGREN. 1993. *Volcanic ash soils. Genesis. Properties and utilization.* Dev. in Soil Sc. 21. Amsterdam. Elsevier, 288 p.
- SOIL SURVEY STAFF. 1994. *Soil Survey Manual* 5th ed., USDA, Handbook N° 18 Blacksburg, Virginia.
- SOIL SURVEY STAFF. 1992. *Keys to Soil Taxonomy* 5th ed., AID, USDA, Technical Monograph N° 19 Blacksburg, Virginia.
- TAMURA, K., S. NAGATASUKA, Y. OBA. 1991. "Development of surface structure of Andosol in early stages of secondary succession at Sugadaira, Central Japan", *Pedologist.* 35: 104-116.
- TAMURA, K, S. NAGATASUKA, Y. OBA. 1990. Effect of ecosystem development on soil micromorphology-ecological studies of Andosols in central Japan Transactions 14th International Congress of Soil Science VII: 250-255.
- WADA, K. 1985. Distinctive properties of Andosols. *Advances Soil Sc.* Springer Verlag, New York Inc. 2: 175-229.