

## Efecto del *Pinus ponderosa* Dougl. sobre la reacción del suelo en el Sudoeste del Neuquén, Argentina\*

*Pinus ponderosa* Dougl. effect in soil reaction in southwestern Neuquén, Argentina

P. BROQUEN, F. CANDAN, G. FALBO, J.L. GIRARDIN, A. APCARIAN

A.U.S.M.A.- F. C. A.- U. N. Comahue, Pasaje de la Paz 235. (8370) S. M. Andes, Argentina

### SUMMARY

Soil reaction and some properties related with Al activity were studied in 26 plots distributed through an approximately west-east transverse: 13 with native vegetation, *Nothofagus* forest and 13 with *Pinus ponderosa* Dougl. -the first plantation from 14 to 56 years- under equivalent site conditions. Soil was sampled in each plot at three different points, and a composite sample of three simple samples per centimeter in the first five was obtained. The pH (KCl) values were near five, indicating a relative dominance of Al in the soil solution. They were lower than pH (H<sub>2</sub>O), probably indicating the presence of a variable electronegative charge. Within the five first soil centimeters, all properties, except pH (H<sub>2</sub>O), were significantly different. The marked decrease of pH (KCl) under pines, to values lower than five, indicated an increase of exchangeable acidity and Al. Total exchangeable cations were lower under pines, suggesting that Al occupied exchangeable sites. The absence of changes in soil solution acidity and the increase of exchangeable acidity are related to the high soil buffering capacity of volcanic soils enhanced by Al activity, and the permanent addition of volcanic ashes. The significant increase of pH (NaF) under pines would indicate a trend to allophane formation, which in turn would contribute to increases in the buffering capacity of the soils.

*Key words:* Allophane, Andisols, active Al, forest soils, andinopatagonia.

### RESUMEN

Se estudió la reacción del suelo y propiedades relacionadas con la actividad del Al en 26 parcelas distribuidas en un transverso con una dirección aproximada oeste-este, trece bajo bosque nativo de *Nothofagus* y trece bajo *Pinus ponderosa* Dougl. -primera plantación de 14 a 56 años- en condiciones de sitio equivalentes. Se muestreó el suelo en cada parcela en tres puntos diferentes y se obtuvo una muestra compuesta por tres submuestras de cada centímetro dentro de los primeros cinco centímetros del suelo por debajo del horizonte-O. Los valores de pH(KCl) fueron menores a los de pH(H<sub>2</sub>O), lo que puede indicar un dominio de cargas variables electronegativas. En los primeros cinco centímetros todas las propiedades variaron estadísticamente, excepto el pH(H<sub>2</sub>O). La disminución altamente significativa del pH(KCl) bajo pino a valores menores de 5 indicó un incremento de la acidez de intercambio y de la actividad del Al. Las bases de cambio totales fueron menores bajo pino, por lo que los sitios de intercambio pasarían a estar ocupados por el Al. La ausencia de un cambio significativo de la acidez de la solución del suelo y el incremento de la acidez de cambio se relacionan con el alto poder tampón de estos suelos, acentuado por el Al y la incorporación permanente de cenizas volcánicas. El incremento significativo del pH(NaF) bajo pino estaría indicando una tendencia hacia la formación de alófono, lo que a su vez estaría contribuyendo a aumentar la capacidad tampón de los suelos.

*Palabras claves:* Alófono, acidificación, Al activo, suelos forestales, andinopatagonia.

---

\* Subsidiado por la Secretaría de Investigación U. N. Comahue.

## INTRODUCCION

Suelos bajo diferentes especies de árboles pueden diferir sustancialmente en sus propiedades y estas diferencias no son necesariamente positivas o negativas; no hay estudios que muestren que alguna especie determine cambios de todas las variables del suelo en el mismo sentido (Binkley 1994). El autor plantea que el conocimiento de los efectos de las especies sobre el suelo se encuentra fuertemente "nublado" por inferencias prematuras, información limitada y extrapolación no garantizada, lo que lleva muchas veces al uso de términos y conceptos vagos tales como "la acidificación del suelo es negativa", "las coníferas son acidificantes" y por lo tanto son "especies degradantes". Esto ha redundado en generalizaciones no siempre válidas, transformadas en preceptos.

Numerosos procesos son afectados por la reacción del suelo y viceversa, entre otros la tasa de descomposición de la materia orgánica, la alteración de los minerales del suelo y los procesos pedogenéticos, así como también puede afectar el crecimiento vegetal, a través de su efecto sobre la solubilidad de los nutrientes. La profundización del conocimiento respecto a los procesos de acidificación estuvo fuertemente relacionada con las deposiciones ácidas que han generado grandes controversias a nivel mundial y llevó a estudiar los mecanismos naturales de la acidificación (Robarge y Johnson 1992). En los ecosistemas forestales los procesos naturales de acidificación incluyen absorción de cationes, lavado natural por ácidos carbónico, nítrico u orgánico y formación de humus (Ulrich 1980 citado en Robarge y Johnson 1992). El aluminio (Al) juega un rol principal en la acidez del suelo y es importante considerarlo en el caso que nos ocupa, dado el dominio en la zona de estudio de suelos derivados de cenizas volcánicas que se caracterizan por ser suelos con Al activo (Colmet Daage *et al.* 1991). Las formas activas de Al y Fe son (1) formas alumino-silicatadas no cristalinas o paracristalinas tales como alófono, imogolita, ferrihidrita; (2) iones hidroxil-Al en intercapas de filosilicatos intergradados 1:1, 2:1:1; (3) complejos Al-humus en los que los iones hidroxil-Al estuvieron unidos a los grupos carboxilos y (4) iones Al intercambiables en filosilicatos 2:1 y 1:1. El contenido de carbono y el rango de pH determinan en gran parte el com-

portamiento del Al en los suelos con propiedades ácidas (Wada 1985, 1977).

Se encuentran estudios, mayoritariamente en Japón, que consideran la incidencia de diferentes especies sobre suelos derivados de cenizas volcánicas, tanto referidos a sus propiedades físicas (Maeda *et al.* 1977, Sato y Tokunaga 1989, Tamura *et al.* 1990, Higuchi y Kashiwagi 1993), como también a las químicas (Dahlgren *et al.* 1991, Shoji *et al.* 1988, 1984, 1982) y mineralógicas (Shoji *et al.* 1988, Huang 1990, Inoue y Huang 1991). En este sentido son muy escasos los antecedentes en la Argentina, en la zona de estudio y en particular para los Andisoles. En el SO de la provincia del Neuquén, Broquen *et al.* (1995) no encontraron variaciones del pH(H<sub>2</sub>O) ni del pH(KCl) a nivel de perfil del suelo bajo *Pinus ponderosa* Dougl., considerando muestras compuestas a dos profundidades -0 a 25 y 50 a 75 cm. Es de destacar que esto no significa que no existan cambios en la reacción del suelo considerando otro nivel de análisis. Es importante considerar que en suelos semejantes bajo condiciones de sitio equivalentes y diferente vegetación los posibles cambios van a ser producto principalmente del aporte de materia orgánica y de su interacción con la fracción mineral. Los árboles influyen sobre el suelo aportando materia orgánica principalmente como hojarasca en cantidades y composición química variables. El valor del pH en los primeros centímetros del suelo es afectado por diferentes factores, entre los cuales el tipo de cobertura vegetal y la composición mineralógica del suelo son fundamentales. Para poder evaluar los posibles cambios de la reacción del suelo, producto de cambios en la vegetación, es necesario conocer cuáles son las variaciones espaciales naturales en el pH del suelo y en qué nivel espacial nos encontramos.

Estudios comparativos de suelos bajo masas boscosas implantadas y adyacentes no cultivados bajo vegetación nativa ofrecen información básica valiosa para estudios relacionados con la conservación del suelo y su manejo.

Los objetivos de la investigación fueron (1) determinar la variación del pH dentro de la biosecuencia bosque; (2) determinar si la reacción del suelo varía bajo forestaciones con pino ponderosa en relación a la vegetación nativa, y (3) determinar si existe interacción del pH con la profundidad en los primeros centímetros del suelo y con el tipo de vegetación.

## MATERIAL Y METODOS

El estudio se realizó en la región andinopata-gónica, sudoeste de la provincia de Neuquén, circunscrito a la biosecuencia bosque muy húmedo a húmedo. A grandes rasgos, la zona se caracteriza por la presencia del Cordón Chapelco de la Cordillera de los Andes con una altitud de 2.000 m, descendiendo paulatinamente hacia el este hasta alrededor de los 600 m. Los vientos dominantes con dirección oeste-este vienen cargados con la humedad del Pacífico y se van tornando más secos a medida que se alejan de la Cordillera. Las precipitaciones medias anuales abarcan un rango desde los 2.000-3.000 mm sobre el límite con Chile a 900 mm en poco más de 50 km de distancia horizontal hacia el este. Geológicamente la región se encuentra modelada por los glaciales, posteriormente recubierta por un manto de cenizas volcánicas, heterogéneo en su espesor y número de tefras\* superpuestas. Su origen es de diferentes volcanes ubicados del lado chileno de la cordillera y los últimos aportes descritos corresponden al año 1960, 1932 y 1921 (Auer 1949, Laya 1977). Las tefras postglaciales que las anteceden están datadas por Auer (1949) en 2.000 años las más recientes y 9.000-10.000 años las más antiguas. Las cenizas, por acción de los vientos dominantes, tuvieron una gran dispersión en la Patagonia y conjuntamente con el clima son las que le dan a la zona sus principales características en cuanto al tipo de suelos y de vegetación boscosa dominante (Auer 1949, Laya 1977, Colmet Daage *et al.* 1988, Ferrer *et al.* 1990). Hacia el oeste se encuentran suelos enterrados por las diferentes tefras, caracterizados por una sucesión alternante de productos piroclásticos y con incrementos abruptos del contenido de materia orgánica. En las cenizas más antiguas (Miembro Lago Mascardi) se aprecian propiedades tixotrópicas y una sensación levemente grasosa al tacto, debida probablemente a un incremento del contenido de alófono (Laya 1977).

Las especies relevadas correspondieron hacia el oeste al 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), pasando a bosque mixto abierto de *Lomatia*

*hirsuta* (Lam.) Diels (radal) y/o *Nothofagus antarctica* (Forst. f.) Oerst. (ñire) y a ñiranto-pastizal compuesto por bosquetes de ñire con *Mulinum spinosum* Pers. (neneo), *Stipa speciosa* Trin. (coirón amargo), *Festuca pallescens* (St. Yv.) Parodi (coirón dulce), *Acaena splenden* (acaena). El bosque implantado en todos los sitios fue 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). Las plantaciones correspondieron a primera plantación con edades comprendidas entre los 14 y 56 años y con cobertura de la tierra entre 70 y 100%,

Todos los suelos fueron derivados de cenizas volcánicas, bien drenados, con régimen hídrico údico y térmico méxico, correspondiéndoles el orden Andisoles (Soil Survey Staff 1992). Las secuencias de horizontes fueron muy semejantes entre los suelos bajo las dos condiciones de vegetación. En las situaciones más hacia el oeste aparecen varias deposiciones sucesivas de cenizas, que se reflejan en los horizontes enterrados donde se encontró un incremento del contenido de materia orgánica. En estos sitios se distinguió claramente la tefra Lago Totoral correspondiente a la erupción de 1960 (Laya 1977) que se manifiesta en un horizonte C discontinuo en la superficie. El color en húmedo de los suelos fue negro a pardo muy oscuro, tornándose pardo amarillento en profundidad. Hacia el este la secuencia característica fue A - AB - Bw. Esta variación oeste-este de los perfiles de suelo responde a la proximidad de los volcanes y a la graduación de las precipitaciones siguiendo el patrón de distribución característico de la zona. Acorde a los antecedentes (Laya 1977, Apcarián *et al.* 1993, Apcarián e Irisarri 1993), todos los suelos estudiados presentaron texturas aparentes gruesas en superficie tornándose más finos en profundidad, siendo homogéneo el material de origen de los horizontes superficiales.

Para determinar los límites de la biosecuencia bosque se utilizaron los mismos criterios planteados por Broquen *et al.* (2000), donde se presenta una descripción detallada de los sitios. El diseño de muestreo se realizó tomando como base las parcelas ubicadas en un transversal con dirección aproximada oeste-este, entre la Estancia Quechquina (40°09' LS, 71°35' LO) y la vertiente oeste de la loma atravesada de Taylor (40°05' LS, 71°12' LO), abarcando las topoclimosecuencias

\* Tefra: "todos los materiales volcánicos clásticos, los cuales durante una erupción son transportados desde el cráter a través del aire". Thorarinsson citada por Laya (1977).

características dentro de la biosecuencia bosque. Dentro de ésta se restringió a la formación vegetal de mayor extensión areal -bosque mixto de *Nothofagus*- (Movia *et al.* 1982) y a suelos derivados de cenizas volcánicas o Andisoles, por ser estos los suelos asociados al bosque de *Nothofagus*.

Dado que a nivel de perfiles de suelo a profundidad fija, de 0 a 25 cm y de 50 a 75 cm, no se han encontrado diferencias significativas en la densidad aparente, el pH(H<sub>2</sub>O) y el pH(KCl) (Broquen *et al.* 1995), en el presente trabajo se analizaron los primeros cinco centímetros del suelo por debajo de la hojarasca acumulada. De esta forma se procuró detectar, con un mayor nivel de detalle, el efecto de la incorporación de restos orgánicos desde la superficie del suelo compuestos principalmente por acículas de pino.

Las propiedades consideradas fueron aquellas relacionadas con la reacción del suelo y la actividad del aluminio: acidez de la solución, pH(H<sub>2</sub>O); acidez de intercambio pH(KCl), ΔpH -definido como la diferencia entre el pH(H<sub>2</sub>O) y el pH(KCl)-; pH(NaF); capacidad de intercambio efectiva y bases de cambio. Los análisis se hicieron acorde a los procedimientos presentados por van Reeuwijk (1986) y Sadzawka (1990). La selección de estas variables se basó en que:

- (i) En general en suelos ácidos el pH(H<sub>2</sub>O) es mayor que el pH(KCl), lo que puede ser considerado como un primer indicador de la acidez de intercambio y de la carga de los suelos (Colmet Daage *et al.* 1991, Lanciotti 1993, Tan 1993).
- (ii) La presencia del Al activo en suelos puede ser detectada midiendo potenciométricamente el aumento del pH en una solución molar de NaF después de dos minutos de reacción con el suelo. Cuando el valor de pH(NaF) a los 2' es mayor a 9,2 se considera que indica la presencia de Al activo (Saigusa *et al.* 1991). Por otra parte, el pH(NaF) a los 2' y 60' puede ser utilizado para inferir la mineralogía de las arcillas dominantes. Cuando ambos valores de pH(NaF) son mayores a 9,2 hay un dominio en el suelo del alófono, si ambos valores son menores a 9,2 hay un dominio de haloisita, y si a los 2' es menor a 9,2 y a los 60' es mayor a 9,2 indica un dominio de imogolita (Irisarri, 2000).
- (iii) La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los Andisoles está determinada por las cargas dependientes del pH y si se mide al pH del suelo, que generalmente es ácido, puede quedar reducido a la mitad, o incluso, a la tercera parte del valor medido a pH 7. Esto explica por qué con frecuencia el grado de saturación en bases es subestimado respecto a la realidad. Debido a las múltiples dificultades para estimar correctamente la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la variabilidad de los valores obtenidos por los métodos convencionales, se resolvió determinar la CIC efectiva definida como la suma de las bases totales más el Al<sup>3+</sup> y el H<sup>+</sup> extractables con KCl (Besoain 1985, Fassbender y Bornemisza 1987, Kimble y Nettleton 1987).

A los efectos de controlar los gradientes en función de la profundidad y permitir realizar una comparación del pH entre las zonas con y sin vegetación implantada, el tratamiento de los datos se realizó a través de la metodología propia de un experimento factorial aleatorizado. La ventaja del experimento factorial es que este puede dar información respecto a interacciones de las diferentes variables en estudio, información que se perdería si se tratasen por separado. Otro aspecto positivo es la extensión de las conclusiones cuando está en estudio más de un factor, este diseño resulta el más informativo y eficaz en la comparación (Montgomery 1991). Para realizar el análisis estadístico se tuvo en cuenta a Nykvist y Skjellberg (1989), quienes plantean que debe utilizarse la escala logarítmica del pH. Por un lado, estos valores tienen una distribución normal y, por otro, existen evidencias de que el balance mensurable de protones en el suelo tiene una distribución logarítmica. Peech (1965) (citado en Nykvist y Skjellberg 1989) estableció que una muestra compuesta bien mezclada de suelo, constituida por muestras simples de suelo, era mejor estimada por el valor medio basado en valores de pH que utilizando la concentración de hidrógeno de las muestras simples, siendo deseable el cálculo de los estadísticos directamente de los valores de pH.

Se consideraron dos niveles por vegetación y cinco niveles por profundidad. Se fijaron algunas restricciones a priori para las características de sitio de forma tal que todos los suelos fuesen derivados

de cenizas volcánicas alofanizados (test de Fieldes y Perrot (1966) a campo positivo), con ambos tipos de vegetación en condiciones de sitio equivalentes -igual rango de altitud, orientación, posición- y colindantes -con una distancia de 20 m de separación-, garantizando la mínima influencia recíproca tanto a nivel hojarasca como de raíces. Como ya se planteara, la vegetación nativa fue el bosque mixto de *Nothofagus* y la especie exótica considerada fue el *Pinus ponderosa* Dougl. (pino ponderosa), especie de interés regional con la que se ha forestado y se continúa forestando en la región andinopatagónica, en particular en la provincia de Neuquén. La determinación de las unidades de muestreo en las diferentes situaciones fue condicionada a la existencia de masas implantadas con pino ponderosa, dado que se utilizaron como parcelas experimentales plantaciones realizadas con otros fines. Se consideraron situaciones no sometidas a prácticas silvícolas que hayan podido alterar notablemente el desarrollo de los primeros centímetros del suelo, tales como quemas, extracciones de ejemplares con remoción de hojarasca o raleos intensivos. La edad de las plantaciones se determinó por lectura de anillos de tarugos extraídos con barreno de incremento.

Para realizar el muestreo dentro de la plantación se sortearon aleatoriamente tres árboles descartando el borde. Se fijó el lugar del muestreo a una distancia de cincuenta centímetros (50 cm) del tronco del árbol donde se removió el horizonte orgánico hasta llegar al contacto con el horizonte-A, o en su defecto primer horizonte mineral. Se repitió bajo los tres árboles, obteniendo una muestra compuesta de cada un centímetro en los primeros cinco centímetros por parcela, utilizando una plancheta diseñada para tal efecto. La distancia a tronco fijada para el muestreo se estableció acorde con algunos antecedentes (Zinke 1964, citado en Daniel *et al.* 1982, Duchafour 1977, Mazzarino *et al.* 1991), que muestran que el área de influencia de la copa es donde se han encontrado cambios significativos. Para realizar el muestreo bajo vegetación nativa se utilizó el mismo criterio que bajo pino, tanto para ejemplares arbóreos como arbustivos.

A partir de datos obtenidos anteriormente (Broquen *et al.* 1995, Colmet Daage *et al.* 1998) y de un relevamiento y muestreo piloto se analizaron los estadísticos sencillos de los valores de pH(H<sub>2</sub>O) del horizonte superficial bajo vegetación de *Nothofagus*. Estos estadísticos se utilizaron para determinar la variación de la variable a analizar y

el número de muestras necesarias ( $\alpha = 0,05$ ). El pH(H<sub>2</sub>O) varió entre un valor mínimo de 4,8 y uno máximo de 6,5, con una media de 5,9, con un coeficiente de variación de 0,08. Se calculó el "n" según Cochran (1977) dando un valor de 9,93 (10).

Se determinó un total de veintiséis unidades de muestreo, trece bajo vegetación natural y trece bajo vegetación implantada que abarcaron una variación altitudinal entre los 1.180 m hasta alrededor de los 650 m, diferentes posiciones topográficas y un amplio rango de exposiciones. Comprenden un rango de precipitaciones medias anuales entre los 2000 mm y los 900 mm (Barros *et al.* 1983). Se realizaron en total ciento treinta (130) determinaciones para el pH(H<sub>2</sub>O) y ciento treinta (130) para el pH(KCl) en las muestras compuestas por tres submuestras, para cada uno de los cinco primeros centímetros. Se realizó el análisis factorial de los resultados con el programa SAS (1997) considerando el pH(H<sub>2</sub>O), el pH(KCl), a dos niveles de vegetación -bosque de *Nothofagus* y bosque implantado de pino ponderosa-, cinco niveles de profundidad, con trece repeticiones. Al haber repeticiones se pudo analizar la interacción.

## RESULTADOS Y DISCUSION

El valor promedio del pH(H<sub>2</sub>O) en superficie bajo *Nothofagus* fue 5,9 con un 95% de probabilidad de encontrarse entre 5,1 y 6,6. Para vegetación implantada el valor promedio fue 5,8 con un 95% de probabilidad de encontrarse entre 5,2 y 6,3. En promedio fueron suelos moderadamente ácidos en superficie (Soil Survey Staff 1993), tanto bajo vegetación natural como implantada, abarcando el rango de fuertemente ácidos a ligeramente ácidos (cuadro 1).

El valor medio del pH(KCl) bajo vegetación nativa fue 5,1 con un 95% de probabilidad de encontrarse entre 4,4 y 5,8, bajo pino fue 4,9 con un 95% de probabilidad de encontrarse entre 4,2 y 5,6 (cuadro 1). El pH(KCl) fue próximo a 5, lo que indicaría un dominio de Al activo en ambas situaciones, el que tendería a incrementar bajo pino. Tanto el pH(H<sub>2</sub>O) como el pH(KCl) fueron menores bajo pino, atenuándose la diferencia en los dos centímetros inferiores (figura 1).

Con el análisis de varianza, no se encontró interacción significativa entre los factores tipo de vegetación y profundidad para el pH(H<sub>2</sub>O), por lo que se pudo pasar a analizar el efecto simple de

CUADRO 1

Estadísticos sencillos de los valores de pH(H<sub>2</sub>O), pH(KCl) y ΔpH [pH(H<sub>2</sub>O) - pH(KCl)], en los primeros 5 cm para la totalidad de las parcelas con vegetación natural (VN) y con pino ponderosa (PP).

Single statistics for pH(H<sub>2</sub>O), pH(KCl) and ΔpH [pH(H<sub>2</sub>O) - pH(KCl)] values, in the first 5 cm, for all plots with natural vegetation (NV) and Ponderosa pine (PP).

	pH(H <sub>2</sub> O)		pH(KCl)		ΔpH	
	VN	PP	VN	PP	VN	PP
Media	5,9	5,8	5,1	4,9	0,8	0,9
Desvío estándar	0,3658	0,2899	0,3434	0,3435	0,1832	0,1984
Varianza	0,1338	0,0840	0,1180	0,1180	0,0335	0,0394
Mínimo	5,3	5,2	4,3	4,3	0,4	0,0
Máximo	6,9	6,4	6,1	5,9	1,1	1,4
n	65	65	65	65	65	65

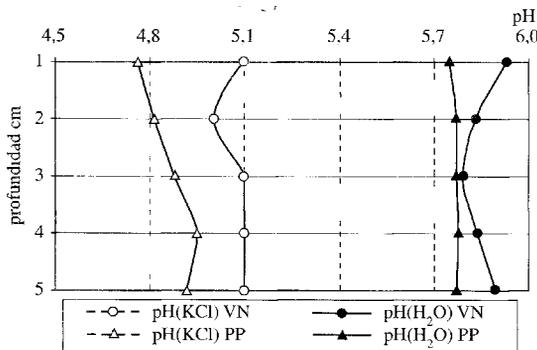


Figura 1. Valores medios por centímetro del pH(H<sub>2</sub>O) y pH(KCl) en los primeros 5 cm para la totalidad de las parcelas con vegetación natural (VN) y con pino ponderosa (PP).

pH(H<sub>2</sub>O) and pH(KCl) average values per centimeter in the first 5 cm for all plots with natural vegetation (NV) and Ponderosa pine (PP)

los factores, en este caso tipo de vegetación. No se encontraron diferencias significativas del pH(H<sub>2</sub>O), tanto respecto al cambio de vegetación como a la profundidad (cuadro 2). Es decir, que el comportamiento del sistema, respecto a estas variables, respondió de la misma forma tanto a nivel del perfil del suelo (Broquen *et al.* 1995) como a nivel detallado de los primeros 5 cm.

El pH(H<sub>2</sub>O) bajo pino ponderosa mostró una tendencia a ser menor que bajo vegetación nativa, manteniendo un valor medio mayor a 4,9, por lo que el proceso dominante en la evolución de estos primeros centímetros del suelo sería hacia las propiedades de los Andisoles alofánicos.

A partir del análisis de varianza para el pH(KCl) (cuadro 3) se pudo afirmar que ocurrió un descenso altamente significativo del pH(KCl)

CUADRO 2

Análisis de varianza: variable dependiente pH(H<sub>2</sub>O), dos niveles de vegetación y cinco de profundidad.  
Variance analysis dependent variable pH(H<sub>2</sub>O), two vegetation levels and five depth levels

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	F-crítico α = 0,05
Vegetación	0,26686	1	0,26686	2,33	0,130	3,92
Profundidad	0,05918	4	0,01480	0,13	0,972	2,45
Interacción	0,11236	4	0,02809	0,24	0,912	2,45
Error	13,7718	120	0,11476			
Total corregido	14,2102	129				

CUADRO 3

Análisis de varianza: variable dependiente pH(KCl), dos niveles de vegetación, cinco de profundidad.  
Variance analysis: dependent variable pH(KCl), two vegetation levels and five depth levels.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	F-crítico $\alpha = 0,05$
Vegetación	1,40608	1	1,4061	11,42 **	0,0001	3,92
Profundidad	0,14213	4	0,0355	0,29	0,8849	2,45
Interacción	0,18545	4	0,0464	0,39	0,8250	2,45
Error	14,7729	120	0,12310			
Total corregido	16,5066	129				

\*\* : altamente significativo.

debida al cambio de vegetación ( $F = 11,42$  con  $Pr > F = 0,001$ ), y que no existió diferencia significativa del pH(KCl) debida a la profundidad.

El descenso del pH(KCl) se reflejó en un incremento de la diferencia entre el pH(H<sub>2</sub>O) y pH(KCl) ( $\Delta$ pH). El  $\Delta$ pH indica la presencia de cargas variables (Shoji *et al.* 1993) y al ser este valor positivo (cuadros 1 y 4, figura 2) se podría esperar un dominio en superficie de cargas electronegativas, mayor bajo pino que bajo vegetación nativa. Por otra parte los valores del  $\Delta$ pH indican que los suelos tendrían una alta acidez de intercambio, la que aumentó bajo vegetación de pino.

Con el análisis de varianza para el  $\Delta$ pH tampoco se encontró una interacción significativa entre los factores y a través de la comparación de los valores bajo ambas vegetaciones se encontró una dife-

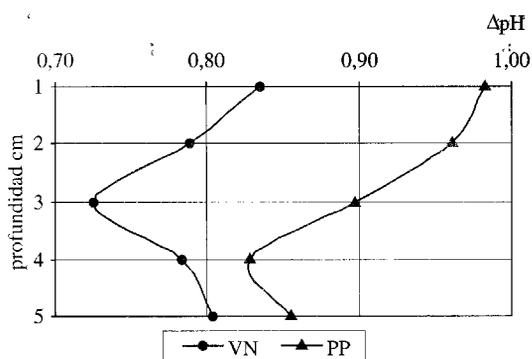


Figura 2.  $\Delta$ pH [pH(H<sub>2</sub>O) - pH(KCl)] promedio por centímetro en los primeros 5 cm para la totalidad de las parcelas con vegetación natural (VN) y con pino ponderosa (PP).

$\Delta$ pH [pH(H<sub>2</sub>O) - pH(KCl)] average values per centimeter in the first 5 cm for all plots with natural vegetation (NV) and Ponderosa pine (PP).

CUADRO 4

Análisis de varianza: variable dependiente  $\Delta$ pH, dos niveles de vegetación, cinco de profundidad.  
Variance analysis: dependent variable  $\Delta$ pH, two vegetation levels and five depth levels.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	F-crítico $\alpha = 0,05$
Vegetación	0,4478	1	0,4478	12,35 **	0,0006	3,9201
Profundidad	0,2070	4	0,0518	1,43	0,2291	2,4472
Interacción	0,1079	4	0,0270	0,74	0,5639	2,4472
Error	4,3514	120	0,0363			
Total corregido	5,1141	129				

\*\* : altamente significativo.

rencia altamente significativa del  $\Delta\text{pH}$  ( $F = 12,35$  con  $\text{Pr} > F = 0,0006$ ). Es decir, que bajo pino ocurriría un incremento de la acidez de intercambio y de las cargas electronegativas. No existió tampoco en este caso diferencia significativa del  $\Delta\text{pH}$  debida a la profundidad ( $F = 0,74$  con  $\text{Pr} > F = 0,56$ ) (cuadro 4).

El  $\text{pH}(\text{KCl})$  disminuyó en forma altamente significativa bajo pino, ocurriendo también un incremento altamente significativo del  $\Delta\text{pH}$ . Esto indicaría un incremento de la acidez intercambiable, un incremento del dominio de Al activo y que probablemente ocurra un aumento de la electro-negatividad de los coloides en los primeros cinco centímetros del suelo.

Como ya se planteara en la metodología, se determinó el  $\text{pH}(\text{NaF})$  (2' y 60') a modo de estimar el Al activo y el dominio de alófano, imogolita o haloisita. Las determinaciones se hicieron en los primeros cinco centímetros en bloque al no haberse encontrado interacción con la profundidad de las otras variables analizadas. Para esto se tuvo que realizar un segundo muestreo que se restringió a 10 parcelas, dado que una de ellas se había incendiado y en otras dos se habían realizado raleos afectando los primeros centímetros del suelo. Los estadísticos sencillos de los valores de  $\text{pH}(\text{NaF})$  se vuelcan en el cuadro 5.

Los valores de  $\text{pH}(\text{NaF})$  mayores a 9,2 a los 60' indicaron que el suelo se encuentra alofanizado, teniendo gran influencia sobre esto el régimen hídrico údico. Al no haber una estación seca contrastante no se produce una cristalización de los productos de la alteración de las cenizas y vidrios volcánicos, por lo que en el complejo de alteración dominan los compuestos amorfos alófanos acompañados en general por la imogolita (Colmet Daage *et al.* 1988).

CUADRO 5

Estadísticos sencillos del  $\text{pH}(\text{NaF})$  2' y 60' bajo pino ponderosa (PP) y bajo vegetación nativa (VN).  
Single statistics for  $\text{pH}(\text{NaF})$  2' and 60' values, in the first 5 cm, for all plots with natural vegetation (NV) and Ponderosa pine (PP)

	pH(NaF)			
	2'		60'	
	VN'	PP	VN	PP
Media	8,8	9,3	9,3	9,6
Mínimo	8,5	8,8	8,8	9,2
Máximo	9,0	9,8	9,5	10,0
Desviación estándar	0,1885	0,2493	0,2957	0,2188
Varianza	0,0355	0,0622	0,0875	0,0479
n <sup>(1)</sup>	10	10	10	10

n<sup>(1)</sup> cada uno de los valores correspondió al promedio de tres muestras

Los valores de  $\text{pH}(\text{NaF})$  (60') se graficaron en un histograma categorizado (figura 3). En el mismo se observa cómo los valores de  $\text{pH}(\text{NaF})$  bajo pino se desplazaron a valores superiores a 9,2, y a su vez que la moda se encontró en valores próximos a 9,6.

De la variación de los valores de  $\text{pH}(\text{NaF})$  a 2' y 60' se pudo inferir que bajo vegetación nativa habría un mayor dominio de imogolita que de alófano, dado que el  $\text{pH}(\text{NaF})$  fue menor a 9,2 a los dos minutos y mayor a 9,2 a los sesenta minutos. Esto fue diferente bajo pino, dado que ambos

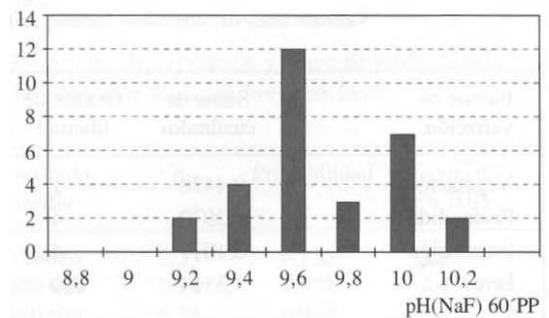
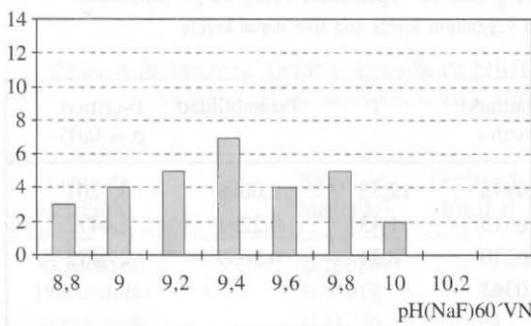


Figura 3. Histograma categorizado de los valores de  $\text{pH}(\text{NaF})$  (60') bajo vegetación nativa (VN) y bajo pino ponderosa (PP).

Categorized histogram for  $\text{pH}(\text{NaF})$  (60') values under natural vegetation (NV) and Ponderosa pine (PP)

valores fueron mayores a 9,2, indicando un mayor dominio de alófono que de imogolita (Irisarri 2000). En todos los casos el test de Fieldes y Perrot (1966) a campo dio positivo, de moderado a fuerte, en menos de 9', notándose una tendencia a que fuera más rápido y fuerte bajo pino, lo que indicaría un dominio de alófono mayor al 5% (Besoin 1985).

El pH(NaF), tanto a los dos minutos como a los sesenta minutos, aumentó de forma altamente significativa bajo pino con relación a la vegetación nativa (cuadros 6 y 7), lo que se correspondería a un incremento del Al activo (Shoji *et al.* 1993).

La CIC efectiva tuvo un valor promedio para pino de 10,5 cmol(+) kg<sup>-1</sup> y para vegetación nativa 20,8 cmol(+) kg<sup>-1</sup>. Considerando las bases totales, determinaría una saturación en bases para pino del 99 % y un 99,5% para vegetación nativa. La variación de los valores de la CIC efectiva se

debe principalmente a la variación en el contenido de bases totales, ya que los valores de acidez de intercambio (Al<sup>3+</sup> + H<sup>+</sup>) fueron muy bajos, con un promedio de 0,10 cmol(+) kg<sup>-1</sup> bajo pino y bajo vegetación natural. Estos resultados son acordes con los antecedentes presentados por Shoji *et al.* (1993), quienes plantean que la acidez de intercambio es típicamente baja en suelos derivados de cenizas volcánicas especialmente en regiones sin una estación seca contrastante. Tal como plantea Besoin (1985): "...si el valor de CIC es variable en cuanto a las circunstancias experimentales, lo es también en cuanto a la especie misma, lo cual implica una doble contradicción y que la expresión cuantitativa tenga un valor restringido". El autor cita a Harada y Wada (1973), quienes señalan que la suma del H<sup>+</sup> de cambio, el Al<sup>3+</sup> y las bases no pueden igualarse a la CIC de los suelos

## CUADRO 6

Análisis de varianza del pH(NaF) 2' en los primeros 5 cm del suelo mineral, bajo pino ponderosa y bajo vegetación natural.

Variance analysis of pH(NaF) 2' in the first 5 cm under Ponderosa pine and natural vegetation.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F-crítico $\alpha = 0,01$
Entre grupos	1,3141	1	1,3141	26,91 **	0,0001	8,29
Dentro de los grupos	0,8791	18	0,0488			
Total	2,1932	19				

\*\* : altamente significativo.

## CUADRO 7

Análisis de varianza variable dependiente pH(NaF) a los 60' en los primeros 5 cm del suelo mineral, bajo pino ponderosa y bajo vegetación natural.

Variance analysis of pH(NaF) 60' in the first 5 cm under Ponderosa pine and natural vegetation.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F-crítico $\alpha = 0,01$
Entre grupos	0,6113	1	0,6113	9,03 **	0,0076	8,29
Dentro de los grupos	1,2180	18	0,0677			
Total	1,8293	19				

\*\* : altamente significativo.

alofánicos dado que desarrollan cargas positivas o negativas de acuerdo al pH. De lo antedicho se desprende que los valores de CIC y saturación en bases obtenidos reflejan una situación metodológica más que el comportamiento del suelo, por lo que la interpretación de los resultados fue limitada y no permitió inferir el comportamiento en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico de estos suelos, siendo fundamental continuar con estudios en esta temática.

Para analizar las bases intercambiables se utilizaron los valores de los cinco centímetros en bloque, al no haber encontrado interacción con las propiedades que pueden incidir en el tenor de bases y la profundidad. Los resultados que se vuelcan en el cuadro 8 corresponden a los estadísticos sencillos de los valores medios de las determinaciones en tres muestras de los primeros 5 cm por parcela.

El valor promedio del total bases de cambio en superficie bajo pino fue de 10,4 cmol(+) kg<sup>-1</sup>, para vegetación nativa el valor promedio fue 20,7 cmol(+) kg<sup>-1</sup>. La diferencia encontrada fue altamente significativa, es decir, que hubo una disminución de las bases totales bajo pino (F = 16,3, con Pr > F = 0,0008).

Los valores de las bases fueron de medios a bajos acorde a los antecedentes y al régimen hídrico de los suelos (Colmet Daage 1988). En particular, fue el contenido de Ca el que tuvo mayor peso y el que presentó individualmente diferencia altamente significativa. En el diagrama de barras (figura 4) se visualiza la diferencia en el contenido

CUADRO 8

Estadísticos sencillos del total de bases de cambio (cmol (+) kg<sup>-1</sup>) (Δ bases) con pino ponderosa (PP) y con vegetación nativa (VN) en los primeros 5 cm.

Single statistics for total cation exchange values (cmol (+) kg<sup>-1</sup>) (Δ bases), with natural vegetation (NV) and Ponderosa pine (PP) in the first 5 cm.

	Δ bases	
	VN	PP
Media	20,7	10,4
Mínimo	10,3	7,1
Máximo	32,5	16,4
Desviación estándar	7,48	3,02
Varianza	56,5	9,15
n <sup>(1)</sup>	10	10

n<sup>(1)</sup>: cada uno de los valores correspondió al promedio de tres muestras.

de bases bajo ambos tipos de vegetación, siendo notable que el Ca fue dominante (83,1% VN; 79,5% PP), y a su vez fue el que más varió entre ambos tipos de vegetación.

La disminución altamente significativa de las bases de cambio en los primeros cinco centímetros del suelo explica en parte el hecho de que aumentara la actividad del Al, indicando un posible reemplazo de las bases de cambio por Al y/o H.

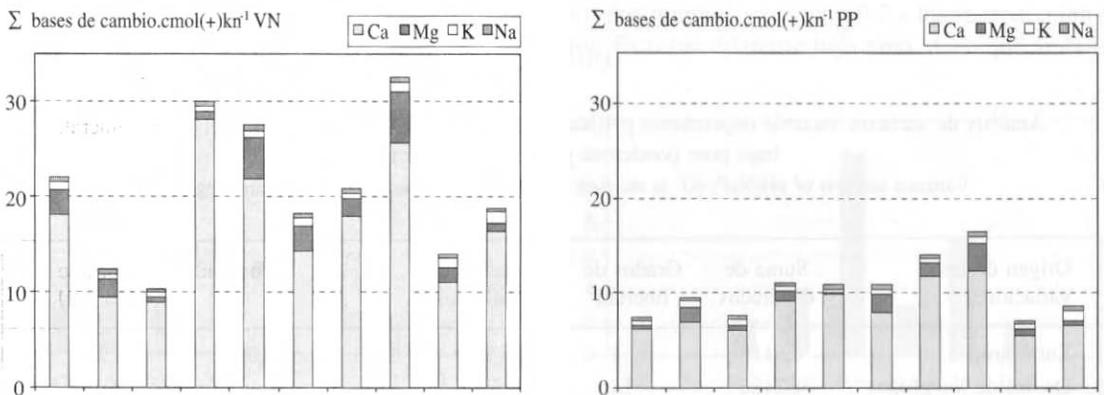


Figura 4. Contenido de bases (cmol(+) kg<sup>-1</sup>) en los primeros 5 cm de suelo mineral en las unidades de muestreo con vegetación natural (VN) y bajo pino ponderosa (PP).

Cation contents (cmol(+) kg<sup>-1</sup>) in the first 5 cm in each plot under natural vegetation and Ponderosa pine.

Por debajo del horizonte-O, en los primeros 5 cm del suelo mineral, fue donde comenzaron a manifestarse los cambios generados por el cambio de vegetación, en particular sobre las propiedades fisicoquímicas. Las variables analizadas no mostraron interacción con la profundidad, no existiendo evidencias de la incidencia de algún factor que determine una variación espacial en sentido vertical dentro de los primeros 5 cm del suelo.

Todos los suelos fueron moderadamente ácidos y el cambio de vegetación no generó una variación significativa del pH(H<sub>2</sub>O). Es decir, que bajo la vegetación de pino no se observó un cambio de pH(H<sub>2</sub>O), ni una tendencia que indique que el sistema se esté acidificando a nivel de los primeros cinco centímetros.

Es importante considerar que la evolución de los suelos derivados de cenizas volcánicas puede ser hacia alofánicos o no-alofánicos, lo que está en gran parte regido por el pH(H<sub>2</sub>O). El valor del pH(H<sub>2</sub>O) = 4,9 es el valor crítico para la formación del alofano. Cuando el pH(H<sub>2</sub>O) es mayor a 4,9 el Al se encuentra en forma soluble y como Al<sup>+3</sup>, con carga alta, siendo no-alofánico. A pH(H<sub>2</sub>O) > 4,9 el Al tiende a formar las especies Al(OH)<sub>3-x</sub> y a precipitar con el silicio y polimerizarse, determinando la alofanización (Shoji *et al.* 1982, Shoji y Fujiwara 1984, Mizota y van Reeuwijk 1989, Shoji *et al.* 1993). El pH(H<sub>2</sub>O) tiene, por lo tanto, un gran significado en la formación de estos suelos. Sobre la base del rango de pH(H<sub>2</sub>O) de los suelos estudiados, los valores se encontraron por encima del valor citado como crítico, por lo cual su evolución sería hacia Andisoles alofánicos. Por otra parte, estos suelos han tenido periódicos y sucesivos aportes de cenizas frescas, determinando su rejuvenecimiento permanente con aportes sucesivos de cenizas volcánicas básicas desde la superficie (Apcarián e Irisarri 1993, Colmet Daage *et al.* 1988, Laya 1977). Los vidrios volcánicos de color pardo detectados en el área de estudio, con un índice de refracción entre 1,52 y 1,53, son de naturaleza básicos (Apcarián e Irisarri 1993). Esto incide sobre el pH(H<sub>2</sub>O) y la consiguiente formación de alofanos de los suelos en el área de estudio. Según Shoji y Fujiwara (1984) el vidrio incide en la tendencia a la alofanización del material parental, cuando el índice de refracción es mayor 1,52, coloreado y con mayores contenidos de Ca y Mg, el pH(H<sub>2</sub>O) es mayor, evolucionando bajo régimen údico a Andisoles alofánicos generando un retardo en la formación de complejos Al/Fe.

La explicación de las variaciones del pH(KCl) determinadas es compleja y requiere de estudios posteriores. Existen probables relaciones causales con las posibles variaciones de la materia orgánica. El valor medio de pH(KCl) para vegetación natural fue de 5,1 y bajo pino de 4,9. Cuando el pH(KCl) es < 5, en general es el Al el responsable de la acidez de intercambio. Es decir, que esta disminución podría estar indicando que el Al pasa a ocupar un lugar en el complejo de intercambio que no ocupaba bajo vegetación natural, lo que concuerda con la disminución de las bases.

El hecho de que disminuyera de forma altamente significativa la acidez de cambio y no la acidez de la solución del suelo confirma el alto poder tampón de estos suelos dentro de los rangos buffer del Al o intercambio catiónico. Esto estaría de acuerdo con la teoría que plantean Robarge y Johnson (1992), que en los suelos que se encuentran en el rango de tamponación por Al la acidificación es muy lenta. El incremento de la acidez intercambiable asociado al cambio de vegetación podría ser generado por la agresividad de los ácidos orgánicos que determinarían la pérdida de bases del complejo de intercambio y un aumento de la actividad del aluminio en suelos derivados de cenizas volcánicas. Al ser suelos alofánicos existiría un bloqueo de los grupos carboxílicos por el aluminio que no permite un descenso del pH(H<sub>2</sub>O), pero sí del pH(KCl), y por lo tanto un incremento del ΔpH [pH(H<sub>2</sub>O)-pH(KCl)], debido al tipo de materia orgánica y cenizas volcánicas incorporadas y la dinámica de ambas. El poder tampón y la carga variable de estos suelos estarían contribuyendo a contrarrestar las variaciones del pH de la solución del suelo. El poder tampón de los suelos derivados de cenizas volcánicas depende del alofano (Fassbender y Bornemisza 1987) y de la imogolita, ésta con menores valores de CIC (Besoain 1985). El incremento del valor del pH(NaF) indicaría un aumento en el tenor de alofano, lo que también estaría incidiendo sobre el poder amortiguador del suelo.

## CONCLUSIONES

La acidez de intercambio aumentó en los 5 primeros centímetros bajo pino, donde ocurrió una disminución de las bases de cambio totales y un incremento de la actividad del Al, el que ocuparía los sitios de las bases de cambio.

La acidez de la solución del suelo no cambió bajo pino en los primeros 5 cm, manteniéndose por encima del valor de pH citado como crítico para la evolución a Andisoles alofánicos.

El hecho de que no varíe la acidez de la solución del suelo e incrementa la acidez de cambio fue consecuencia del alto poder tampón del suelo. Aun así disminuyeron las bases de cambio y aumentó la proporción del Al. El pH(NaF) bajo pino fue más alto en los primeros 5 cm, indicando un mayor dominio de Al activo y alófono.

El pino ponderosa no generó una acidificación de la solución del suelo, lo que se contrapone a uno de los grandes preconceptos respecto al efecto de las coníferas como especies "degradantes" o "acidificantes". En general, el pino ponderosa en suelos alofánicos no se comportó como una especie acidificante del suelo, pero en sentido estricto influye en el equilibrio de intercambio. La respuesta depende no sólo de la especie forestal considerada, sino también de otras características del sistema que se considere, en particular del suelo y el clima. A este respecto es determinante el alto poder tampón de estos suelos, tanto químico como físico, marcado por su material de origen -con dominio de cenizas básicas, los sucesivos aportes en el tiempo de materiales piroclásticos- y su evolución bajo régimen hídrico údico.

## 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*. 419-421
- APCARIAN, A., J. IRISARRI. 1993. Caracterización mineralógica de suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas en las provincias de Neuquén y Río Negro (R.A.) *Actas XX Jornadas de Vulcanología, Medio Ambiente y Defensa Civil*. Zapala Neuquén. 16 p.
- AUER V. 1949. Las capas volcánicas como base de la cronología postglacial de Fuegopatagonia. *Revista de Investigaciones Agrícolas*. Tomo II (2) 49: 208.
- BARROS, V., V. CORDON, C. L. MOYANO, R. J. MENDEZ, J. C. FORQUERA, O. PIZZIO. 1983. Cartas de precipitaciones del oeste de las provincias de Río Negro y Neuquén Primera contribución. Facultad Ciencias Agrarias UNC CENPAT CONICET. 100 p.
- BESOAIN, E. 1985. Aluminosilicatos no cristalinos y paracristalinos del suelo 533-543 En: *Mineralogía de Arcillas de Suelos* IICA Costa Rica. 1203 p.
- BINKLEY, D. 1994. The influence of tree species on forest soils: processes and patterns In: *Trees and Soil Workshop Proceedings*. New Zealand. 1-23.
- BROQUEN, P., J. L. GIRARDIN, M. C. FRUGONI. 1995. "Evaluación de algunas propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas asociados a foiestaciones con coníferas exóticas R.A.". *Bosque* 16 (2): 69-79.
- BROQUEN, P., G. FALBO, M. C. FRUGONI, J. L. GIRARDIN, M. GUIDO, P. MARTINESE. 2000. "Estructura y porosidad en Andisoles con vegetación natural y con plantaciones de *Pinus ponderosa* Dougl. en el sudoeste de Neuquen, Argentina", *Bosque* 21 (1): 25-36.
- COCHRAN, W. 1977. *Técnicas de muestreo*. CECSA México. 507 p.
- COLMET DAAGE, F., J. IRISARRI, M. L. LANCIOTTI. 1991. Suelos con aluminio activo y montmorillonita, clonita, illita y vermiculita, interestratificados regulares e irregulares. Grupo de Estudios de los Suelos con Aluminio Activo. Convenio Franco Argentino. INTA, U.N. Comahue, U. Patagonia. INIA-ORSTOM, 1ª edición. 173 p.
- 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. 39 p.
- DAHLGREN R, A., F. C. UGOLINI, S. SHOJI, T. ITO, R. S. SLETTEN. 1991. "Soil forming process in Alic Melanudands under Japanese pampas grass and oak", *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1049-1056.
- DANIEL, P., U. HELMS, F. BAKER. 1982. *Principios de silvicultura*. Mc Graw Hill. México. 492 p.
- DUCHAFOUR, P. 1977. *Atlas ecológico de los suelos del mundo*. Toray Mason, Barcelona. 178 p.
- FASSBENDER, H. W., E. BORNEMISZA. 1987. *Química de suelos con énfasis en suelos de América latina*. 2ª ed I.I.C.A Costa Rica. 420 p.
- FERRER, J., M. MENDIA, J. IRISARRI. 1990. Estudio Regional de los suelos de la provincia del Neuquén. Volumen 1, tomos 2 y 3. CFI-COPAIDE- PROV. NQN. Buenos Aires, pp 147.
- FIELDES, F. J., K. W. PERROT. 1966. "Rapid field and laboratory test for allophanes", *New Z. J. Sci.* Vol. 9: 623- 629.
- 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.
- HUANG, P. M. 1991. "Ionic factors affecting the formation of short-range ordered aluminosilicates", *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55 (4): 1172-1180.
- INOUE, K., P. M. HUANG. 1990. "Perturbation of imogolite formation by humic substances", *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54 (5): 1490-1497.
- IRISARRI, J. A. 2000. La propuesta de reclasificación de los Andepts de Argentina, de acuerdo al Orden Andisoles Taller Soil Taxonomy INTA AICET AACs, pp. 18-27.
- KIMBLE, J. M., W. D. NETTLETON. 1987. *Proceedings of the First International Soil Correlation Meeting (ISCOM) Characterization, Classification and utilization of Andisols*. USDA-USAID. 57-63.
- LANCIOTTI, M. L. 1993. Interacciones del aluminio activo y la mineralogía de las arcillas en suelos forestales de Santa Cruz y Tierra del Fuego. Tesis de Maestría Area Ciencias del suelo. Escuela para graduados. Facultad de Agronomía UBA INTA. Inédito.
- LAYA, H. 1977. "Edafogénesis y paleosuelos de la formación téfrica Río Pireco Suroeste de la provincia del Neuquén Argentina", *Asociación Geológica Argentina Revista XXXII* (1): 3-23.
- MAEDA, T., A. TAKENAKA, B. P. WARKETIN. 1977. "Physical properties of allophane soils", *Adv. Agron.* (29): 229-264.

- MAZZARINO, M. J., L. OLIVA, G. NUÑEZ, E. BUFFA. 1991. "Nitrogen mineralization and soil fertility in the Dry Chaco Ecosystem (Argentina)", *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 515-522.
- MIZOTA, C, L. 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.
- MONTGOMERY, D. C. 1991. *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo Ed. Iberoamérica. 538 p.
- MOVIA, C., G. OWER, C. PEREZ. 1982. Estudio de la vegetación Natural Provincia del Neuquén Ministerio de Economía y Hacienda Subsecretaría de Recursos Naturales, 149 p.
- NYKVIST, N., U. SKYLLBERG. 1989. "Spatial variation of pH in the mor layer of coniferous stands", *Scandinavian J. For. Res.* 4: 3-11.
- ROBARGE, W.P., D. W. JOHNSON. 1992. "The effects of acidic deposition on forested soils". *Adv. In Agron.* 47: 1-83.
- SADZAWKA, A. 1990. Métodos de Análisis de Suelos. Serie Platina N° 16. INIA. Chile. 139 p.
- SAIGUSA, M., S. SHOJI, M. OTOWA. 1991. "Clay mineralogy of Andisols showing a hydrosequence and its relationships to their physical and chemical properties", *Pedologist.* 35 (1) 21 -33.
- SAS 1997. Institute Inc. Cary NC 275128000. U.S.A.
- SATO, K., K. TOKUNAGA. 1989. Studies on the macropores structure of grassland's soil. Proceedings of the XVI International Grassland Congress. France. Pp. 23-24.
- SHOJI, S., M. NANZYO, R. DAHLGREN. 1993. Volcanic ash soils. Genesis. Properties and utilization. In: Soil Sc. 21. Elsevier. Amsterdam. 288 p.
- SHOJI, S., Y. FUJIWARA. 1984. "Active aluminum and iron in the humus horizons of Andisols from Northeastern Japan: their forms, properties and significance in clay weathering". *Soil Sci.* 137 (4): 216-226.
- SHOJI, S., Y. FUJIWARA, I. YAMADA, M. SAIGUSA. 1982. "Chemistry and clay mineralogy of ando soils, brown forest soils, and podzolic soils formed from recent towada ashes, Northeastern Japan", *Soil Sci.* (133) 2: 69-86.
- SHOJI, S., T. TAKAHASHI, M. SAIGUSA, I. YAMADA, F. C. UGOLINI. 1988. "Properties of Spodosol and Andisols showing climosequential relations in Southern Hakkoda, Northeastern Japan", *Soil Sci.* (145) 2: 135-149.
- SOIL SURVEY STAFF. 1992. *Keys to Soil Taxonomy*. Technical Monograph N° 19 5<sup>th</sup> Ed. AID-USDA, Pocahontas Press Inc. Blacksburg, Virginia. 591 p.
- SOIL SURVEY STAFF. 1993. Soil Survey Manual Handbook N° 18. 5<sup>th</sup> Ed. USDA. 436 p.
- TAMURA, K, S. NAGATASUKA, Y. OBA. 1990. Effect of ecosystem development on soil micromorphology. Ecological studies of Andosols in central Japan. In: Transactions 14th International Congress of Soil Science Vol. VII: 250-255.
- TAN, K. H. 1993. *Principles of Soil Chemistry*. Marcell Decker Inc. USA. 361 p.
- VAN REEUWIJK, L. P. 1986. Procedures for soil analysis Technical paper 9. International soil Reference and Information Centre (ISRIC) Wageningen The Netherlands. 185 p.
- WADA, K. 1977. Allophane and Imogolite. In: Minerals in Soil Environment. Pp. 603-633. Soil Sci. Soc. of Amer. Inc.
- WADA, K. 1985. *Distinctive properties of Andisols. Advances in Soil Sc.* Springer Verlag. New York Inc., pp. 175-229.