

Caracterización geoquímica de suelos forestales de *Nothofagus pumilio* (lenga) en un gradiente altitudinal en Tierra del Fuego, Argentina

J.C. NÓVOA¹, X. PONTEVEDRA², A. MORETTO³, A. MARTÍNEZ-CORTIZAS² & E. GARCÍA-RODEJA²

¹ Área de Edafología e Química Agrícola, Facultad de Ciencias de Ourense, Universidade de Vigo. As Lagoas s/n. 32004 Ourense, España.

² Dpto. de Edafología e Química Agrícola, Facultad de Biología, Universidade de Santiago de Compostela. Rúa Lope Gómez de Marzoa s/n. 15782 Santiago de Compostela, España.

³ Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC-CONICET). Av. Malvinas Argentinas s/n. V9410BFD Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.

Resumen

Los bosques de lenga constituyen el ecosistema terrestre dominante en Tierra del Fuego, donde se distribuyen desde el nivel del mar hasta los 700 m de altitud. En este gradiente altitudinal, la lenga (*Nothofagus pumilio*, Poepp. et Endl., Krasser) presenta modificaciones morfológicas derivadas de las condiciones climáticas y geomorfológicas. No obstante, las características de los suelos también desempeñan un papel relevante en el desarrollo de estos bosques, especialmente en el aporte y reciclado de nutrientes.

En este trabajo se presentan los resultados preliminares sobre la caracterización geoquímica de suelos de lenga de cuatro parcelas situadas sobre la ladera sur del Cerro Castor (próximo a la ciudad de Ushuaia) a cotas de 220, 340, 480 y 590 m. s.n.m.

Los resultados revelan que se trata de suelos ácidos (pH H₂O, 3.2-5.2), con abundante C en los horizontes orgánicos (27-42 %) y moderado contenido en los minerales (3-4 %) que disminuyen con la altitud. La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) varía desde más de 25 cmol_c.kg⁻¹ en los horizontes orgánicos hasta menos de 11 cmol_c.kg⁻¹ en los horizontes minerales. Mientras que el Ca intercambiable tiende a disminuir con el incremento de la altitud, Na y K muestran un comportamiento opuesto. La distribución de Fe y Al en la fase sólida revela que los complejos Al, Fe- materia orgánica (extraídos con pirofosfato Na) constituyen la fracción dominante en estos suelos.

Abstract

Lenga forests form the dominant terrestrial ecosystem in Tierra del Fuego, spreading from sea level to 700 m a.s.l. In this altitudinal gradient, lenga trees (*Nothofagus pumilio*, Poepp. et Endl., Krasser) show morphological modifications due to climatic and geomorphological conditions. However, soil characteristics also play a key role in the development of these forests, especially in the supply and recycling of nutrients.

Preliminary results on the geochemical characterization of lenga soils from four stands located at 220, 340, 480 and 590 m a.s.l. in the southface slope of Cerro Castor (close to Ushuaia city) are shown.

The results revealed that the soils are acid (pH H₂O, 3.2-5.2), with high (27-42 %) to moderate (3-4 %) C content in organic and mineral horizons and it decreases with altitude. Effective cation exchange capacity (eCEC) ranges from higher than 25 cmol_c.kg⁻¹ in the organic horizons to lesser than 11 cmol_c.kg⁻¹ in the mineral horizons. Exchangeable Ca tends to diminish with the altitude whereas Na and K showed an opposite trend. Iron and Al distribution in soil solid phase revealed that Al, Fe- humus complexes (extracted with Na-pyrophosphate) are the dominant fraction in these soils.

Introducción

La lenga, *Nothofagus pumilio*, Poepp. et Endl., Krasser, da lugar a masas boscosas caducifolias que ocupan el 35% de la superficie argentina de la Isla Grande de Tierra del Fuego. Estos árboles, que dan lugar a uno de los ecosistemas terrestres más representativos del extremo meridional de Sudamérica, se distribuyen en un gradiente altitudinal que va desde el nivel del mar hasta los 700 m (Cuevas, 2000). El escaso grado de intervención humana sobre estos bosques, los convierte en un interesante ejemplo de equilibrio entre la vegetación forestal, las condiciones ambientales y los suelos.

A lo largo del gradiente altitudinal en el que se desarrolla, la lenga sufre una serie de modificaciones morfológicas y fisiológicas que suelen asociarse fundamentalmente a las condiciones climáticas (Barrera *et al.*, 2000). En ocasiones también se ha aludido al papel que puede desempeñar el suelo en la inducción de estas modificaciones, sobre todo en relación con la interacción suelo-planta asociada a la dinámica de los nutrientes (Decker y Boerner, 2003; Frangi *et al.*, 2005; Romanyà *et al.*, 2005).

A pesar del papel relevante que pueden llegar a tener los suelos en el desarrollo de estos bosques, son relativamente escasos los estudios que se han dedicado a la caracterización de sus componentes y, los existentes, suelen proporcionar nociones muy generales sobre su génesis y propiedades (Frederiksen, 1988; Godagnone e Irisarri, 1990; Colmet Daage *et al.*, 1991; Gerding y Thiers, 2002). A grandes rasgos los suelos forestales de Tierra del Fuego se caracterizan según la bibliografía por ser poco profundos, muy ricos en materia orgánica en los horizontes orgánicos, de reacción ácida, con una capacidad de intercambio catiónico moderada y una saturación en bases escasa. Desde el punto de vista de la clasificación, se suele citar

con frecuencia a la presencia de podzols en zonas bien drenadas e histosols en áreas encharcadas o con drenaje muy limitado. Entre estos extremos podemos encontrar otros tipos de suelos como leptosols, cambisols, umbrisols y regosols.

Este estudio preliminar se ha planteado con un doble objetivo. contribuir a ampliar los conocimientos existentes sobre los suelos forestales de lenga a través de la caracterización general los horizontes más superficiales de suelos que constituyen un gradiente altitudinal y evaluar las diferencias que existen con la altitud en los contenidos de los elementos más relevantes en la nutrición de la lenga.

Material y métodos

Este trabajo se desarrolla en el entorno del Cerro Castor, montaña que se ubica a unos 25 km al este de la ciudad de Ushuaia (54° 49' S, 68° 42' W), en pleno bosque andino-patagónico dominado exclusivamente por lenga. Se trata de un área que presenta un clima templado-frío dentro de la variedad húmedo andino, caracterizado por una temperatura media anual que oscila entre 4 y 6 °C y una precipitación media anual ligeramente superior a los 600 mm que se reparte de modo uniforme a los largo del año.

En cada una de las cuatro parcelas ubicadas en la ladera sur del Cerro Castor a 220, 340, 480 y 590 m s.n.m., se han tomado entre 4 y 6 muestras del horizonte orgánico (0-10 cm) y del horizonte mineral (10-20 cm). La escasa profundidad a la que se limita la toma de muestra se debe a que el grueso del desarrollo del sistema radicular de las lengas se ubica en ese estrecho espesor de suelo y, por lo tanto, es la zona del *solum* donde estos árboles obtienen buena parte de sus nutrientes. El material de partida de los suelos que cubren las laderas de los Andes Fueguinos es un till de origen glaciario, dominado fundamentalmente de lutitas que contienen principalmente clorita e illita (Frederiksen, 1988). Los suelos han sido descritos como Cryumbrepts (Umbrepts, Inceptisols) y Cryohumods (Humods, Spodosols) según estudios elaborados por Godagone e Irisarri (1990), aunque Colmet Daage *et al.* (1991) los han catalogado como suelos espódicos arcillosos.

Previamente a su caracterización, las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas por una malla de 2 mm. Posteriormente se determinó el pH en agua (pH_w, relación suelo:disolución 1:2,5), el contenido total de C orgánico y N total así como los niveles de P biodisponible (Bray y Kurtz, 1945). La capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE) se ha estimado como la suma de los cationes básicos (SB; Na, K, Ca y Mg) extraídos con NH₄Cl 1M (relación suelo:disolución 5:100) y los cationes ácidos (SCA; Al, Fe y Mn) extraídos con KCl 1M (relación suelo:disolución 10:100).

La distribución de Al en los suelos fue estudiada aplicando de modo secuencial KCl 1M (Al intercambiable, Al_{ex}), LaCl₃ 0,33 M (Al en complejos Al-humus de baja estabilidad, Al_{bc}) y CuCl₂ 0,5 M (Al en complejos Al-humus de moderada estabilidad, Al_{mc}). Los complejos Al-humus de elevada estabilidad (Al_{ec}) se han estimado mediante la diferencia de Al extraído en CuCl₂ y Al extraído con pirofosfato Na 0,1 M a pH 10 (Al_p). La distribución de Al fue complementada con la extracción con oxalato amónico 0,2M a pH 3 (Al_o), ditionito-citrato Na (Al_d) y NaOH 0,5 M (Al_n). Pirofosfato Na, oxalato amónico y ditionito-citrato también se

han empleado para fraccionar el Fe en estos suelos (Fe_p , Fe_o y Fe_d). Los procedimientos de extracción se encuentran descritos detalladamente en García-Rodeja *et al.* (2004).

Resultados

Los suelos estudiados presentan un fuerte carácter ácido con un pH en agua siempre inferior a 5,2 y que puede descender hasta 3,0 (tabla 1). Los valores de pH son algo mayores en las muestras subsuperficiales (10-20 cm) que en las superficiales (0-10 cm), aunque en ambos casos tienden a disminuir conforme incrementa la altitud. Este comportamiento coincide con los resultados de otro estudio realizado recientemente en un gradiente altitudinal de suelos forestales de lenga en Chile (Decker y Boerner, 2003). El contenido total de C orgánico es muy elevado en los niveles superficiales (>18 %) de acuerdo a su naturaleza mayoritariamente orgánica (horizontes O), mostrando un importante incremento conforme se gana en altitud. La acusada reducción en la tasa de descomposición en estos bosques con el incremento de la cota (Moretto *et al.* 2004), explica esta tendencia en los niveles superficiales que también fue mostrada en estudios similares (Decker y Boerner, 2003; Romanyà *et al.*, 2005). El N muestra un comportamiento semejante al C en las capas superficiales (0-10 cm), aunque su incremento con la altitud no es tan acusado. En los niveles subsuperficiales el contenido de C y N es menor que en superficie (Tabla 1) y varía menos con la altitud, lo que en estudios llevados a cabo en latitudes boreales sugiere la importancia de los horizontes orgánicos como zona de reciclado de nutrientes (Van Cleve *et al.*, 1993).

Los contenidos en P biodisponible en los niveles superficiales son entre 4 y 13 veces superiores a los presentes en los subsuperficiales (Tabla 1), mostrando un acusado aumento conforme se incrementa la cota. Los niveles de P en los horizontes orgánicos son mayores que los mostrados por Gerding y Thiers (2002) para esos mismos horizontes en suelos de *N. pumilio* y *N. betuloides* en las parte chilena de Tierra del Fuego. La acumulación de materia orgánica con la altitud podría justificar la tendencia mostrada por el P. Recientemente, Romanyà *et al.* (2005) constataron una estrecha correlación ($R^2=0,93$) entre el contenido en C y el P soluble en agua en los horizontes orgánicos de suelos forestales de *N. pumilio* en Tierra del Fuego.

En relación con el complejo de intercambio catiónico, la suma de bases es muy elevada en los horizontes orgánicos (>23 $cmol_c.kg^{-1}$) tal y como cabría esperar por la cantidad de lugares de intercambio que ofrece la materia orgánica acumulada. Por el contrario, en los niveles minerales (10-20 cm) es más bien baja (<9 $cmol_c.kg^{-1}$). La tendencia de la suma de bases refleja una clara disminución (en las dos profundidades analizadas) con la altitud, lo que podría relacionarse con la menor producción de biomasa en las cotas más elevadas. Por otro lado, la mayor eficiencia en el uso de nutrientes por los individuos que conforman el *krummholz* como sugieren los resultados de Frangi *et al.* (2005), limita la pérdida de nutrientes hacia los horizontes orgánicos. En los horizontes orgánicos el comportamiento de la CICE es idéntico al de la suma de bases, mientras que en los horizontes minerales la CICE disminuye con el aumento de la cota (tabla 1).

Tabla 1. Valores medios de algunas características generales de los suelos estudiados.

Altitud	Prof. (cm)	pH _w	C (%)	N (mg kg ⁻¹)	P (cmol _c .kg ⁻¹)	SB (%)	CICe	SAI
220	0-10	4,0	18	0,5	89	35	36	3
	10-20	5,2	4,2	0,2	7	9	11	18
340	0-10	3,4	37	1,2	95	33	35	6
	10-20	4,4	3,6	0,1	24	5	9	44
480	0-10	3,3	41	1,4	135	33	36	8
	10-20	3,8	3,2	0,1	25	3	7	57
590	0-10	3,2	42	0,7	148	23	26	12
	10-20	3,3	4,0	0,1	18	1	7	86

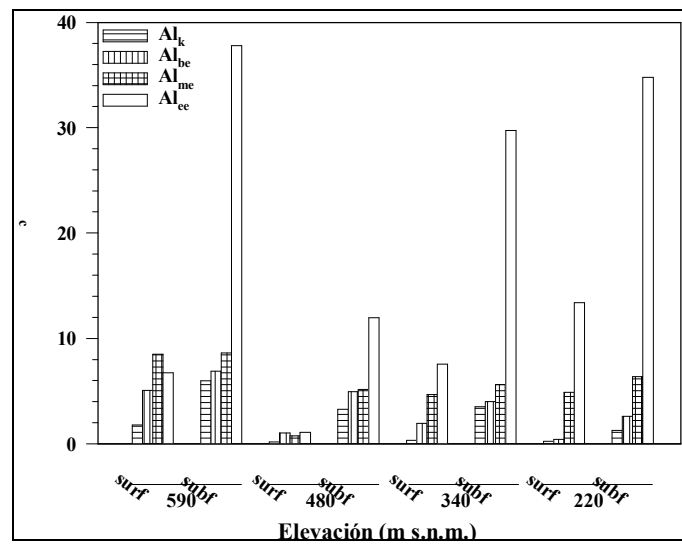


Figura 1. Distribución de Al intercambiable (Al_k) y de los complejos Al-humus (Al_{be}, Al_{me} y Al_{ee}) en suelos de lenga situados en un gradiente altitudinal.

Las cantidades de Na y K intercambiables de los niveles orgánicos tienden a aumentar con la altitud mientras que muestran una tendencia a disminuir en los horizontes subsuperficiales (tabla 2). El Ca es el catión más abundante en las capas superficiales y muestra un patrón muy acusado de disminución con la altitud, con valores que pasan desde 30 cmol_c.kg⁻¹ de suelo a una cota de 220 m hasta los 13 cmol_c.kg⁻¹ de suelo en la cota más elevada (590 m). Aunque con contenidos menores, el Ca de los horizontes subsuperficiales (10-20 cm) muestra una pauta

semejante con la altitud (tabla 2). El patrón de Ca con la altitud es acorde con el recientemente publicado para horizontes O y A de bosques de *N. pumilio* en Tierra del Fuego (Romanyà *et al.*, 2005). Sin embargo, la tendencia observada para K y Na en los niveles superficiales contrasta con la mostrada en el estudio antes mencionado, aunque coincide con éste cuando se trata de los horizontes minerales. El predominio del Ca entre los cationes intercambiables también fue puesto de manifiesto por Gerding y Thiers (2002). Los niveles de Mg intercambiable en los horizontes orgánicos no muestran cambios con la cota (3,3-3,5 cmol_c.kg⁻¹ de suelo), mientras que en los subsuperficiales disminuyen progresivamente con la altitud (tabla 2). El Al intercambiable (Al_k) es inapreciable en los horizontes orgánicos (< 0,2 cmol_c.kg⁻¹ de suelo) a excepción de la cota más elevada (tabla 2; figura 1). En los horizontes minerales, el Al tiende a ser el catión dominante y manifiesta un claro incremento con la altitud hasta llegar a valores medios de 6.0 cmol_c.kg⁻¹ de suelo. La dominancia del Al intercambiable en los horizontes minerales también ha sido puesta de manifiesto en otros estudios de suelos forestales de especies del género *Nothofagus*, en el que se han mostrado valores de saturación del complejo de intercambio catiónico que han alcanzado el 90 % (Gerding y Thiers, 2002). Los valores de Fe intercambiable son poco relevantes en las dos profundidades estudiadas, lo que contrasta con el Mn que presenta valores de hasta 2,6 cmol_c.kg⁻¹ en los horizontes orgánicos de suelos ubicados en cotas intermedias (tabla 2).

Tabla 2. Valores medios de los cationes básicos y ácidos intercambiables de los suelos estudiados. Valores en cmol_c.kg⁻¹ de suelo.

Altitud	Prof. (cm)	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn
220	0-10	0,3	1,0	30,0	3,4	0,2	0,01	0,7
	10-20	0,2	0,3	6,5	2,2	1,3	0,00	0,8
340	0-10	0,5	1,7	27,8	3,3	0,2	0,05	1,4
	10-20	0,2	0,2	2,7	2,0	3,5	0,08	0,8
480	0-10	0,6	3,4	25,7	3,5	0,2	0,01	2,6
	10-20	0,1	0,1	1,7	0,9	3,3	0,27	0,4
590	0-10	1,2	5,1	13,1	3,4	1,8	0,11	1,0
	10-20	0,1	0,1	0,4	0,2	6,0	0,21	0,0

La distribución de Al refleja un predominio muy acusado de los complejos Al-humus (Al_p/Al_o>0,5) en la mayoría de los horizontes orgánicos y de los minerales. La relación Al_p/Al_o en ambos tipos de horizontes mostraron una débil tendencia a disminuir con la altitud hasta los 480 m, lo que coherente con el menor grado de descomposición de la materia orgánica a medida que aumenta la altitud.

Los complejos Al-humus de elevada estabilidad (Al_{ce}) varían entre 1 y 38 cmol_c.kg⁻¹ de suelo y son los más abundantes en los horizontes minerales a cualquier cota (figura 1). En los horizontes orgánicos, estos complejos dominan la distribución del Al a cotas bajas (220 y 340 m), cediendo esta posición a favor de los complejos Al-

humus de estabilidad moderada (Al_{em}) a altitudes mayores. Los complejos de estabilidad moderada abundan más en los niveles minerales que en los orgánicos (tabla 2), mostrando una tendencia a disminuir entre 220 y 480 m y aumentando en la cota más alta (figura 1). En cuanto a los complejos menos estables (Al_{be}), en las dos profundidades se observa una tendencia a aumentar con la altitud que es más patente en los horizontes minerales que en los orgánicos (Figura 1). Los niveles medios de Al extraído con oxalato (Al_o) y con NaOH (Al_n) son muy similares para cada nivel de profundidad y cota a los observados para el Al_p (tabla 3), lo que confirma la enorme relevancia que adquieren los complejos Al-humus en estos suelos forestales.

La distribución de las formas de Fe revela los bajos contenidos de este elemento en los horizontes orgánicos, <1%, predominando los complejos Fe-humus (Fe_p) en las cotas inferiores (220 y 340 m). El contenido de Fe en estos niveles orgánicos tienden a disminuir conforme se incrementa la altitud lo que, una vez más, podría estar vinculado a los distintos niveles de humificación de la materia orgánica del suelo (tabla 3). En los horizontes minerales los complejos Fe-humus dominan el reservorio de formas no cristalinas, alcanzando el 1,6 % a 340 y 480 m. Los niveles de Fe cristalino (Fe_d - Fe_o) varían entorno al 0,3 % excepto en la cota de 480 m donde llega a ser de 0,7 % (tabla 3).

En cuanto al Mn, los valores más elevados se encuentran en los horizontes orgánicos y muestran una tendencia muy clara a disminuir conforme se incrementa la altitud, predominando siempre los complejos Mn-humus (0,03-0,23 %). Esto sugiere que se trata de un elemento fuertemente vinculado a los procesos de reciclado de nutrientes que tienen lugar en los horizontes más superficiales. En las muestras correspondientes al intervalo de 10-20 cm, son las formas inorgánicas no cristalinas de Mn (Mn_o - Mn_p) las más abundantes aunque nunca alcanzan el 0,1 % (tabla 3). Para todas las fracciones de Mn analizadas en los horizontes minerales, la tendencia con la altitud es idéntica a la mostrada para los niveles orgánicos.

Tabla 3. Valores medios de Al, Fe y Mn obtenidos tras las extracciones con pirofosfato Na (p), oxalato amónico (o), ditionito citrato (d) y NaOH (n). Valores expresados en %.

Altitud	Prof. (cm)	Al_p	Al_o	Al_n	Fe_p	Fe_o	Fe_d	Mn_p	Mn_o	Mn_d
220	0-10	0,16	0,19	0,14	0,76	0,88	0,94	0,23	0,27	0,31
	10-20	0,37	0,38	0,36	1,14	1,27	1,44	0,09	0,17	0,15
340	0-10	0,11	0,15	0,10	0,43	0,40	0,63	0,13	0,12	0,13
	10-20	0,32	0,34	0,28	1,64	1,50	1,95	0,07	0,15	0,11
480	0-10	0,02	0,05	0,02	0,02	0,08	0,03	0,14	0,11	0,07
	10-20	0,14	0,27	0,22	1,72	1,60	2,32	0,03	0,07	0,34
590	0-10	0,16	0,21	0,13	0,06	0,17	0,11	0,03	0,02	0,02
	10-20	0,42	0,41	0,37	1,12	1,08	1,32	0,00	0,00	0,02

Conclusiones

Los resultados obtenidos revelan la existencia de importantes diferencias en las propiedades químicas de los suelos tanto en relación con el gradiente altitudinal como asociadas a los distintos horizontes. Así, llama la atención los contrastes en parámetros fuertemente vinculados al aporte de nutrientes como la materia orgánica y los cationes básicos intercambiables. Además, también se observan algunos cambios en fracciones de Al, Fe y Mn en relación con la altitud y el tipo de horizonte. En este caso, estas modificaciones parecen estrechamente vinculadas al desarrollo de los procesos edafogénicos.

Agradecimientos

J.C. Nóvoa Muñoz y X. Pontevedra Pombal reciben el apoyo de un contrato postdoctoral (Programa Parga Pondal) de la Xunta de Galicia. Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Ministerio de Educación y Ciencia de España a través del Proyecto “Cambio climático global y actividad antrópica en hábitats de especial interés para la Biodiversidad: Una comparación interhemisférica entre Tierra del Fuego (Argentina) y el NW de la Península Ibérica” (CGL2004-03380/BOS).

Referencias

- Bray, R.H., & Kurtz, L.T. (1945). *Soil Sci.* 59:39-45.
- Colmet Daage, F., Irisarri, J., & Lanciotti, M.L. (1991). INTA ORSTOM Technical Report. Bariloche.
- Cuevas, J.G. (2000). *J. Ecol.* 88:840-855.
- Decker, K.L.M., & Boerner, R.E.J. (2003). *Rev. Chil. Hist. Nat.* 76:371-381.
- Frangi, J.L., Barrera, M.D., Richter, L.L., & Lugo, A.E. (2005). *For. Ecol. Manage.*,217:80-94.
- Frederiksen, P. (1988). *Folia Geographica Danica* 18:1-159.
- García-Rodeja, E., Nóvoa Muñoz, J.C., Pontevedra Pombal, X., Martínez Cortizas, A., & Buurman, P. (2004). *Catena* 56:155-183.
- Gerding, V., & Thiers, O. (2002). *Rev. Chil. Hist. Nat.* 75:819-833.
- Godagnone, R.E., & Irisarri, J. (1990). En: *Atlas de suelos de la República Argentina*, vol. II. INTA, Buenos Aires. Pp.: 607-641.
- Moretto, A., Andrioli, R., & Fernández, O. (2004). 2º Congr. Chileno de Cienc. Forest.. Valdivia.
- Romanyà, J., Fons, J., Sauras-Yera, T., Gutiérrez, E., & Vallejo, V.R. (2005). *Geoderma* 124:169-180.
- Van Cleve, K., Yarie, J., Ericsson, R., & Dyrness, C.T. (1993). *Can. J. For. Res.* 23:970-978.