

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)*

Evaluation of some properties of soils derived from volcanic ash when associated with afforestations of exotic conifers (SW Province of Neuquén-R. Argentina).

C.D.O.: 114.11; 114.25; 114.30.

PATRICIA BROQUEN, JORGE LUIS GIRARDIN, MARIA C. FRUGONI

A.U.S.M.A. Fac. Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue, C.C. 85, 8303 Cinco Saltos, Argentina.

SUMMARY

Soils derived from volcanic ash and pumice have unique and common properties. Afforestation with conifers is an important part of the current management on such soils. Its consequences on soil pH and bulk density are considered in this study. Sustained and enhanced forest soil productivity requires a better understanding of soil properties and behavior under various management regimes.

RESUMEN

Los suelos derivados de cenizas volcánicas y material pumicítico tienen propiedades comunes y únicas. Las forestaciones con coníferas son parte importante del actual manejo de estos suelos de la provincia del Neuquén (R.A.), particularmente en el S.O. de la provincia. Sus consecuencias sobre el pH y la densidad aparente son consideradas en el presente trabajo. Es importante entender mejor sus propiedades y comportamiento bajo varios tipos de manejo para lograr una productividad forestal sostenida y mejorada de estos suelos.

INTRODUCCION

Una gran parte de la superficie forestada con coníferas en la provincia del Neuquén corresponde a plantaciones realizadas sobre suelos derivados de cenizas volcánicas. Las plantaciones de más edad se encuentran localizadas en la zona Sur-Sur Oeste de la provincia. Estas plantaciones se han realizado sustituyendo la vegetación de origen por coníferas. El tipo de vegetación preexistente es variada, abarcando desde las formaciones correspondientes al Bosque Andino Patagónico hasta la Estepa herbácea. Las especies más utilizadas en la

región son el *Pinus ponderosa* Dougl. y el *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Dougl.

Es importante estimar la evolución de las propiedades del suelo a partir del cambio de vegetación generado por las plantaciones realizadas con coníferas. Este cambio de vegetación puede generar variaciones en varias propiedades de los suelos, como ser: la reacción (pH), estructura, densidad aparente, contenido de materia orgánica. Una de las propiedades que comúnmente se afirma varía con la vegetación de coníferas es el pH, generalizándose a nivel del conocimiento vulgar que este tipo de vegetación acidifica el suelo. Esto puede ser cierto o no, dependiendo probablemente del orden de suelo, su material originario y otras características particulares del mismo. Se afirma también que esto es desfavorable para el suelo y la vegetación, lo que tampoco es estrictamente correcto.

* Subsidiado por la Secretaría de Investigación de la Universidad Nacional del Comahue, dentro del Proyecto de Investigación "Influencia de los factores ecológicos sobre el crecimiento del *Pinus ponderosa* Dougl. y el *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Dougl."

No existen antecedentes en la Argentina de trabajos realizados sobre las posibles variaciones que pueden originar cambios de vegetación en suelos derivados de cenizas volcánicas y son pocos los antecedentes referidos a la incidencia de un cambio de vegetación en las propiedades del suelo para otros órdenes (Fernández, 1984; Peinemann y Zabala, 1986). Existen antecedentes sobre cambios de vegetación (aunque no por coníferas) en suelos derivados de cenizas volcánicas (Shoji, Nanzyo y Dahlgren, 1993; Wada, 1985) y también sobre la incidencia de la cosecha forestal y de diferentes manejos sobre algunas de las propiedades del suelo en Chile (Gayoso e Iroumé, 1993), y en EE.UU. (Meurise, 1987).

El orden Andisoles abarca el 17% del territorio neuquino, lo que implica 1.500.000 ha. Se ubica en el tercer lugar entre los órdenes reconocidos en la provincia, después de los Entisoles y los Aridisoles (Ferrer, Mendía e Irisarri, 1991). Si consideramos la aptitud forestal de los suelos de la región, los suelos con mayor potencialidad forestal corresponden a aquellos derivados de cenizas volcánicas (Colmet Daage *et al.*, 1988; Ferrer, Mendía e Irisarri, 1991).

Los Andisoles ubicados en la zona correspondiente al bosque húmedo y muy húmedo (Colmet Daage *et al.*, 1988) se caracterizan por ser suelos profundos, alofánicos y con una retención hídrica superior al 35%. Desde el punto de vista de sus propiedades químicas, tienen una capacidad de intercambio catiónico relativamente alta, cuyos valores varían según el procedimiento utilizado para su determinación, con predominio de las cargas variables. Estas cargas tienen su origen en la presencia de alófanos y de 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 cmol (+)/kg de suelo) y buena en la zona húmeda (10-15 cmol (+)/kg de suelo) (Colmet Daage *et al.*, 1988).

Las bases intercambiables son susceptibles de lixiviarse en climas húmedos, lo que podría verse incrementado si sufrieran una acidificación progresiva, por interacción con la materia orgánica aportada por la vegetación de coníferas.

Los Molisoles (Colmet Daage *et al.*, 1988) que se encuentran más allá de la zona húmeda y que son derivados de cenizas volcánicas postglaciales, en el ecotono bosque-estepa, no tienen la predominancia de alófanos de los Andisoles, pero mantienen muchas de sus características por ser en

esta zona también derivados de cenizas volcánicas. Son suelos arenosos profundos con ceniza y arena acumuladas en los lugares protegidos del viento dominante. Se encuentran sustancias alofanizadas, mejor cristalizadas (fibras entrelazadas de imogolitas), siendo su capacidad de intercambio catiónico también alta. Poseen un horizonte ligeramente arcilloso con haloisita generalmente a más de 100 cm de profundidad, pudiendo aparecer a esas profundidades arcillas montmorilloníticas interestratificadas. La disponibilidad de agua es muy escasa en los horizontes superficiales y es media a una profundidad de más de 100 cm. Tienen buena disponibilidad de bases de cambio y la retención de fósforo es débil. Ambos, Molisoles y Andisoles, tienen una muy alta capacidad de retención de agua, siendo algo menor en los Molisoles (Colmet Daage *et al.*, 1988), pero manteniéndose por encima de los valores para otros órdenes de suelos.

Los suelos bajo bosque húmedo (régimen hídrico údico) presentan los porcentajes más altos de materia orgánica, abarcando un rango en los primeros horizontes de 11.7% a 6.0%. En la zona del ecotono bosque-estepa porcentajes de materia orgánica oscilan entre 3.5% y 5.6% y en la estepa mixta entre 0.53% y 2%. La densidad aparente de los suelos derivados de ceniza volcánica es baja, siendo inferior a 0.85 g/cm³ en los nítidamente Andicos, y de 0.9 g/cm³ a algo superior a 1 g/cm³ en los Molisoles (Colmet Daage *et al.*, 1988).

Por otro lado, las características tan particulares de los suelos derivados de cenizas volcánicas, en los que, a medida que ocurre la intemperización, la descomposición de la materia orgánica interacciona con los amorfos (Al-Fe, alófano, arcillas no cristalinas) estabilizándose (Egawa, 1980; Shoji, Nanzyo y Dahlgren, 1993). Esto hace suponer que su comportamiento será diferente al de otros suelos donde sí puede darse una acidificación progresiva en un clima frío húmedo, bajo vegetación de coníferas.

Respecto a las variaciones de la densidad aparente, producto del manejo de los suelos, son pocos los estudios que se encuentran, y hacen referencia principalmente al efecto de los métodos de cosecha forestal empleados. Los suelos volcánicos mostraron las menores variaciones y una mayor capacidad de soporte, tanto en lo que respecta a la porosidad total (estabilidad de la macro y microporosidad) como de la permeabilidad. Los cambios detectados ocurrieron en los estratos superior-

res, notándose una reducción de la macroporosidad y un incremento en la microporosidad. Las presiones ejercidas por el uso determinan un incremento en la densidad aparente siempre menores que para otros suelos. Se ha encontrado un incremento de la densidad aparente de un Hapludand como consecuencia del uso intensivo (Ellies, Mac Donald y Ramírez, 1993). Cita Meurise (1987) incrementos de las densidades de 0.67 g/cm^3 a casi 1 g/cm^3 y de 0.5 g/cm^3 a 1.0 g/cm^3 como consecuencia de la cosecha y preparación del sitio, encontrándose en el primer caso una reducción significativa del crecimiento radial y en altura de los árboles sobre suelos no Andicos asociados a suelos Andicos. Los Andisoles muestran evidencias de ser más resistentes y tolerantes a la compactación que suelos no ándicos (Maeda, Takenaka y Warketin, 1977; Gayoso e Iroumé, 1993).

Es necesario conocer el comportamiento del suelo frente a los cambios que en él ocurren, sobre todo considerando la importancia que el factor suelo tiene para lograr la sustentabilidad de los sistemas, en particular los sistemas forestales. El suelo es uno de los factores del medio de mayor incidencia en la productividad forestal, siendo sensible al impacto de las prácticas forestales. Cambios en el sistema del suelo pueden ser beneficiosos o no para la productividad tanto a corto como a largo plazo. Los suelos difieren en su capacidad para amortiguar las consecuencias de los cambios.

El pH y la densidad aparente son dos propiedades relevantes a través de las cuales se puede inferir parte del comportamiento del suelo y estimar los cambios que las plantaciones de coníferas puedan generar sobre el suelo. La acidez intercambiable aumenta con el aumento de la lixiviación y la intemperización en los ambientes más húmedos. La densidad aparente da elementos sobre el espacio poroso, la aireación, la economía del agua, la capacidad de infiltración de agua al suelo y la resistencia a la penetración de raíces.

El objetivo del presente trabajo es estimar los cambios que las plantaciones con *Pinus ponderosa* puedan generar en suelos derivados de cenizas volcánicas en la zona Sur-Oeste de la región Andino-Patagónica, a través de la evaluación de la variación del pH y de la densidad aparente de los mismos.

MATERIAL Y METODOS

Para evitar un sesgo en los resultados obtenidos que pudiera ser ocasionado por evaluar las posibles variaciones provocadas por diferentes especies, se uniformó el estudio restringiéndolo a una sola especie, seleccionando aquella que abarca el mayor número de hectáreas forestadas en la región, el *Pinus ponderosa*. Para poder evaluar posibles cambios, es necesario poder comparar la situación actual bajo plantación con una similar en la que se mantenga la situación original del sitio, por lo que se diseñó el estudio en base a parcelas pareadas. La base para este diseño es la proximidad geográfica y similitud en las características del suelo que se espera afecten el comportamiento de los pares de parcelas. El "test" pareado es más sensible en este tipo de problemática, permitiendo detectar menores variaciones que el "test" no pareado (Panse y Sukhatme, 1963; Freese, 1992).

Las situaciones a ser utilizadas como parcelas se determinaron partiendo del estudio de las plantaciones existentes de *Pinus ponderosa* en la provincia del Neuquén. El número de parcelas está restringido por la cantidad de situaciones en las que existen plantaciones que a la fecha cumplen los requisitos para poder comparar propiedades del suelo en relación a las condiciones originales. Se las seleccionó además de forma tal que abarcasen la variación climática existente en la zona, para esto se siguió la dirección Oeste-Este dentro de la transecta Paso Hua Hum-Collón Cura. (Colmet Daage *et al.*, 1988).

Se determinaron trece pares de parcelas de forma tal que cada par se encuentra emplazado en suelo derivado de ceniza volcánica, o fuertemente contaminado e influido por éstas. Cada par comprendió una parcela bajo vegetación natural y otra bajo vegetación implantada de *Pinus ponderosa*, en las mismas condiciones de sitio. Se seleccionaron aquellas plantaciones de una edad superior a los 15 años, colindantes o próximas a un terreno con vegetación natural y equivalentes condiciones de sitio, con densidades de cobertura vegetal superior o igual al 80%. Respecto a las características del sitio para asegurar equivalencia en las condiciones, cada par de parcelas se eligió y ubicó a campo de forma tal que estén lo más próximas posible, en iguales condiciones topográficas: altitud, posición fisiográfica, exposición y porcentaje o grado de pendiente. Garantizando condiciones geomorfológicas y climáticas iguales para cada par de parcelas.

La edad de las plantaciones se determinó por lectura de anillos de tarugos extraídos con barrenos de incremento. En cada par de parcelas se realizó el reconocimiento y la descripción completa del suelo a campo, y los análisis de suelos requeridos para la correspondiente clasificación hasta nivel de Subgrupo (Soil Survey Staff, 1992). Se utilizaron los mismos pares de parcelas para estimar el grado de variación de la reacción del suelo y de la variación de la densidad aparente del mismo.

En los trece pares de parcelas muestreadas, la vegetación implantada correspondió en su totalidad a *Pinus ponderosa* presentando en todos los casos un horizonte orgánico de espesores variables, de 2 a 15 cm, subdividido en Oi, Oe y Oa, en los casos de mayores espesores. La edad de las plantaciones en las que se instalaron las parcelas oscila entre los 17 y 52 años, con porcentajes de cobertura vegetal en-

tre el 80 y 100%. La vegetación natural es variable, dominando en la zona bajo régimen údico *Nothofagus alpina* (Phil) Dim. et Mil. (raulí), *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Blume (roble pellín), *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Blume (coihue) y predominando *Mulinum spinosum* (neneo) y *Stippa speciosa* Trin. (coirón amargo), *Festuca pallescens* (St. Yv.) Parodi (coirón dulce) en la zona del ecotono bosque-estepa. El material originario del suelo es ceniza volcánica en las parcelas 1 a 8 y 11 a 13; y material fluvio-glacial fuertemente contaminado por cenizas volcánicas en las parcelas correspondientes a los números 9 y 10. Los suelos corresponden a Andisoles y a los Molisoles (Soil Survey Staff, 1992), estando los primeros en la zona muy húmeda a húmeda (de 2000 a 1000 mm de precipitaciones) y los segundos en la zona del ecotono bosque-estepa (con precipitaciones entre 1000 y 500 mm) (cuadro 1).

CUADRO 1

Síntesis de las condiciones de sitio.
Site conditions synthesis.

P Nº	Vegetación natur.		PP mm	Topografía				Suelo Clasificación
	Especie dominante	% cobertura		Altitud m s.n.m.	Pendiente %	Posición	Exposición	
1	Ro, C, c,	100	2000	640	2-8	PeL	-	Hapludand táptico
2	M, Ro, Ra, b, j	100	2000	640	2-8	PeL	-	Udivitrant típico
3	Ru, C, c	100	2000	740	35	MI	SE	Udivitrant táptico
4	Ñ, C, c	100	2000	650	10	PiL	SE	Udivitrant táptico
5	Ra, Ñ, b	100	1600	900	20	MLa	NO	Udivitrant táptico
6	Ñ, C, pi, n, c	80	1000	1110	2-8	C	-	Udivitrant típico
7	Ñ, L, C, b, p, a	80	1000	1100	23	MI	N	Udivitrant típico
8	n, c, a	50	1200	850	30	MI	ONO	Udivitrant húmico
9	n, c, a	60	600	875	0-2	Pfg	-	Argixerol vitrándico
10	n, c, a	60	500	875	0-2	Pfg	-	Argixerol vitrándico
11	n, c, a	60	800	825	0-2	Pav	-	Haploxerol vitrándico
12	n, c, a	60	800	825	0-2	Pav	-	Haploxerol vitrándico
13	n, c	60	500	900	45	MI	S	Haploxerol éntico

Vegetación natural:

L: *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser. (Lenga), Ro: *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Blume. (Roble pellín), Ru: *Nothofagus alpina* (Phil) Dim. et Mil. (Raulí), Ñ: *Nothofagus antarctica* (Forst. f) Oerst. (Ñire), M: *Maitenus disticha* (Lam.) Hookf. (Maitén). Ra: *Lomatia hirsuta* (Lam.) Diels. (Radal), c: *Chusquea culeou* Desv. (Caña colihue), pi: *Ovidio, andina* (Poepp. et Endl.) Meissn (Pillo-Pillo), a: *Acaena pinatifida* Ruiz et Pavón (Pimpinela), b: *Berberis heterophylla* Juss. (Berberis), c: *Stipa speciosa* Trin. (Coirón amargo), n: *Mulinum spinosum* Pers. (Neneo), f: *Festuca pallescens* (St. Yv.) Parodi. (coirón dulce), p: *Ribes magellanicum* Poir. (Parrilla), j: *Schirpus californicum* (C.A. Mey.) Steve. (Junco), t: *Trifolium* sp. (Trébol).

Vegetación implantada: Parcelas 1-13: *Pinus ponderosa* Dougl., Cobertura >80%.

Posición fisiográfica: Pe L: Perilago, MI: Media loma, Pil: Pie de loma, MLa: Media loma alta, C: Cima, Pfg: Planicie fluvio-glacial, Pav: Planicie aluvional.

Material originario del suelo: Parcelas: 1-8, 13: Ceniza volcánica; 9, 10: Efluvio glacial contaminado con ceniza volcánica; 11 y 12: Aluvional contaminado con ceniza volcánica.

REACCION DEL SUELO. Se tomaron muestras de suelo compuestas a dos profundidades, 0-25 cm y a 50-75 cm, en tres lugares diferentes y al azar por parcela, descartándose el borde de las plantaciones, evitando de esta forma el efecto recíproco de un tipo de vegetación sobre la otra. La reacción del suelo se evaluó a través de la medición del pH en pasta (H₂O) y pH en KCl 1 N. Se obtuvo un total de 26 muestras compuestas, realizándose 52 determinaciones de pH. El uso de soluciones diluidas de sales es un método corriente para evitar además posibles variaciones estacionales, dado que las lecturas en KCl tienden a ser uniformes independientemente de la época del año. El término acidez de intercambio es preferentemente utilizado frente a hidrógeno intercambiable, dado que la metodología utilizada estima simultáneamente el Al⁺³ y H⁺.

DENSIDAD APARENTE (Da). El muestreo se realizó tomando tres muestras para determinar la densidad aparente a dos profundidades (0-25 cm y 50-75 cm), en tres lugares diferentes y al azar por parcela, descartándose el borde de las plantaciones. Para tomar las muestras se utilizó el método del cilindro de 100 cm³, extrayendo las muestras evitando todo apelmazamiento. Las propiedades de estos suelos permiten el uso del cilindro para el muestreo dado que la pedregosidad, presencia de fragmentos mayores a 2 cm, es menor al 2% en todos los suelos estudiados; son suelos en su mayoría no estructurados o débilmente estructurados, de apariencia continuos, sin evidencias de arcillas expandibles; excluyen estas características las posibles variaciones en la densidad que podrían provocar las variaciones en el contenido de humedad. De todas formas el sesgo en el muestreo que podría provocar el contenido de humedad se minimizó tomando las muestras en cada par de parcelas en el mismo momento. Las muestras fueron secadas a estufa a 105°C hasta peso constante y pesadas en una balanza electrónica con una sensibilidad de 0.001 g, obteniendo de esta manera las dos características necesarias: el peso seco de la muestra y el volumen que ocupa bajo condiciones de campo. Se obtuvieron 156 muestras que fueron individualizadas por situación y profundidad, pesadas individualmente, promediadas por parcela y rango de profundidad.

Se compararon los valores de pH y de densidad aparente, a ambas profundidades, bajo *Pinus ponderosa* y bajo vegetación natural para la tota-

lidad de las parcelas. Se agruparon por subórdenes de suelos y por formación de vegetación natural. Se estimaron las variaciones mediante la prueba t para muestras pareadas. Se estudiaron las correlaciones entre las edades de las plantaciones y las variaciones del pH y las variaciones de Da a ambas profundidades. Se determinó la significancia de los coeficientes de correlación encontrados.

Variaciones de pH y Da. Se parte de la hipótesis de que si no hay diferencia en la media de las propiedades medidas bajo vegetación natural y bajo la vegetación implantada de *Pinus ponderosa*, el valor esperado de la diferencia será cero. Se calculó la desviación estándar de la diferencia y para cada caso se probó la significación de la desviación de la diferencia de la media valor hipotético cero. Se comparó de esta forma el pH en KCl, así como el pH en agua (cuadro 2), la diferencia de pH (H₂O) y pH (KCl) (cuadro 3) y la densidad aparente de las parcelas pareadas (cuadro 5). Se trabajó con la columna "diferencias", tomándolas en la misma dirección, con la debida consideración de signo. Se la analizó como variable separada calculando el total algebraico y la desviación estándar de la diferencia (Freese, 1990). Se repitió el mismo análisis tomando por un lado los suelos correspondientes a los subórdenes Vitrandes y Xeroles (cuadros 4, y 6 para pH y Da respectivamente).

Para cada tratamiento, pH en H₂O, pH en KCl, Da a dos profundidades, y agrupados por suborden de suelo, se calculó el valor de "t" (donde X = promedio de las diferencias de pH, n = número de parcelas pareadas y σ desviación estándar de las diferencias) (Panse y Sukhatme, 1963) (cuadros 7, 8 y 9):

$$t = \sqrt{n} \cdot \frac{X}{\sigma}$$

Estudio de correlación. Se realizó el estudio de correlación de la edad con las variaciones de pH (H₂O), con las variaciones de pH(KCl) y con las variaciones de Da, para todos los pares de parcelas, a ambas profundidades. A partir de cada análisis de regresión se calculó para cada caso t, donde: r=correlación, n=número de pares de parcelas, y r²= regresión (Panse y Sukhatme, 1963) (cuadros 10 y 11):

$$t = \frac{\sqrt{r^2}}{\sqrt{(1-r^2) \cdot (n-2)}}$$

CUADRO 2

Valores de pH en agua y en KCl: parcelas 1 a 13.

pHw and pHs values: plots 1 to 13.

N°	pH agua 0 a 25 cm			pH (KCl) 0 a 25 cm			pH (agua) 50 a 75 cm			pH (KCl) 50 a 75 cm		
	V.N.	P.p.	dif.	V.N.	P.p.	dif.	V.N.	P.p.	dif.	V.N.	P.p.	dif.
1	4.98	4.90	0.08	4.48	4.33	0.15	5.31	5.08	0.23	4.76	4.54	0.22
2	5.06	4.56	0.50	4.23	3.88	0.35	-	-	-	-	-	-
3	4.86	4.94	-0.08	4.35	4.55	-0.20	5.06	5.11	-0.05	4.62	4.80	-0.18
4	4.95	4.92	0.03	4.21	4.15	0.06	5.23	5.10	0.13	4.55	4.33	0.22
5	5.20	4.95	0.25	4.78	4.44	0.34	5.33	5.07	0.26	4.82	4.56	0.26
6	5.15	5.18	-0.03	4.58	4.68	-0.10	5.24	5.16	0.08	4.64	4.72	-0.08
7	5.03	5.21	-0.18	4.38	4.75	-0.37	5.20	5.33	-0.13	4.53	4.80	-0.27
8	5.56	5.84	-0.28	4.88	4.96	-0.08	5.80	6.23	-0.43	4.72	4.90	-0.18
9	5.53	5.78	-0.25	4.60	4.68	-0.08	5.79	5.84	-0.05	4.61	4.62	-0.01
10	5.53	5.67	-0.14	4.60	4.43	0.17	5.79	5.99	-0.20	4.61	4.68	-0.07
11	5.92	5.75	0.17	5.36	5.06	0.30	6.19	5.80	0.39	5.59	5.24	0.35
12	6.22	4.82	1.40	5.28	4.27	1.01	-	-	-	-	-	-
13	6.17	5.87	0.30	5.09	4.94	0.15	6.29	6.26	0.03	5.24	5.28	-0.04
Promedio de dif.	0.1362			0.1308			0.0236			0.0200		

V.N.: Vegetación natural, situación de origen.

P.p.: Vegetación implantada, pino ponderosa.

Dif.: Diferencia entre las medias de cada parcela.

CUADRO 3

RESULTADOS

REACCION DEL SUELO. Los datos de las variaciones entre las parcelas con vegetación natural y vegetación implantada a ambas profundidades, de pH(H₂O), de pH(KCl), de la diferencia entre pH(H₂O) y pH(KCl), y agrupadas por subórdenes de suelos, se resumen en los cuadros 2, 3, y 4, respectivamente.

DENSIDAD APARENTE. Los datos de las variaciones de Da a ambas profundidades y agrupadas por órdenes de suelos se resumen en los cuadros 5 y 6.

Los datos de análisis de significancia y correlación se resumen en los cuadros 7, 8, 9, 10 y 11.

DISCUSION

Variaciones de pH entre el pH bajo vegetación natural e implantada. Tanto para la totalidad de las parcelas muestreadas como para los Vitrandes y Xeroles en forma independiente, no es significativa la diferencia (cuadro 7). Al agrupar por for-

Variación del pH (agua) en relación al pH (KCl): parcelas 1 a 13.

Variation of pHw in relation to pHs: plots 1 to 13.

N°	pH (agua) - pH (KCl)					
	0 a 25 cm			50 a 75 cm		
	V.N.	P.p.	dif.	V.N.	P.p.	dif.
1	0.50	0.57	-0.07	0.55	0.54	0.01
2	0.83	0.68	0.15	-	-	-
3	0.51	0.39	0.12	0.44	0.31	0.13
4	0.74	0.77	-0.03	0.68	0.77	-0.09
5	0.42	0.51	-0.09	0.51	0.51	-0.00
6	0.57	0.50	0.07	0.60	0.44	0.16
7	0.65	0.46	0.19	0.67	0.53	0.14
8	0.68	0.88	-0.20	1.08	1.33	-0.25
9	0.93	1.10	-0.17	1.18	1.22	-0.04
10	0.93	1.24	-0.31	1.18	1.31	-0.13
11	0.56	0.69	-0.13	0.60	0.56	0.04
12	0.94	0.55	0.39	-	-	-
13	1.08	0.93	0.15	1.05	0.98	0.07
Promed. de dif.	0.0054			0.0031		

V.N.: Vegetación natural, situación de origen.

P.p.: Vegetación implantada, pino ponderosa,

dif.: Diferencia entre P.p. y V.N.

CUADRO 4

Valores de pH (agua) y pH (KCl) agrupados por suborden de suelos.
pHw and pHs values grouped by soil suborders.

a: Vitrandis

N°	pH agua 0 a 25 cm			pH (KCl) 0 a 25 cm			pH (agua) 50 a 75 cm			pH (KCl) 50 a 75 cm		
	V.N.	P.p.	dif.	V.N.	P.p.	dif.	V.N.	P.p.	dif.	V.N.	P.p.	dif.
2	5.06	4.56	0.50	4.23	3.88	0.35	-	-	-	-	-	-
3	4.86	4.94	-0.08	4.35	4.55	-0.20	5.06	5.11	-0.05	4.62	4.80	-0.18
4	4.95	4.92	0.03	4.21	4.15	0.06	5.23	5.10	0.13	4.55	4.33	0.22
5	5.20	4.95	0.25	4.78	4.44	0.34	5.33	5.07	0.26	4.82	4.56	0.26
6	5.15	5.18	-0.03	4.58	4.68	-0.10	5.24	5.16	0.08	4.64	4.72	-0.08
7	5.03	5.21	-0.18	4.38	4.75	-0.37	5.20	5.33	-0.13	4.53	4.80	-0.27
8	5.56	5.84	-0.28	4.88	4.96	-0.08	5.80	6.23	-0.43	4.72	4.90	-0.18
Promedio de dif			0.0300	0.0000			-0.0233			-0.0383		

b: Xerolls

N°	pH agua 0 a 25 cm			pH (KCl) 0 a 25 cm			pH (agua) 50 a 75 cm			pH (KCl) 50 a 75 cm		
	V.N.	P.p.	dif.	V.N.	P.p.	dif.	V.N.	P.p.	dif.	V.N.	P.p.	dif.
9	5.53	5.78	-0.25	4.60	4.68	-0.08	5.79	5.84	-0.05	4.61	4.62	-0.01
10	5.53	5.67	-0.14	4.60	4.43	0.17	5.79	5.99	-0.20	4.61	4.68	-0.07
11	5.92	5.75	0.17	5.36	5.06	0.30	6.19	5.80	0.39	5.59	5.24	0.35
12	6.22	4.82	1.40	5.28	4.27	1.01	-	-	-	-	-	-
13	6.17	5.87	0.30	5.09	4.94	0.15	6.29	6.26	0.03	5.24	5.28	-0.04
Promed. de dif.			0.2960	0.3100			0.0425			0.0575		

V.N.: Vegetación natural, situación de origen.

P.p.: Vegetación implantada: Pino ponderosa,

dif.: Diferencia entre medias de pH de P.p. y V.N.

CUADRO 5

Valores de densidad aparente. Parcelas 1 a 13.
Bulk density values: plots 1 to 13.

N°	0 a 25 cm			50 a 75 cm		
	V.N.	P.p.	dif.	V.N.	P.p.	dif.
1	0.880	0.747	0.133	0.797	0.850	-0.053
2	1.050	1.023	0.027	-	-	-
3	0.653	0.803	-0.150	0.790	0.767	0.023
4	0.750	0.797	-0.047	0.733	0.737	-0.003
5	0.800	0.730	0.070	0.757	0.780	-0.023
6	0.763	0.703	0.060	0.797	0.690	0.107
7	0.897	0.893	0.003	0.857	0.867	-0.010
8	1.123	0.823	0.300	1.093	0.867	0.227
9	1.257	1.150	0.107	1.143	1.077	0.067
10	1.257	1.185	0.072	1.143	1.073	0.070
11	1.190	1.115	0.075	1.150	1.187	-0.037
12	1.190	1.143	0.047	-	-	-
13	1.08	1.02	0.060	1.09	1.05	0.040
Promedio de dif.			0.058	0.037		

V.N.: Vegetación natural, situación de origen.

P.p.: Vegetación implantada, pino ponderosa,

dif.: Diferencia entre cada par de parcelas.

mación dominante de vegetación natural se encontró que las mismas coinciden casi totalmente con la separación realizada por órdenes de suelos, no encontrándose diferencia significativa.

No se encontró tampoco diferencia significativa entre la variación de la diferencia pH(H₂O)-pH(KCl), lo que indica que la acidez intercambiable tampoco varía como consecuencia del cambio de vegetación. Se analizó también discriminando aquellas parcelas en las que la diferencia pH(H₂O)-pH(KCl) daba mayor que 0.5, por ser este valor utilizado como primera aproximación a la determinación del Aluminio intercambiable, y tampoco se encontraron diferencias significativas (cuadro 8).

Variaciones de Da. Analizando en forma conjunta la totalidad de las parcelas muestreadas, no se encontraron diferencias significativas de variaciones de la Da a ninguna profundidad, notándose una tendencia a disminuir la densidad aparente en los primeros centímetros del suelo, bajo vegetación de *Pinus ponderosa* en relación a la vegetación natural hacia la zona del ecotono-estepa (cuadro 2).

CUADRO 6

Variación de la densidad aparente agrupada por subórdenes de suelos.

Bulk density variation grouped by soil suborders.

a: Vitrands

N°	0-25 cm			50-75		
	V.N.	P.p.	dif.	V.N.	P.p.	dif.
2	1.050	1.023	0.027			
3	0.653	0.803	-0.150	0.790	0.767	0.023
4	0.750	0.797	-0.047	0.733	0.737	-0.003
5	0.800	0.730	0.070	0.757	0.780	-0.023
6	0.763	0.703	0.060	0.797	0.690	0.107
7	0.897	0.893	0.003	0.857	0.867	-0.010
8	1.123	0.823	0.300	1.093	0.867	0.227
Promedio de dif.			0.038	0.05		

b: Xerolls

N°	0-25 cm			50-75 cm		
	V.N.	P.p.	dif.	V.N.	P.p.	dif.
9	1.257	1.150	0.107	1.143	1.077	0.067
10	1.257	1.185	0.072	1.143	1.073	0.070
11	1.190	1.115	0.075	1.150	1.187	-0.037
12	1.190	1.143	0.047			
13	1.08	1.02	0.060	1.09	1.05	0.040
Promedio de dif.			0.072	0.035		

V.N.: Vegetación natural, situación de origen.
 P.p.: Vegetación implantada, pino ponderosa,
 dif.: Diferencia entre cada par de parcelas.

Se analizan luego los datos agrupándolos por subórdenes de suelos y por tipo de vegetación, encontrándose en ambos casos que esa tendencia a disminuir la Da se corrobora con una diferencia significativa para los Xeroles en los primeros centímetros del suelo (cuadro 10). No es significativa la diferencia en ningún caso en profundidad. En este caso al agruparlas por tipos de vegetación (que incluía una parcela más que por órdenes de suelo) se encontró diferencia significativa, a la profundidad de 0-25 cm.

Estudio de correlación entre la edad de las plantaciones y los diferentes parámetros evaluados. El "t" calculado es también inferior al "t" de tablas (5%), por lo que se puede afirmar que no existe correlación significativa entre la edad de las

CUADRO 7

Análisis de significancia para las variaciones de pH: parcelas 1 a 13, y agrupadas por suborden de suelo.

Significance analysis for pH variations: plots 1 to 13, grouped by soil suborder.

	0-25 cm		50-75 cm	
	Dif. pH (agua)	Dif. pH (KCl)	Dif. pH (agua)	Dif. pH (KCl)
Parc. 1-13				
media	0.1362	0.1308	0.0236	0.0200
std	0.4259	0.3285	0.2210	0.1984
tcalc	1.153	1.435	0.355	0.334
t tablas 5%	2.201	2.201	2.228	2.228
Vitrands				
media	0.0300	0.0000	-0.0233	-0.0383
std	0.2465	0.2493	0.2206	0.2046
tcalc	0.322	0.000	0.259	-0.459
t tablas 5%	2.571	2.571	2.776	2.776
Xerolls				
media	0.2960	0.3100	0.0425	0.0575
std	0.5870	0.3708	0.2170	0.1702
tcalc	1.128	1.870	0.392	0.676
t tablas 5%	3.182	3.182	4.303	4.303

Dif.: Variación de pH.

CUADRO 8

Análisis de significancia, variación pH (agua) en relación al pH (KCl): parcelas 1 a 13 agrupadas por subórdenes de suelos.

Significance analysis for variation of pHw in relation to pHs: plots 1 to 13, grouped by soil suborder.

	Dif. (pH agua - pH KCl)	
	0-25 cm	50-75 cm
Parc. 1-13		
media	-0.0054	-0.0036
std	0.1850	0.1190
tcalc	0.104	0.105
t tablas 5%	2.201	2.228
Vitrands		
media	0.0300	-0.0150
std	0.1313	0.1480
tcalc	0.605	0.248
t tablas	2.571	2.776
Xerolls		
media	-0.0140	-0.0150
std	0.2510	0.0770
tcalc	-0.124	-0.386
t tablas	3.182	4.303

CUADRO 9

Correlación edad vs. variaciones de pH (agua, pH (KCl)).
Correlation of age vs. variation of pHw and pHs.

Nº	Edad	dif. a 0-25cm		dif. a 50-75cm	
		pH (agua)	pH (KCl)	pH (agua)	pH (KCl)
1	25	0.08	0.15	0.22	0.23
2	24	0.50	0.35		
3	48	-0.08	-0.20	-0.18	-0.05
4	52	0.03	0.06	0.22	0.13
5	41	0.25	0.34	0.26	0.26
6	20	-0.03	-0.10	-0.08	0.08
7	17	-0.18	-0.37	-0.27	-0.13
8	37	-0.28	-0.08	-0.18	-0.43
9	34	-0.25	-0.08	-0.01	-0.05
10	34	-0.14	0.17	-0.07	-0.20
11	34	0.17	0.30	0.35	0.39
12	20	1.40	1.01		
13	30	0.30	0.15	-0.04	0.03

Edad vs pH (agua) 0-25 cm		Edad vs pH (KCl) 0-25 cm	
R. cuad.	0.1110	R. cuad.	0.0331
n	13	n	13
n-2	11	n-2	11
tcalc	0.107	tcalc	0.056
t tablas 5%	2.201	t tablas 5%	2.201

Edad vs pH (agua) 50-75 cm		Edad vs pH (KCl) 50-75 cm	
R. cuad.	0.0815	R. cuad.	0.001310376
n	11	n	11
n-2	9	n-2	9
tcalc	0.099	tcalc	0.012
t tablas 5%	2.262	t tablas 5%	2.262

plantaciones y las variaciones de pH ni tampoco entre la edad de las plantaciones y las variaciones de la densidad aparente, a ambas profundidades (cuadros 9 y 11),

Los resultados obtenidos pueden deberse en principio a diferentes causas que pueden llegar a interactuar modificando estos valores con el transcurso del tiempo. Una de ellas sería la edad de las plantaciones, otra, las características de los suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles y Molisoles) y otra, la ausencia de un uso intensivo del suelo.

CUADRO 10

Análisis de significancia de las variaciones de Da: parcelas 1 a 13, y agrupadas por subórdenes de suelos. Significance analysis of the variation of bulk density: plots 1 to 13, grouped by soil suborders.

Parcelas 1 a 13	0-25 cm	50-75 cm
media	0.058	0.037
std	0.098	0.076
t calc	2.135	1.747
t tablas 5%	2.201	2.228
Vitrandes		
Parcelas 2 a 8	0-25 cm	50-75 cm
media	0.038	0.053
std	0.128	0.088
t calc	0.780	1.478
t tablas 5%	2.571	2.776
Xerolls		
Parcelas 9 a 13	0-25 cm	50-75 cm
media	0.072	0.035
std	0.020	0.043
tcalc	8.057	1.628
t tablas	3.182	4.303

CUADRO 11

Correlación edad vs. variaciones de densidad aparente. Correlation of age vs. variations of bulk density.

Nº	Edad	0 a 25 cm	50-75 cm
		Dif. Da	Dif. Da
1	25	0.133	-0.053
2	24	0.027	-
3	48	-0.150	0.023
4	52	-0.047	-0.003
5	41	0.070	-0.023
6	20	0.060	0.107
7	17	0.003	-0.010
8	37	0.300	0.227
9	34	0.107	0.070
10	34	0.072	0.067
11	34	0.075	-0.037
12	20	0.047	-
13	30	0.060	0.040

Edad vs Da 0-25 cm		50-75 cm	
R. cuad.	0.0615	R. cuad.	0.00029
n	13	n	11
n-2	11	n-2	9
tcalc	0.077	tcalc	0.006
t tablas 5%	2.201	t tablas 5%	2.262

En cuanto a la edad, las plantaciones cuyos suelos se muestrearon no son tan jóvenes, mayores de 17 años y menores de 52 años, promedio casi 32, lo que pondría en duda que a medida que transcurre el tiempo la acidificación pueda llegar a darse, sobre todo considerando que no se presentan indicios que indiquen un incremento de la acidificación con el incremento de la edad de las plantaciones. Por otro lado, según lo planteado por Zinke (citado en Daniels, Helms y Baker, 1982), un solo árbol de *Pinus contorta*, a través de la incorporación de materia orgánica, en 45 años generó un descenso de más de una unidad del pH, lo que permite suponer que los suelos bajo las plantaciones de 41, 48 y 52 años podrían haber sufrido alguna modificación de pH, lo que no se desprende en absoluto de las mediciones realizadas. De todas formas podría justificarse realizar un muestreo abarcando una menor profundidad y más detallado, cada 1 ó 2 cm por debajo del horizonte orgánico en los primeros 5 cm.*

En cuanto a las características de estos suelos, los resultados obtenidos apoyarían el supuesto de que presentan propiedades particulares que no permiten su acidificación progresiva. La presencia de alófanos (Andisoles) y sustancias alofanizadas con arcillas cristalinas muy jóvenes (Molisoles) (Colmet Daage *et al.*, 1988) forman un complejo orgánico-mineral muy estable y con un reciclaje y mineralización de la materia orgánica extremadamente lentos. Esto se manifiesta, entre otras cosas, en la estabilidad de los agregados "pseudolimo", "hollow spherules" (Wada, 1985).

Por otro lado, otro factor a considerar es el aporte sucesivo en el tiempo de cenizas volcánicas que genera un enriquecimiento y rejuvenecimiento del suelo. Estos depósitos determinan un aporte de minerales livianos cuyo grado de alteración es bajo (Apcarian, Alvarez e Irisarri, 1993), pero que influirían en el aporte, sobre todo futuro, de bases al suelo.

La incorporación de la materia orgánica, debida a la instalación de forestaciones en particular en la zona ecotono bosque-estepa, podría estar actuando sobre la disminución de la densidad aparente observada en superficie, dado que se parte de una situación donde los porcentajes de materia orgánica son menores y donde muy probablemente exis-

ta una diferencia mayor en el porcentaje de materia orgánica dentro y fuera de la plantación (estepa vs bosque implantado). Las propiedades relacionadas con el material piroclástico son menos evidentes, y a nivel clasificación aparecen en forma subordinada, lo que se refleja a nivel de los subgrupos vitránicos.

Respecto a la densidad aparente del suelo, hay que tener presente que los cambios mayores en las propiedades físicas los generan el uso intensivo, en particular las técnicas de cosecha, por requerirse maquinaria pesada para la extracción. Hay que considerar que el manejo que han soportado estos suelos es muy leve, no habiendo entrado aún en la etapa de extracción intensiva. Los estudios sobre la variación de la densidad aparente se tornarían cruciales para determinar los métodos de manejo relacionados con la extracción masiva de los productos forestales.

CONCLUSIONES

-Las plantaciones de *Pinus ponderosa*, de hasta 52 años, en relación con la vegetación natural, no provocan una variación de la acidez actual, ni un incremento de la acidez intercambiable de los suelos derivados de cenizas volcánicas.

-Las plantaciones de *Pinus ponderosa*, de hasta 52 años, en relación con la vegetación natural, no provocan una variación de la densidad aparente de los Andisoles, no incidiendo por lo tanto en la infiltración de agua, ni en la aireación, ni en la resistencia a la penetración de las raíces.

-Las plantaciones de *Pinus ponderosa*, de hasta 52 años, en relación con la vegetación natural, provocan una disminución de la densidad aparente de los suelos cuyas propiedades no son nítidamente ándicas, Xeroles, lo que mejoraría sus propiedades físicas relacionadas con la economía del agua y del aire.

-El incremento en edad de las plantaciones (de 17 a 52 años) no provoca un incremento de la acidificación de los suelos derivados de ceniza volcánica.

-El incremento en edad de las plantaciones (de 17 a 52 años) no provoca un incremento de la densidad aparente, habiendo leves indicios de una disminución de la misma, más que un incremento.

* R. Grez. Universidad Austral de Chile, Comunicación personal.

RECOMENDACIONES

-Se deberían repetir las mediciones cuando las plantaciones existentes estén próximas al turno de corta, y luego de realizadas las extracciones para cuantificar el efecto de las diferentes prácticas, e implementar normas de manejo que garanticen el uso sustentable del recurso.

-Se debería continuar con este tipo de estudio, considerando en particular la variación de los contenidos de materia orgánica así como de su velocidad de reciclaje, dadas las variaciones de Da que se determinaron en superficie en el ecotono bosque-estepa, sobre Argixeroles vitrándicos, Haploxeroles vitrándicos y Haploxeroles énticos.

BIBLIOGRAFIA

- APCARIAN, A., O. ALVAREZ, J. IRISARRI. 1993. "Aplicación de los componentes principales para el estudio de los factores que afectan la distribución mineralógica de algunas cenizas volcánicas en las provincias de Neuquén y Río Negro (R.A.)". *Actas XXIV Congreso argentino de la Ciencia del suelo*. Mendoza, pp. 419-421.
- 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, A. SADZAWKA, G. SEPULVEDA, S. MASSARO, G. MILLOT, P. BOULEAU. 1988. *Características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la cordillera y precordillera del norte de la Patagonia*. S.C. Bariloche, Argentina INTA-ORSTOM, 167 pp.
- DANIELS, P., U. HELMS, F. BAKER. 1982. *Principios de silvicultura*. EE.UU., Mc Graw Hill, 234 pp.
- EGAWA, T. 1980. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. En: *Suelos derivados de ceniza volcánica en Japón*. Ed. Ishizuka & Black, pp. 47-55.
- ELLIES, A., R. MAC DONALD, C. RAMIREZ. 1993. "Variación de la estructura del suelo forestal sujeto a diferentes manejos". *Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo*. Boletín N° 10: 118-135.
- FERNANDEZ, R. 1984. "Cambios en la acidez de Ultisoles destinados al cultivo de *Pinus* spp. respecto a su condición original bajo cubierta nativa". *Actas III Jornadas Técnicas Eldorado Misiones*, T.1 p. 45.
- FREESE, F. 1990. *Elementary Statistical Methods for Foresters*. Oregon EE.UU. Agriculture Handbook N° 317 USDA OSU Book Stores, 86 pp.
- _____. 1992. *Elementary Forest Sampling*. Oregon, EE.UU., Agriculture Handbook N° 232 USDA OSU Book Stores, 62 pp.
- FERRER, J., M. MENDIA, J. IRISARRI. 1991. *Estudio regional de los suelos de la provincia del Neuquén*. Volumen 1, Tomo 2, 3, CFI-COPADEF-Prov. NQN, 244 pp.
- GAYOSO, J., A. IROUME. 1993. "Impacto al suelo por efecto de la cosecha forestal". *Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo*. Boletín N° 10: 99-107.
- MAEDA, T., A. TAKENAKA, B.P. WARKETIN. 1977. "Physical properties of allophane soils", *Adv. Agron.* (29): 229-264.
- MEURISE, R. 1987. "Forest soil management of U.S. Andisols". *Proceedings of the first ISCOM Characterization, Classification and utilization of Andisols*. USDA-USAID, pp. 130-142.
- PANSE, V.G., P.V. SUKHATME. 1963. *Métodos estadísticos para investigaciones agrícolas*. 2ª ed. Español, Fondo de Cultura Económica, 349 pp.
- PEINEMANN, N., P. ZABALA. 1986. "Efecto de algunas especies forestales sobre las propiedades edáficas de Argiudoles en Sierra de la Ventana". *Actas XI Congreso Argentino Cs. del suelo*, p. 83.
- SOIL SURVEY STAFF. 1992. *Keys to Soil Taxonomy*. Blacksburg, Virginia, 5th. ed. AID, USDA, Technical Monograph N° 19, 523 pp.
- SHOJI, S., M. NANZYO, R.A. DAHLGREN. 1993. *Volcanic ash soils. Genesis. Properties and utilization*. Developments in soil Science 21. Elsevier, Amsterdam, 288 pp.
- WADA, K. 1985. *Distinctive properties of Andosols*. Advances in soil Sc. Springer Verlag, New York, pp. 175-229.