

Propiedades químicas del suelo en bosques de *Nothofagus antarctica* y *Austrocedrus chilensis* afectados por fuego

Soil chemical properties in burned *Nothofagus antarctica* and *Austrocedrus chilensis* forests

Ludmila La Manna ^{1, 2, 3}

Carolina Barroetaveña ^{1, 2, 3}

Originales: Recepción: 30/12/2009 - Aceptación: 28/10/2010

RESUMEN

Este estudio tuvo por objetivo caracterizar la fertilidad química del suelo superficial nueve meses después de la ocurrencia de fuegos en dos tipos de formaciones del bosque andino patagónico: *Nothofagus antarctica* y *Austrocedrus chilensis*. El área de estudio se centró en un sector de suelos de ceniza volcánica que fue afectado por el incendio denominado La Colisión (Chubut, Argentina, febrero 2008) y posteriormente cubierto por ceniza volcánica proveniente del volcán Chaitén (mayo 2008). Se tomaron muestras compuestas de suelo mineral a dos profundidades (0-5 cm y 5-10 cm) en un sector de bosque de *N. antarctica* y un sector de bosque de *A. chilensis*, considerando tres niveles de afectación por fuego (control no quemado, poco quemado, muy quemado). En las muestras más superficiales (*i.e.*, 0-5 cm) hubo aumentos significativos de pH y conductividad eléctrica, y disminución de los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total, CIC y sodio, como consecuencia del fuego. Las muestras de 5-10 cm evidenciaron disminución de materia orgánica y nitrógeno total y aumento de azufre.

ABSTRACT

This study aimed to characterize the surface soil chemical fertility nine months after the occurrence of fires in two Andean Patagonian forests: *Nothofagus antarctica* and *Austrocedrus chilensis*. The study focused on an area of volcanic ash soils affected by the wildfire locally known as La Colisión (Chubut, Argentina, February 2008) and later covered by volcanic ash from the Chaitén volcano (May 2008). Soil samples were collected at two depths (0-5 cm and 5-10 cm) from stands of *N. antarctica* and *A. chilensis*, considering three fire levels (unburned control, low fire damage and high fire damage). As a result from fire, 0-5 cm soil samples from burned forests showed significant increase in pH and electrical conductivity, and decrease in organic matter content, total nitrogen, CEC and sodium than those from control sites. Samples at 5-10 cm from burned forests showed significantly lower organic matter content and total nitrogen, and higher sulfur content compared with control sites. The higher sulfur content in burned soils and the observed higher phosphorus content in allophanic soils with low degree of fire damage could improve vegetation recovery.

1 Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP).
Ruta 259 km 4. C. C. 14. (9200) Esquel, Chubut. Argentina. llamanna@ciefap.org.ar

2 Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB). (9200) Esquel, Chubut. Argentina.

3 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

El mayor contenido de azufre en los bosques quemados y el aumento observado de fósforo en suelos alofanizados con bajo grado de afectación por fuego, podrían ser beneficiosos para la recuperación de la vegetación.

Palabras clave

fuego • fertilidad • ñire • ciprés de la cordillera

Keywords

fire • fertility • ñire • cypress

INTRODUCCIÓN

Los bosques y matorrales de *Nothofagus antarctica* (G. Forster) Oerst. (ñire) se desarrollan en la Patagonia Argentina entre los 36°30' y los 56° S (29), abarcando una superficie aproximada de 750.000 ha. Se extienden desde las altas cumbres hasta por debajo de los 600 m s. n. m. Los bosques de *Austrocedrus chilensis* [(D. Don) Pic. Serm. & Bizzarri] (ciprés de la cordillera) se desarrollan en el pedemonte cordillerano entre los 37°7' y los 39°30' S en forma discontinua y en forma más continua entre los 39°30' y los 43°44' S, cubriendo aproximadamente 140.000 ha (4, 20). Ambas especies se introducen hacia la estepa y *N. antarctica* forma parte de la vegetación ribereña que acompaña los cursos de agua.

Los bosques de *Austrocedrus chilensis* se desarrollan en un amplio rango de precipitación (ca. 300-1700 mm anuales), ocupando distintas geomorfologías (21) y tipos de suelo (14). *Nothofagus antarctica* también crece en sitios diversos, como laderas expuestas al viento, fondos de valle, mallines con suelos mal drenados, y sitios áridos y ventosos (29).

El fuego es uno de los factores de disturbio más importante asociado tanto a la dinámica de *N. antarctica* como de *A. chilensis* (28, 29); sin embargo, son escasos los estudios sobre los efectos en el suelo. En las provincias de Chubut y Río Negro, *N. antarctica* y *A. chilensis* son las especies forestales más afectadas por fuego (26). La mayoría de los incendios son de origen antrópico, ya sea por intencionalidad o negligencia (23). *Austrocedrus chilensis* es muy vulnerable al fuego dado que posee corteza fina y conserva sus ramas secas durante largo tiempo, lo que favorece que el fuego alcance fácilmente las copas (15). A diferencia de esta especie, *N. antarctica* puede reproducirse vegetativamente y rebrota vigorosamente desde la base después de un incendio (29).

La temperatura del horizonte orgánico y del suelo mineral aumenta como consecuencia de los incendios, alterando sustancialmente el ciclado de nutrientes y las propiedades químicas y físicas del suelo (7). El flujo de los nutrientes debido al fuego, principalmente carbono (C), nitrógeno (N), azufre (S) y fósforo (P), involucra la oxidación de compuestos hacia formas gaseosas, la volatilización de la materia orgánica (MO), la convección de las partículas de ceniza, y la pérdida por lavado o transporte de sedimentos. A su vez, el fuego afecta de forma indirecta el ciclo de los nutrientes debido a los cambios generados sobre la actividad biológica (11). Las temperaturas que se alcancen influyen los cambios químicos que van a dictar el pH, la humedad y la concentración de nutrientes después del fuego (11).

La cantidad de nutrientes que se pierden por el calentamiento del suelo depende de hasta qué profundidad se alcanzan las temperaturas de volatilización. El C, N y S tienen bajas temperaturas de volatilización (100-300°C); el P puede ser volatilizado entre 550 y 750°C, y las bases de intercambio [calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na)] presentan altas temperaturas de volatilización (740-1240°C) (1, 9, 18).

En la Región Andino Patagónica la ceniza volcánica domina como material original de los suelos. El sector de mayores precipitaciones, hacia el oeste, se caracteriza por la presencia de aluminosilicatos amorfos (alofano e imogolita), derivados de la alteración de la ceniza, y los suelos son clasificados como Andisols (16). Este tipo de suelos se caracteriza por alta fertilidad y alta capacidad de almacenamiento de agua y de estabilidad de la MO (32). Si bien podría esperarse que los efectos del fuego sobre el suelo fueran menos marcados que en suelos cristalinos, estudios realizados en suelos volcánicos de bosques de *Nothofagus pumilio* (Poepp. and Endl.) Krasse evidenciaron fuertes cambios en propiedades químicas, físicas y biológicas como consecuencia del fuego incluso después de cuatro años (1). En bosques quemados de esta especie también se evidenció una disminución en el contenido de MO y en la capacidad de retención de agua (13). En bosques de *A. chilensis* desarrollados sobre suelos volcánicos se detectaron aumentos en el pH, en la conductividad eléctrica y en los contenidos de Mg y Ca en los primeros 10 cm del suelo (26).

En mayo de 2008 el volcán Chaitén, ubicado en Chile, hizo erupción como consecuencia de la actividad que registran continuamente las placas litosféricas Sudamericana, Nazca y Antártica, afectando parte del área de distribución de *N. antarctica* y *A. chilensis*. Esta ceniza, con dominancia de las fracciones arena fina y muy fina, puede constituir un aporte nutricional para el suelo (6).

Objetivos

- Caracterizar la fertilidad química del suelo luego de la ocurrencia de fuegos en dos tipos de formaciones boscosas del bosque andino patagónico: *Nothofagus antarctica* y *Austrocedrus chilensis*, desarrolladas en áreas afectadas por erupciones volcánicas recientes.
- Evaluar cómo difiere la fertilidad química en relación con el grado de afectación por fuego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se centró en un sector de suelos de ceniza volcánica ubicado entre las isohietas de 900-1000 mm, que fue afectado por el incendio denominado La Colisión (Chubut) ocurrido en febrero de 2008 (figura 1, pág. 44). *Nothofagus antarctica* y *A. chilensis* fueron las especies forestales más afectadas, con una superficie de 1639 ha y 479 ha, respectivamente, y 143 ha de bosques mixtos de ambas especies (8). Posteriormente a este incendio, en mayo de 2008, el área fue cubierta por ceniza volcánica proveniente del volcán Chaitén.

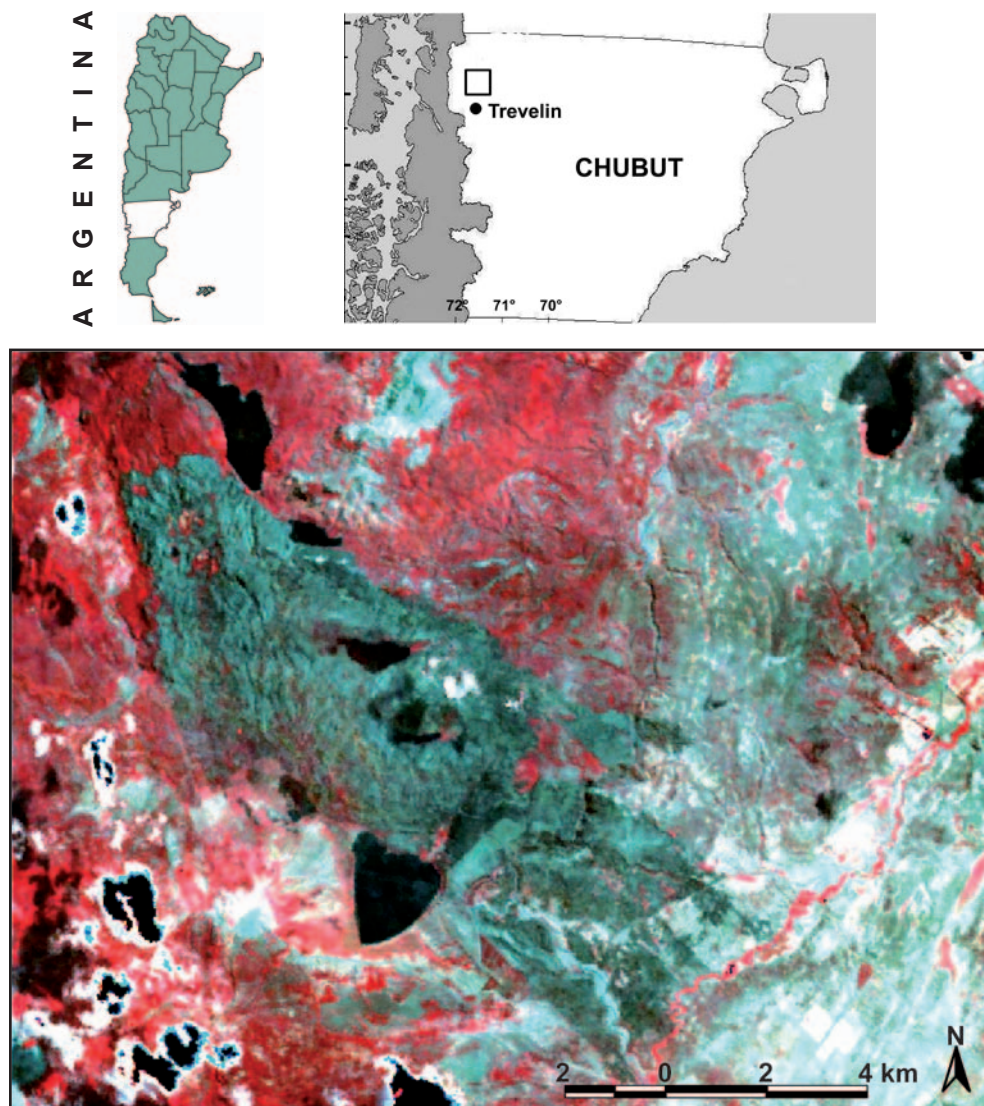


Figura 1. Ubicación del área de estudio e imagen Landsat del área quemada (CONAE).
Figure 1. Study area location and Landsat image of the burned area (CONAE).

Diseño de muestreo

Dentro del área afectada por el incendio La Colisión se seleccionaron dos sectores accesibles: uno dominado por bosques de *N. antarctica* y otro por *A. chilensis*. En cada sector se definieron dos niveles de afectación por fuego: poco quemado y muy quemado, y se incluyeron también dos situaciones control, no afectadas por el fuego. El muestreo fue realizado en noviembre de 2008, nueve meses después del fuego.

En cada situación se instalaron parcelas rectangulares de 250 m² en las cuales se caracterizaron todos los árboles en función del estado del follaje (verde, quemado, sin follaje) y del tronco (corteza sana, rajada, carbonizada). La situación "poco quemado" correspondió a sectores de bosque con presencia de árboles con follaje verde y corteza sana y menos de un 10% de árboles con corteza carbonizada. La situación "muy quemado" correspondió a sectores con árboles sin follaje verde ni cortezas sanas y más de un 50% de árboles con troncos carbonizados.

Mediante un muestreo sistemático se seleccionaron cinco puntos de muestreo dentro de cada parcela en la que se caracterizó la profundidad del horizonte orgánico, el espesor de ceniza volcánica reciente y se estimó visualmente la cobertura de los estratos herbáceo y arbustivo en subparcelas de 4x4 m². En dos subparcelas seleccionadas al azar se tomaron muestras compuestas de suelo mineral a dos profundidades: 0-5 cm y 5-10 cm. Estas muestras no incluyeron horizonte orgánico ni la ceniza reciente. En los cinco puntos de muestreo se determinó la temperatura superficial del suelo (a los 5 y 10 cm) con un termómetro digital. Este dato se tomó simultáneamente en las distintas situaciones de afectación por fuego en un lapso no mayor a media hora.

Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas por malla de 2 mm. El pH actual (relación suelo:agua 1:1) y la conductividad eléctrica (relación suelo:agua 1:5) se determinaron por métodos potenciométricos. El pH NaF (relación suelo:agua 1:50) fue evaluado en las muestras de los bosques control a fin de determinar la presencia de aluminosilicatos amorfos (12). Se determinaron también las bases de intercambio (24), capacidad de intercambio catiónico (22), fósforo disponible (P) mediante el método conocido como Bray 1 (5), azufre extractable utilizando KH₂PO₄ como extractante (2, 3) y N total por el método de Kjeldahl. El contenido de materia orgánica fue determinado por el método de combustión húmeda de Walkley-Black en muestras tamizadas por malla de 0,5 mm (31).

Para la interpretación de los resultados se tomaron los valores de referencia para la región andino patagónica que utiliza el Laboratorio de Suelos Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico - Universidad Nacional de la Patagonia "San Juan Bosco" (CIEFAP-UNPSJB).

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza en bloques desbalanceados con repeticiones, considerando cada tipo de vegetación como un bloque. Se consideró como factor el nivel de afectación por fuego (3 niveles), y el análisis fue realizado separadamente para cada profundidad. Aquellas variables que dieron significativas en el ANOVA ($p < 0,05$) fueron luego analizadas con test de Tukey. Aquellas variables que no cumplieron con los supuestos de normalidad y/o homocedacea fueron transformadas. El diseño de muestreo y el análisis de datos se fundamentan en Wester (33). Este trabajo es planteado como un estudio de caso.

Se realizó también un análisis de componentes principales para las muestras de 0-5 cm a fin de evaluar el comportamiento de las variables edáficas en conjunto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de micrositio

Nueve meses después del incendio, no se encontraron diferencias significativas en la cobertura de herbáceas ($p = 0,465$) y arbustos ($p = 0,106$) en función del grado de afectación por fuego. Sin embargo, observando cada formación boscosa, se apreció que la cobertura de herbáceas y arbustivas en los bosques de *N. antarctica* disminuye marcadamente en función de la afectación por fuego (figuras 2a y 2b).

Por el contrario, en los bosques de *A. chilensis* las herbáceas tendieron a aumentar con el fuego (figura 2a), posiblemente como consecuencia de la apertura del dosel y el mayor ingreso de luz, tal como se ha registrado en otros bosques quemados de esta especie (10, 26).

La respuesta de los arbustos fue variable, hallándose generalmente especies capaces de generar de rebrote como *Schinus patagonicus* (Phil.) Johnst [n.v. laura] y *Maytenus chubutensis* (Speg.) Lourt., O'Don. & Sleum [n.v. chaurilla].

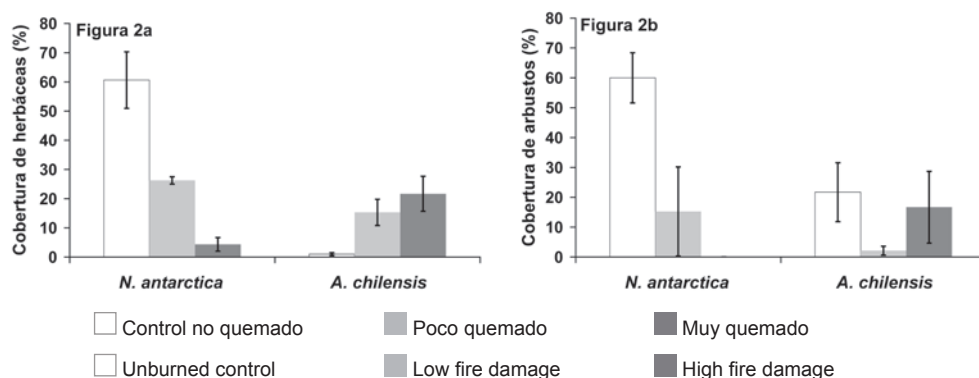


Figura 2. Valor medio \pm 1 error standard de las variables de micrositio en bosques de *Nothofagus antarctica* y *Austrocedrus chilensis* con distinto grado de afectación por fuego.

Figure 2. Mean value \pm 1 standard error for microsite variables in *Nothofagus antarctica* and *Austrocedrus chilensis* forests affected by fires.

El espesor total del horizonte orgánico disminuyó significativamente en función del grado de afectación por fuego (tabla 1 y figura 2c, pág. 47). El horizonte orgánico sin descomponer, que estaría representando el aporte de nuevo material orgánico, posterior al incendio, fue significativamente más bajo en el bosque muy quemado (tabla 1 y figura 2d, pág. 47).

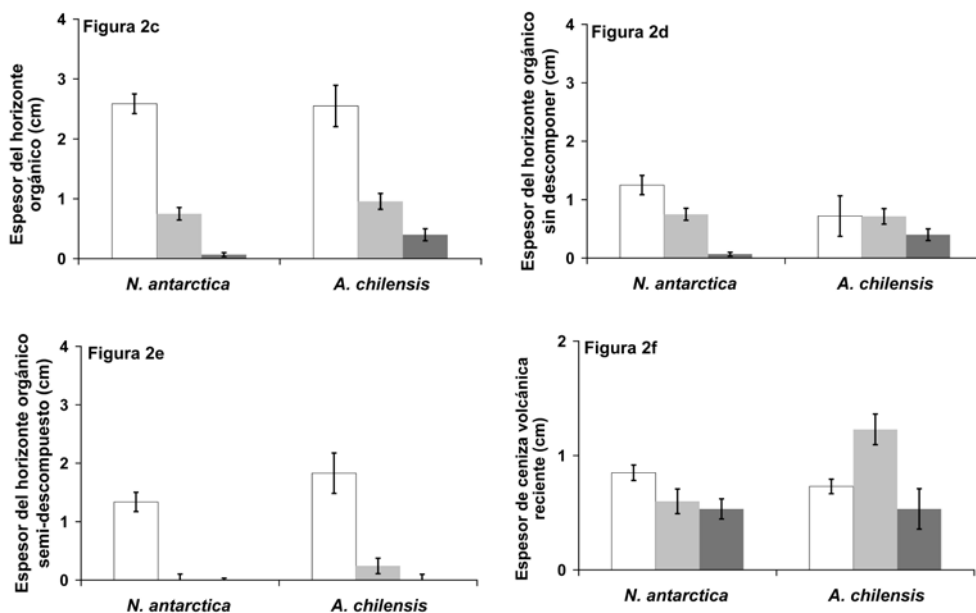
El horizonte orgánico semi-descompuesto, que representa en parte la fracción orgánica no mineralizada que no fue consumida por el fuego, fue nula en el bosque muy quemado y muy baja en el bosque poco quemado (tabla 1 y figura 2e, pág. 47).

Tabla 1. Valor medio \pm 1 error standard de las variables de micrositio que varían significativamente en función del fuego.

Table 1. Mean value \pm 1 standard error for microsite variables with significant differences according to fire.

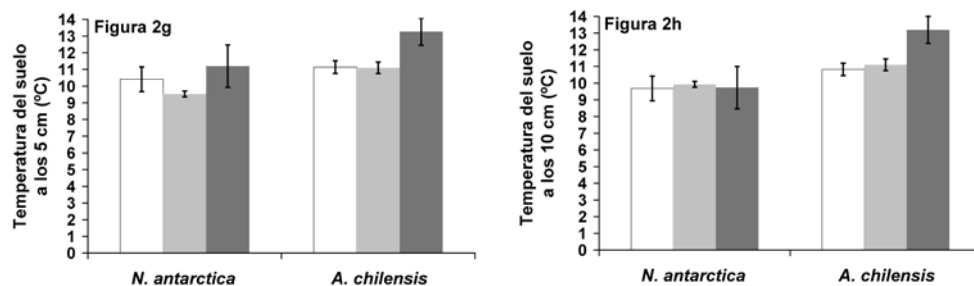
	Control	Poco quemado	Muy quemado	p ¹
Horizonte orgánico (cm)	2,19 \pm 0,12 a ²	1,04 \pm 0,11 b	0,23 \pm 0,09 c	< 0,001
Horizonte orgánico sin descomponer (cm)	0,96 \pm 0,10 a	0,73 \pm 0,08 a	0,23 \pm 0,09 b	< 0,001
Horizonte orgánico semi-descompuesto (cm)	1,23 \pm 0,08 a	0,31 \pm 0,08 b	0,00 \pm 0,00 c	< 0,001*
Ceniza volcánica reciente (cm)	0,77 \pm 0,05 ab	1,01 \pm 0,15 a	0,53 \pm 0,09 b	0,018
Temperatura del suelo a los 10 cm (°C)	10,33 \pm 0,28 a	10,75 \pm 0,23 a	11,47 \pm 0,92 a	0,047

1 valor p del ANOVA para el tratamiento afectación por fuego. 2 Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de acuerdo con el test de Tukey. *Transformación raíz cuadrada



El espesor de la ceniza volcánica proveniente del volcán Chaitén fue menor en el bosque muy quemado, diferenciándose significativamente del bosque poco quemado (tabla 1). Esto sugiere que en las condiciones de bosque muy quemado la ceniza estaría sujeta a una mayor pérdida por erosión. Se observó además que en el bosque de *N. antarctica*, el depósito de ceniza reciente tendió a disminuir con el grado de afectación por fuego (figura 2f), asociado posiblemente a la menor vegetación de sotobosque, particularmente de herbáceas (figura 2a, pág. 46), que actúa como trampa para retener la ceniza.

La temperatura del suelo no varió significativamente a los 5 cm ($p = 0,052$; figura 2g), mientras que a los 10 cm varió significativamente, tendiendo a ser mayor en el bosque muy quemado (tabla 1 -pág. 47-, figura 2h). Un estudio realizado en bosques de *A. chilensis* determinó que las altas temperaturas que se alcanzan en el suelo de los bosques quemados serían una limitante para el establecimiento post-fuego de *A. chilensis*, especialmente en sitios xéricos (27).



Propiedades químicas del suelo mineral

El pH en agua de 0-5 cm fue significativamente mayor en los bosques quemados respecto del control, presentando los máximos valores en la condición poco quemado (tabla 2, figura 3a -pág.49-).

Tabla 2. Valor medio \pm 1 error standard de las variables edáficas de 0-5cm de profundidad que varían significativamente en función del fuego.

Table 2. Mean value \pm 1 standard error for soil variables at 0-5 cm depth with significant differences according to fire.

	Control	Poco quemado	Muy quemado	p ¹
pH	5,57 \pm 0,09 c ²	6,81 \pm 0,31 a	6,32 \pm 0,11 b	< 0,001
M.O. (%)	31,86 \pm 5,03 a	8,81 \pm 1,58 b	8,55 \pm 1,93 b	0,002
N total (%)	1,11 \pm 0,24 a	0,55 \pm 0,06 ab	0,34 \pm 0,06 b	0,031
CIC (meq/100gr)	59,85 \pm 4,98 a	32,97 \pm 1,60 b	35,98 b	0,003*
Na (meq/100gr)	0,92 \pm 0,09 a	0,86 \pm 0,05 ab	0,64 \pm 0,05 b	0,036
Saturación de bases (%)	64,31 \pm 7,78 b	116,31 \pm 12,27 a	64,88 \pm 3,96 b	0,002
C.E. (dS/m)	0,12 \pm 0,01 b	0,20 \pm 0,01 a	0,18 \pm 0,01 a	< 0,001

1 valor p del ANOVA para el tratamiento afectación por fuego. 2 Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de acuerdo con el test de Tukey. * Transformación logarítmica.

Estos resultados coinciden con estudios previos realizados en bosques de *A. chilensis* (26) y *Nothofagus* (1). Los valores máximos de pH en suelos quemados fueron registrados en los bosques de *N. antarctica* (pH = 7,51). Por el contrario, en los bosques de *A. chilensis* el pH se mantuvo ligeramente ácido. Esto podría estar asociado a la presencia de aluminosilicatos amorfos en los suelos de *A. chilensis* que generan un alto poder buffer (30). Los valores de pH NaF sugirieron que los bosques de *N. antarctica* no presentan alófono (pH NaF < 9,2), por el contrario el suelo de los bosques de *A. chilensis* estaría alofanizado (pH NaF > 9,2) (12). En las muestras de 5-10 cm no se evidenciaron diferencias significativas en pH (tabla 3, pág. 49).

Tabla 3. Valor medio \pm 1 error estándar de las variables edáficas de muestras de 5-10 cm de profundidad de los diferentes tratamientos de afectación por fuego.

Table 3. Mean value \pm 1 standard error for soil variables at 5-10 cm depth from different fire treatments.

	Control	Poco quemado	Muy quemado	P ¹
pH	5,64 \pm 1,30	5,90 \pm 0,22	5,82 \pm 0,29	0,545
MO (%)	17,11 \pm 3,25 a ²	7,85 \pm 0,84 b	8,44 \pm 1,21 b	0,009*
N total (%)	0,65 \pm 0,11 a	0,33 \pm 0,04 b	0,38 \pm 0,03 b	0,004*
P (mg/Kg)	9,78 \pm 2,38	21,41 \pm 10,47	6,69 \pm 0,89	0,243*
S (mg/Kg)	42,34 \pm 4,98 b	45,35 \pm 6,85 b	72,71 \pm 10,76 a	0,017*
CIC (meq/100gr)	54,41 \pm 4,69	41,32 \pm 4,35	39,80 \pm 2,84	0,072
K (meq/100gr)	0,98 \pm 0,20	0,67 \pm 0,14	0,54 \pm 0,11	0,249*
Ca (meq/100gr)	18,23 \pm 3,31	12,34 \pm 1,44	16,66 \pm 5,73	0,479*
Mg (meq/100gr)	5,48 \pm 1,33	4,00 \pm 0,42	3,38 \pm 1,05	0,508*
Na (meq/100gr)	0,73 \pm 0,07	0,71 \pm 0,02	0,56 \pm 0,06	0,241
Suma de bases (meq/100gr)	25,42 \pm 4,69	17,72 \pm 1,57	21,14 \pm 6,63	0,806**
Saturación de bases (%)	47,10 \pm 6,87	43,16 \pm 1,41	54,44 \pm 18,05	0,950**
CE (dS/m)	0,08 \pm 0,01	0,11 \pm 0,02	0,14 \pm 0,04	0,269*

1 valor p del ANOVA para el Tratamiento afectación por fuego. 2 Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de acuerdo con el test de Tukey. * Transformación logarítmica; ** Transformación seno.

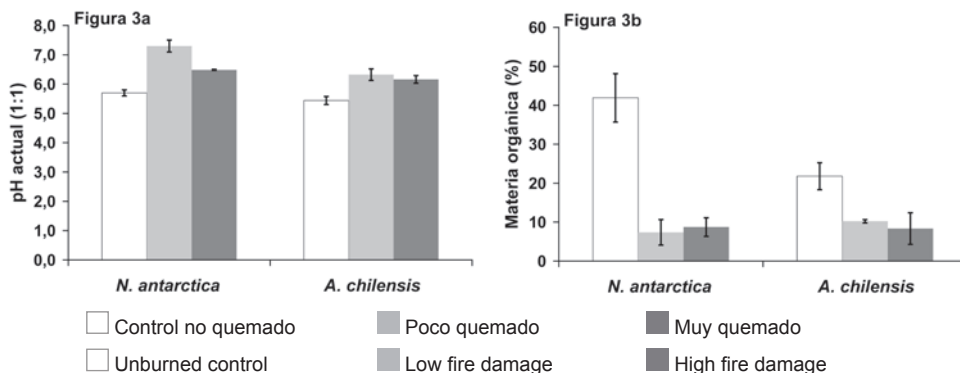


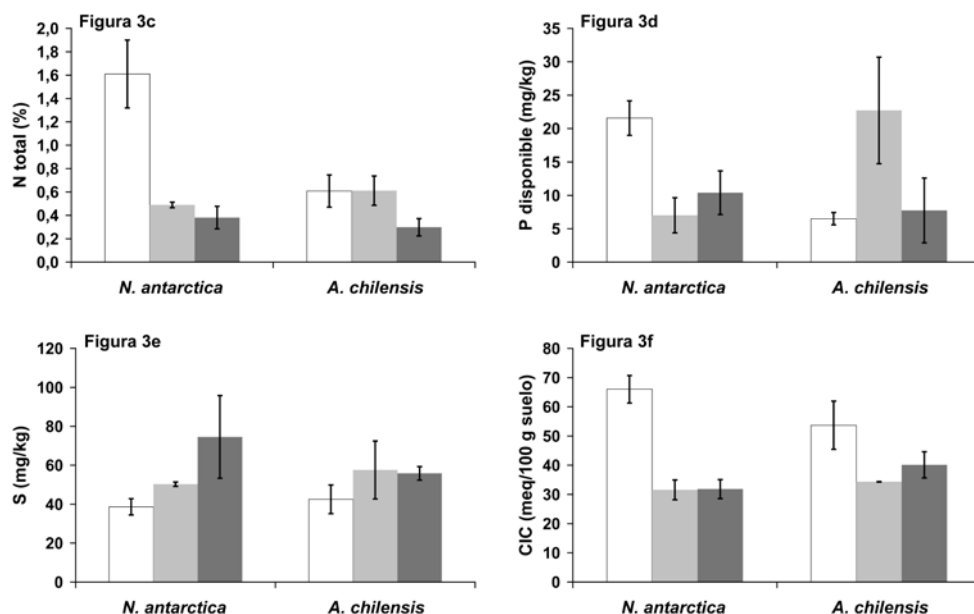
Figura 3. Valor medio \pm 1 error standard de las variables edáficas para muestras de 0-5 cm en bosques de *Nothofagus antarctica* y *Austrocedrus chilensis* con distinto grado de afectación por fuego.

Figure 3. Mean value \pm 1 standard error of edaphic variables for 0-5 cm soil samples in *Nothofagus antarctica* and *Austrocedrus chilensis* forests affected by fires.

El contenido de MO disminuyó significativamente en los bosques quemados respecto del control para ambas profundidades (tabla 2 -pág. 48- y tabla 3, figura 3b). Cerca del 99% del nitrógeno combinado en el suelo se halla contenido en la MO (25), de forma tal que las pérdidas de materia orgánica como consecuencia del fuego se tradujeron en una disminución del N total. A los 5 cm el contenido de N del control fue significativamente mayor que en el bosque muy quemado (tabla 2 -pág. 48-, figura 3c -pág. 50-), mientras que a los 10 cm el control difirió significativamente de ambas condiciones de fuego (tabla 3).

El P, nutriente asociado a la MO, no evidenció diferencias significativas en función del fuego a los 0-5 cm ($p = 0,595$) ni a los 5-10 cm (tabla 3, pág. 49). Los valores registrados sugieren un comportamiento distinto entre las formaciones boscosas. El nivel de P de los bosques control de *N. antarctica* fue medio en las muestras de 0-5 cm, pasando a valores bajos en las situaciones quemadas (< 20 ppm), de acuerdo con los niveles de referencia utilizados en la región.

Por el contrario, en los bosques control de *A. chilensis* los niveles de P fueron bajos, alcanzando valores medios en el bosque poco quemado (figura 3d). Alauzis *et al.* (1) registraron aumentos de P en respuesta al fuego en bosques de *N. pumilio* desarrollados sobre suelos volcánicos alofanizados. Los bajos valores de P hallados en los bosques control de *A. chilensis* coinciden con lo registrado por Morales *et al.* (19), y estaría asociado a la alta retención de P que existe en los suelos volcánicos alofanizados.



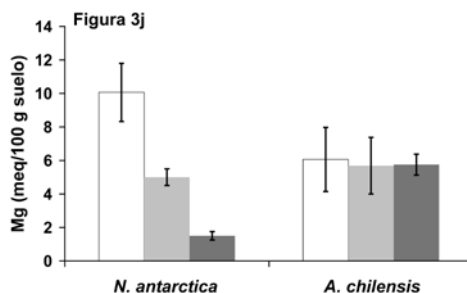
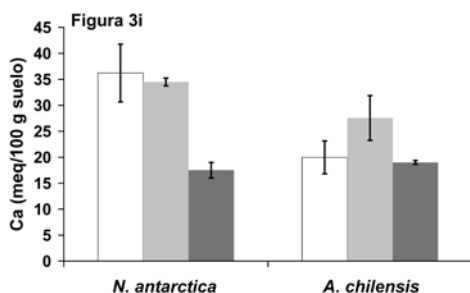
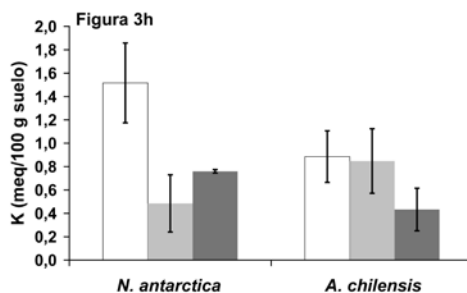
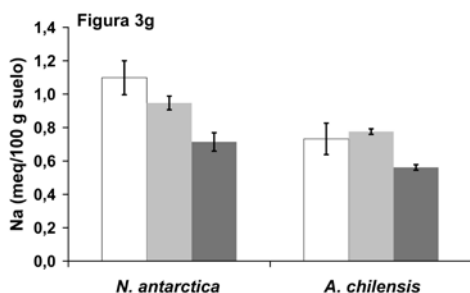
Los niveles de azufre no variaron significativamente a los 0-5 cm ($p = 0,052$, figura 3e), pero aumentaron significativamente en los bosques muy quemados en las muestras de 5-10 cm (tabla 3, pág. 49). No hay antecedentes en la evaluación de este nutriente en bosques quemados de la región. Los aluminosilicatos amorfos (alófano - imogolita) son anfóteros y tienen la capacidad de retener aniones, como el ión sulfato.

Este aumento en la disponibilidad de S podría ser beneficioso para la recuperación de la vegetación. Sumado a esto, si bien la ceniza volcánica reciente no fue incluida en el análisis químico, estudios anteriores evidenciaron que es rica en S (6).

La capacidad de intercambio catiónico disminuyó significativamente en los bosques quemados respecto del control en las muestras de 0-5cm (tabla 2 -pág. 48-; figura 3f).

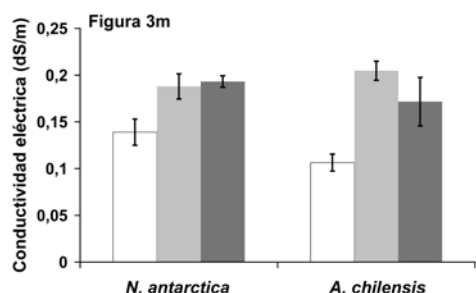
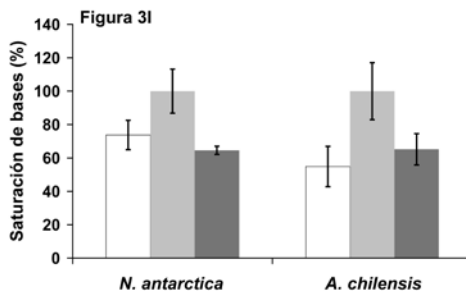
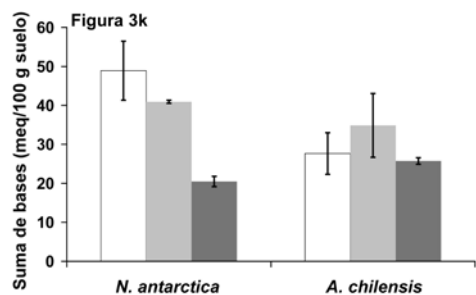
La disminución de la CIC podría estar asociada a la pérdida de materia orgánica como consecuencia del fuego. En las muestras de 5-10cm no se detectaron diferencias significativas (tabla 3, pág. 49). Aún en los quemados, los valores de CIC resultaron mayores a 30 meq/100g de suelo, que se consideran altos para la región andino patagónica (17).

Respecto de las bases de intercambio en las muestras de 0-5 cm, sólo el Na disminuyó significativamente en los bosques muy quemados respecto del control (tabla 2 -pág. 48-; figura 3g). El potasio no presentó diferencias significativas ($p = 0,078$) e incluso en los suelos quemados se mantuvo en valores medios a altos de acuerdo con los niveles de referencia (figura 3h). El calcio y el magnesio no variaron en forma significativa ($p = 0,089$; $p = 0,121$, respectivamente) y presentaron en todos los casos niveles altos de acuerdo con los valores de referencia (figuras 3i y 3j).



La suma de bases no presentó diferencias significativas ($p = 0,120$; figura 3k, pág. 52). El porcentaje de saturación con bases presentó valores significativamente más altos en bosques poco quemados (tabla 2 -pág. 48-; figura 3l -pág. 52-). La conductividad eléctrica aumentó significativamente en ambas condiciones de quemado, manteniéndose siempre en valores bajos, adecuados para el crecimiento vegetal (tabla 2 -pág. 48-; figura 3m -pág. 52-). Las muestras de 5-10 cm no evidenciaron diferencias significativas en función del grado de afectación por fuego en bases de intercambio, saturación de bases ni conductividad eléctrica (tabla 3, pág. 49).

En el ACP realizado en función de las propiedades químicas considerando las muestras de 0-5 cm, el primer eje explicó el 47% de la varianza y el eje 2 el 29%. El eje 1 estuvo positivamente asociado con MO, N, CIC y suma de bases, y negativamente asociado con pH, conductividad eléctrica y contenido de S (tabla 4, pág. 52).



Los bosques control, tanto de *N. antarctica* como de *A. chilensis*, se agruparon hacia valores positivos del eje 1, coincidiendo con suelos de mayor fertilidad potencial (mayor MO, N y CIC). Los bosques quemados se agruparon hacia valores negativos de este eje (figura 4, pág. 53).

El eje 2 se asoció positivamente con pH, conductividad eléctrica, suma de bases y porcentaje de saturación con bases (tabla 4).

Este eje tendió a discriminar los bosques control en función de la especie dominante. Los bosques de *N. antarctica* se asociaron con valores positivos del eje 2, tendiendo a presentar mayores valores de pH, conductividad eléctrica y saturación con bases que los bosques control de *A. chilensis* (figura 4, pág. 53).

Por el contrario los bosques quemados no fueron discriminados en el eje 2 en función de la especie dominante sino de acuerdo con el grado de afectación por fuego.

Los bosques poco quemados se agruparon hacia valores positivos del eje 2 tendiendo a presentar mayores pH, conductividad eléctrica y saturación con bases que los bosques muy quemados (figura 4, pág. 53).

Tabla 4. Autovectores del análisis de componentes principales.

Table 4. Eigenvectors of principal component analysis.

	Eje 1	Eje 2
pH	-0,716	0,625
Conductividad eléctrica	-0,544	0,659
MO	0,952	0,192
N total	0,837	0,470
P	0,459	0,385
S	-0,581	0,036
CIC	0,905	-0,108
Suma de bases	0,576	0,777
% de Saturación de bases	-0,326	0,847

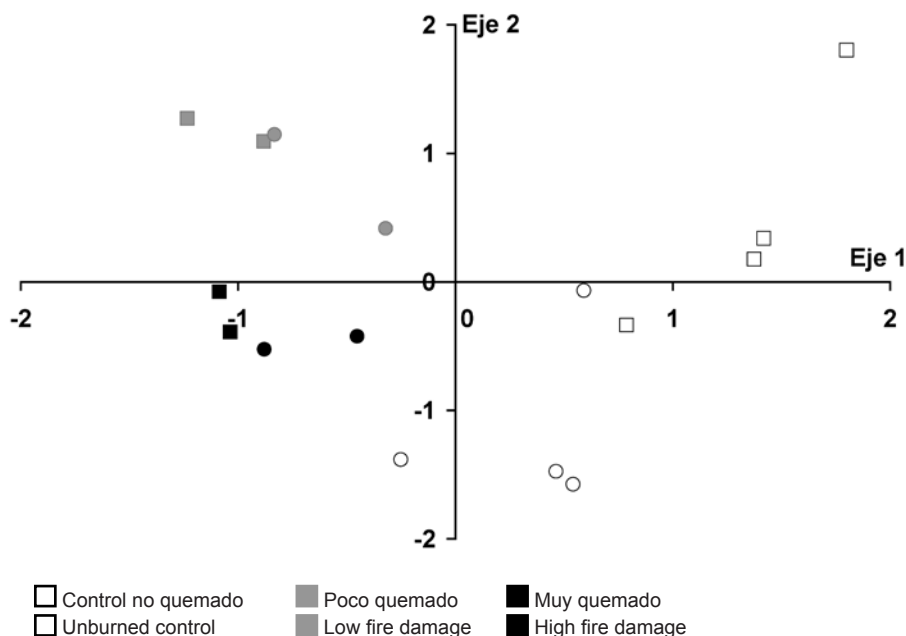


Figura 4. Ordenación de las parcelas en función del primer y segundo eje del Análisis de componentes principales. Cada parcela es identificada por el tipo de vegetación □ *N. antarctica*; ○ *A. chilensis* y el grado de afectación por fuego.

Figure 4. Plot ordination according to the first and the second components of principal components analysis. Each plot is identified according to forest species □ *N. antarctica*; ○ *A. chilensis* and the level of fire damage.

CONCLUSIONES

Las mayores diferencias en las propiedades químicas del suelo como consecuencia del fuego fueron registradas en los primeros centímetros del suelo (0-5 cm). A esta profundidad se evidenciaron aumentos significativos de pH, conductividad eléctrica y azufre, y disminución de los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total, capacidad de intercambio catiónico y sodio, como consecuencia del fuego.

Se registró un aumento de la saturación con bases ante niveles bajos de afectación por fuego. Las muestras de 5-10 cm no evidenciaron patrones claros, excepto la disminución de los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total y el aumento de azufre en bosques quemados.

El mayor contenido de azufre, anión retenido en suelos volcánicos, y el aumento observado de P en suelos alofanizados con bajo grado de afectación por fuego, podrían ser beneficiosos para la recuperación de la vegetación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alauzis, M. V.; Mazzarino, M. J.; Raffaele, E.; Roselli, L. 2004. Wildfires in NW Patagonia: long-term effects on a *Nothofagus* forest soil. *Forest Ecology and Management* 192: 131-142.
2. Anderson, G.; Lefroy, R.; Chinoim, N.; Blair, G. 1992. Soil Sulphur Testing. *Sulphur in Agriculture*. 16: 6-14.
3. Bardsley, C. E.; Lancaster, J. D. 1965. Sulphur. In: Black, C.A. (ed.). *Methods of Soil Analysis*. Part 2. American Society of Agronomy, Inc., Publisher. Madison. Wisconsin. USA. p. 1102-1116.
4. Bran, D.; Pérez, A.; Barrios, D.; Pastorino, M.; Ayesa, J. 2002. Eco-región valdiviana: distribución actual de los bosques de "ciprés de la cordillera" (*Austrocedrus chilensis*) - Escala 1:250.000. INTA, APN, FVSA. Bariloche, Argentina.
5. Bray, R. H.; Kurtz, L. T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*. 59: 39-45.
6. Buduba, C.; La Manna, L.; Alonso, V.; Irisarri, J. 2008. La ceniza del Volcán Chaitén y los Suelos. *Carpeta Técnica, Medio Ambiente N° 9, EEA INTA Esquel*. 4 p.
7. Caldwell, T. G.; Johnson, D. W.; Miller, W. W.; Qualls, R. G. 2002. Forest floor carbon and nitrogen losses due to prescription fire. *Soil Science Soc. of American Journal*. 66: 262-267.
8. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP); DGBYP; FIRE Paradox, MIAG Esquel; PNLA. 2008. Informe de base para la restauración post-fuego. "Incendio La Colisión". Parque Nacional Los Alerces, Esquel, Trevelin. Formato digital. 24 p.
9. Giovannini, G.; Luchessi, S.; Giacheti, M. 1990. Beneficial and detrimental effects of heating on soil quality. In: Goldammer, J. G.; Jenkins, M. J. (Eds.). *Fire and Ecosystem Dynamics*. SPB Academic Publishing, The Netherlands. p. 95-102.
10. Gobbi, M.; Sancholuz, L. 1992. Regeneración post-incendio del ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) en los primeros años. *Bosque* 13(2): 25-32.
11. Hamman, S. T.; Burke, I. C.; Knapp, E. E. 2008. Soil nutrients and microbial activity after early and late season prescribed burns in a Sierra Nevada mixed conifer forest. *Forest Ecology and Management*. 256: 367-364.
12. Irisarri, J. 2000. La propuesta de reclasificación de los Andepts de Argentina, de acuerdo al Orden Andisoles. *Workshop Soil Taxonomy*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AICET, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, p. 18-27.
13. Kitzberger, T.; Raffaele, E.; Heinemann, K.; Mazzarino, M. J. 2005. Effects of fire severity in a North Patagonian subalpine forest. *Journal of Vegetation Science* 16: 5-12.
14. La Manna, L. 2005. Caracterización de los suelos bajo bosque de *Austrocedrus chilensis* a través de un gradiente climático y topográfico en Chubut, Argentina. *Bosque* 26: 137-153.
15. Loguercio, G.; Burschel, P.; Rey, M. 1999. El bosque de Ciprés de la Cordillera: su conservación y uso. *Centro Forestal CIEFAP, Folleto de divulgación 14, Esquel, Chubut*. 22 p.
16. López, C. R. 1996. La carta de suelos en apoyo a la evaluación del potencial forestal de las tierras de la región andina patagónica norte. En: Moscatelli, G.; Panigatti, J.; Di Giacomo, R. (Eds.). *Utilización de la cartografía para el uso sustentable de las tierras*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires. p. 78-91.
17. Mendía, J. M.; Irisarri, J. 1986. Relevamiento de suelos con aptitud forestal en la región occidental de la provincia de Río Negro. *Consejo Federal de Inversiones (CFI). Expediente 751*. Buenos Aires. Argentina.
18. Meyer, V. F.; Redente, E. F.; Barbarick, K. A.; Brobst, R. B.; Paschke, M. W.; Miller, A. L. 2004. Plant and soil responses to biosolids application following forest fire. *Journal of Environmental Quality*. 33: 873-881.
19. Morales, D.; La Manna, L.; Buduba, C. 2010. Propiedades químicas de suelos desarrollados sobre distintos materiales originales bajo bosques de *Austrocedrus chilensis*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 42(1): 185-200.

20. Pastorino, M.; Fariña, M.; Bran, D.; Gallo, L. 2006. Extremos geográficos de la distribución natural de *Austrocedrus chilensis* (Cupressaceae). Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 41, 307-311.
21. Rabassa, J.; Martínez, O.; Getar, E. 2000. Geomorfología del segmento de Cordillera Patagónica y Patagonia Extrandina entre los 43° y 44° Latitud Sur, Provincia de Chubut. Universidad Nacional de la Patagonia "San Juan Bosco", Secretaría de Ciencia y Técnica, Comodoro Rivadavia. Informe final PI N° 215.
22. Richter, M.; Conti, M.; Maccarini, G. 1982. Mejoras en la determinación de cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico en los suelos. Revista Facultad de Agronomía 3(2): 145-155.
23. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS). 2008. Estadística de incendios forestales 2007. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Buenos Aires. 126 p.
24. Schollenber, C. J.; Simon, R. H. 1945. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil - ammonium acetate method. Soil Science. 59: 13-25.
25. Thompson, L. M.; Troeh, F. R. 1988. 4ª ed. Los suelos y su fertilidad. Ed. Reverté S. A. Barcelona, España. 649 p.
26. Urretavizcaya, M. F. 2005. Cambios ambientales y restauración ecológica post incendio en bosques de *Austrocedrus chilensis*. Tesis Doctoral en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche. 207 p.
27. _____; Defossé, G. E.; Gonda, H. E. 2006. Short-term effects of fire on plant cover and soil conditions in two *Austrocedrus chilensis* (cypress) forests in Patagonia, Argentina. Ann. For. Sci. 63: 63-71.
28. Veblen, T. T. ; Burns, B. R. ; Kitzberger, T. ; Lara, A.; Villalba, R. 1995. The ecology of the conifers of Southern South America. In: Enright, N. S.; Hill, R. S. (Eds.). Ecology of the southern conifers. Melbourne University Press, Melbourne, Australia. p. 120-155.
29. _____; Kitzberger, T. ; Burns, B. R. ; Rebertus, A. J. 1996. Perturbaciones y dinámica de regeneración en bosques andinos del sur de Chile y Argentina. En: Armesto, J. J.; Villagrán, C.; Arroyo, M. K. (Eds.). Ecología de los bosques nativos de Chile. Editorial Universitaria, Santiago de Chile, Chile. p. 169-198.
30. Wada, K. 1985. The distinctive properties of Andisols. Adv. Soil Sci. 2: 173-229.
31. Walkley, A; Black, I. 1934. An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 34: 29-38.
32. Warkentin, B. P.; Maeda, T. 1980. Physical and mechanical characteristics of Andisols. In: Theng, B. K. (Ed.). Soils with variable charge. Lowe Hott: Ed. New Zealand. Society of Soil Science. p. 281-301.
33. Wester, D. 1992. Viewpoint: Replication, randomization and statistics in range research. J. range manag. 45: 285-290.

Agradecimientos

A la Ing. Virginia Alonso (Laboratorio de Suelos CIEFAP-UNPSJB)
por las determinaciones analíticas.

Al Técnico Juan Monges por la asistencia en las tareas de campo.