

## LA FERTILIDAD QUÍMICA DEL SUELO Y EL «MAL DEL CIPRÉS» EN PATAGONIA, ARGENTINA

DANIELA MORALES<sup>1,2</sup> & LUDMILA LA MANNA<sup>1,2,3</sup>

Recibido: 29-06-10

Recibido con revisiones: 20-04-11

Aceptado: 02-06-11

### SOIL CHEMICAL FERTILITY AND *Austrocedrus chilensis* DISEASE IN PATAGONIA, ARGENTINA

#### ABSTRACT

*Austrocedrus chilensis* forests suffer a widespread mortality locally known as «mal del ciprés» (cypress disease) whose cause remains controversial. Previous studies suggested *Phytophthora austrocedrae* as the biotic cause; however, the origin of the mortality is still being studied since there are affected areas not connected with *Phytophthora*. The soil was proved to be an important factor affecting the disease. The purpose of this article was to study soil chemical properties related to *A. chilensis* disease. Four sampling sites with *A. chilensis* dense forests developed on different types of soils were selected in the 16 de Octubre Valley (Chubut province, Argentine). In each of them, pairs of plots that differed in disease symptoms were established. Each pair included a plot with an advanced degree of disease (diseased plot) and another that did not exhibit symptoms (asymptomatic plot). Eight plots were included in the control forests, where the disease was totally absent. In each plot, a soil sample from the A horizon was collected for chemical analyses. This study showed high soil chemical fertility in all the forest soils, with high contents of organic matter, nitrogen, exchangeable cations and high cation exchange capacity. Differences between diseased forests and control forests were found for the following properties: sum of bases, base saturation, calcium, pH NaF and phosphorus. These differences could be associated with the drainage conditions and may also be associated to the presence of *Phytophthora*.

**Key words.** Cypress, chemical properties, *Phytophthora austrocedrae*.

#### RESUMEN

Los bosques de *Austrocedrus chilensis* sufren un proceso de mortalidad conocido como «mal del ciprés», cuya causa es aún discutida. Estudios previos sugieren la presencia de *Phytophthora austrocedrae* como agente causal de la mortalidad; sin embargo, el origen de la enfermedad continúa en estudio, dado que existen áreas afectadas no vinculadas con *Phytophthora*. El suelo, principalmente a través de sus características físicas y morfológicas, fue evidenciado como un factor asociado con la aparición y desarrollo de la enfermedad. En este trabajo, se evaluó la fertilidad química del suelo en relación al «mal del ciprés». Se seleccionaron cuatro sectores ubicados en el Valle «16 de Octubre» de la provincia del Chubut correspondientes a bosques puros y densos de *A. chilensis*. En cada sector se instalaron parcelas en áreas del bosque con síntomas severos de la enfermedad y en áreas sin síntomas. A su vez se incorporaron al estudio ocho parcelas control, ubicadas en bosques completamente sanos. Se tomaron muestras del horizonte A y se caracterizaron las propiedades químicas del suelo. No se encontraron deficiencias nutricionales y se observó un buen estado nutricional en todos los suelos analizados, aún en los bosques afectados, reflejándose en valores adecuados de materia orgánica, nitrógeno, bases y capacidad de intercambio catiónico. Se manifestaron diferencias entre los suelos bajo bosque afectado y suelos bajo bosques control en los contenidos de suma de bases, saturación de bases, calcio, pH NaF y fósforo. Estas diferencias podrían estar asociadas tanto a las condiciones de drenaje como a la presencia de *Phytophthora*.

**Palabras clave.** *Austrocedrus chilensis*, propiedades químicas, *Phytophthora austrocedrae*.

1 Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB) Ruta 259 km 4, (9200) Esquel, Chubut – Argentina;

2 Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP);

3 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Autor para correspondencia: [dmorales@ciefap.org.ar](mailto:dmorales@ciefap.org.ar)

## INTRODUCCIÓN

Una extensa área de distribución de los bosques de *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Sern & Bizarri, es afectada por un fenómeno de mortalidad masiva conocido como «mal del ciprés». La primera manifestación de esta mortalidad fue registrada en Isla Victoria (Neuquén) en 1948 (Varsavsky *et al.*, 1975). La sintomatología del «mal del ciprés» se caracteriza por un marchitamiento, amarillamiento progresivo de las hojas y defoliación (Havrylenko *et al.*, 1989), disminución del crecimiento radial (Calí, 1996), pudrición intensa de las raíces principales y del bajo fuste y finalmente la muerte del árbol en pie (Varsavsky *et al.*, 1975; Havrylenko *et al.*, 1989; Rajchenberg & Cwielong, 1993; Barroetaveña & Rajchenberg, 1996).

Recientemente, y basándose en técnicas moleculares, se ha podido determinar el agente patógeno responsable del «mal del ciprés». La causa biótica de la enfermedad es una especie del género *Phytophthora* (*Phytophthora austrocedrae* Gresl. & EM. Hansen), recientemente descrita (Greslebin & Hansen, 2007; Greslebin *et al.*, 2007). Esta especie produce la muerte de los tejidos activos de las raíces, del cuello y del bajo fuste (Greslebin & Hansen, 2007). Sin embargo la causa del mal del ciprés aún continúa en discusión, dado que existen áreas con mortalidad, pero sin afección de raíces, en las cuales no se detecta la presencia de *P. austrocedrae* (Greslebin & Hansen, 2010). Existen otras teorías sobre la etiología del «mal del ciprés», una de ellas sugiere que la mortalidad de *A. chilensis* podría ser una consecuencia de la susceptibilidad a la cavitación (El Mujtar, 2009). Por otra parte, en Chile se ha detectado la presencia del áfido *Cinara cupressi* asociado a la mortalidad de *A. chilensis* (Baldini *et al.*, 2008).

Estudios en relación al «mal del ciprés» han demostrado que existe una correlación entre la presencia de la enfermedad y características del suelo relacionadas con un drenaje impedido, tanto a nivel de micrositio como de paisaje (La Manna & Rajchenberg, 2004a,b, La Manna *et al.*, 2008). Los medios saturados de humedad son propicios para la dispersión de las especies de *Phytophthora*, por lo que es común encontrarlas en suelos pobremente drenados (Agrios, 1996). En bosques de roble (*Quercus* spp.) se observó que el incremento de la ocurrencia de *P. cinnamomi* (Rands), puede ser contribuida por el tipo de suelo, topografía y otros factores del sitio asociados con el drenaje (Moreira & Martins, 2005). A su

vez existen especies de *Phytophthora* bien adaptadas a condiciones de sequía estacional, que se desarrollan en suelos donde la napa freática fluctúa periódicamente (Jung *et al.*, 1999), siendo una situación frecuente en los suelos donde habita *A. chilensis* (La Manna, 2005).

Los suelos de la Región Andino Patagónica donde se desarrolla *A. chilensis* varían de acuerdo a un gradiente de precipitación decreciente en sentido oeste-este. El sector de mayores precipitaciones hacia el oeste, está constituido por suelos perteneciente al orden Andisols. En esta zona, los suelos se caracterizan por la presencia de alófono, arcilla amorfa que presenta una gran capacidad de retención hídrica por su alta porosidad y baja densidad aparente (Irisarri & Mendia, 1997). En los suelos sometidos a un ligero desecamiento, ubicados más al este que los anteriores, las sustancias amorfas tienden a organizarse y aparecen formando minerales de arcilla tipo imogolita. Estos suelos retienen menos cantidad de agua que los alofánicos pero más que aquellos con minerales secundarios de naturaleza cristalina (Colmet Daage *et al.*, 1988).

Los suelos desarrollados sobre ceniza volcánica presentan una alta fertilidad química y un elevado potencial de uso forestal (Irisarri *et al.*, 1995) debido a que se caracterizan por una alta capacidad de amortiguamiento del pH, estabilización de la materia orgánica y almacenamiento de agua y nutrientes. Estudios previos evidenciaron diferencias en las propiedades químicas del suelo en bosques de *A. chilensis* asociadas al material original, la granulometría y las condiciones de precipitación (Morales *et al.*, 2010).

La influencia de la fertilidad química del suelo en el desarrollo de enfermedades ha sido escasamente estudiada en la región. Las deficiencias o excesos de nutrientes pueden favorecer la aparición de enfermedades forestales, dado que afectan el metabolismo y limitan la formación de los mecanismos de defensa naturales de la planta, promoviendo el ataque de ciertos patógenos (Agrios, 1996). En otras partes del mundo, distintos estudios evidenciaron fenómenos de mortalidad forestal asociados a deficiencias nutricionales (Gerrish *et al.*, 1988; Demchik & Sharpe, 2000).

Dada la ausencia de información al respecto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la fertilidad química de los suelos en bosques afectados por «mal del ciprés» bajo el supuesto de que los niveles nutricionales podrían estar relacionados con la ocurrencia de la enfermedad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se centró en el «Valle 16 de Octubre», provincia de Chubut, Argentina, ubicado entre el límite con Chile al oeste y la localidad de Trevelin al este. Se seleccionaron cuatro sectores, correspondientes a bosques puros y densos de *A. chilensis* afectados por «mal del ciprés» (Fig. 1, sectores 1 a 4). Los sectores estudiados coinciden con sitios donde anteriormente se realizaron relevamientos patológicos, estando la mortalidad de *A. chilensis* asociada a *P. austrocedrae* (Greslebin *et al.*, 2007). Los sectores se ubicaron en un gradiente de precipitación, abarcando un rango desde 690 mm hasta 1.200 mm, e incluyeron distintas condiciones geomorfológicas (Rabassa *et al.*, 2000) y suelos desarrollados sobre distintos materiales originarios con dominancia de materiales volcánicos (La Manna, 2005) (Tabla 1).

En cada sector afectado se seleccionaron tres pares de parcelas de 200 m<sup>2</sup>. Cada par incluyó una parcela en un área del bosque con síntomas severos de la enfermedad (parcela afectada) y otra adyacente en un área del bosque sin síntomas aéreos y sin lesiones en los tejidos activos de las raíces, lo cual indica la ausencia de *Phytophthora* (parcela asintomática) (Greslebin & Hansen, 2007). Las parcelas afectadas manifestaban un grado muy avanzado de la enfermedad, con más del 90% de sus árboles muertos. La ubicación de las parcelas se realizó bajo el criterio de que presenten una estructura de bosque similar y que el distanciamiento entre ellas no fuera superior a 50 m.

A su vez, se incorporaron al estudio ocho rodales donde la enfermedad estuvo completamente ausente, es decir rodales

que no presentaban árboles afectados (Fig. 1, sectores 0). En cada rodal control se instaló una parcela en un área representativa de la estructura del bosque.

En cada parcela incluida en el estudio se tomaron muestras compuestas del horizonte A mediante un muestreo sistemático (Roberts & Henry, 2000), las cuales fueron secadas al aire y tamizadas por malla de 2 mm. La profundidad del horizonte A varió entre 8 y 35 cm. Para la caracterización de las propiedades químicas se realizaron las siguientes determinaciones analíticas: pH en agua (1:1), pH en fluoruro de sodio (NaF) (1:50) (Fieldes & Perrot, 1966), materia orgánica (MO) por el método de ignición (Davies, 1974), nitrógeno total (N) (método Kjeldahl, Bremner, 1960), fósforo extractable (P extractable) (Bray & Kurtz, 1945), azufre disponible (S) (Bardsley & Lancaster, 1965), bases de intercambio: calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na) (Schollenber & Simon, 1945) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Richter *et al.*, 1982). El pH NaF es un indicador de la presencia de alófono (Irisarri, 2000).

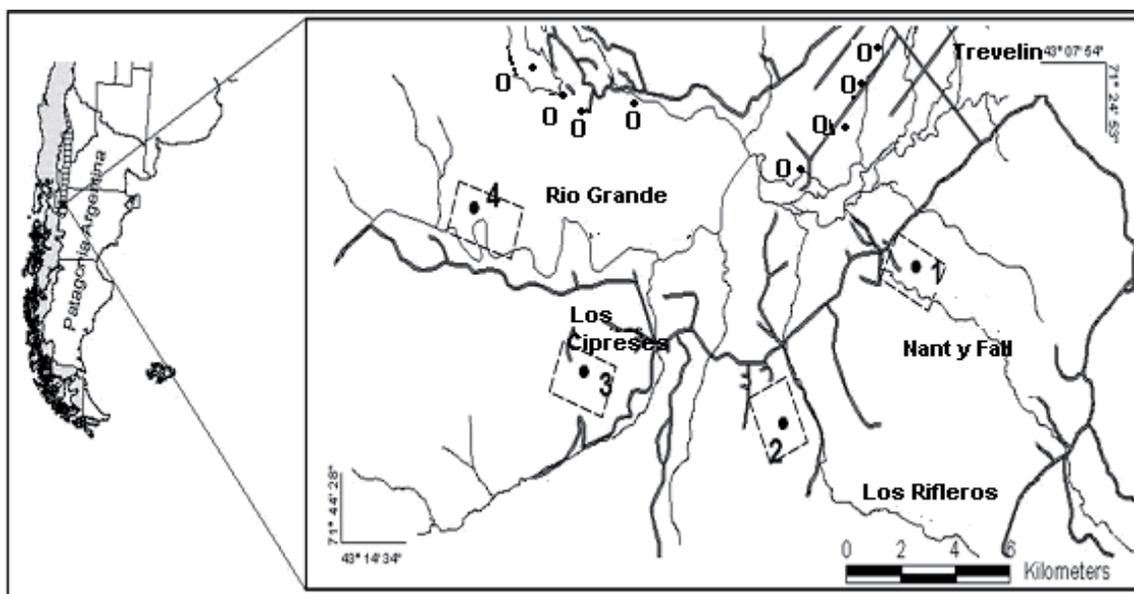
Las variables químicas del suelo fueron comparadas entre parcelas afectadas y asintomáticas, teniendo en cuenta que cada sector corresponde a un determinado material original del suelo. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) con diseño en bloques balanceado (Ramsey & Shaffer, 1997; Steel *et al.*, 1997), considerando cada sector como un bloque.

Los supuestos del ANOVA fueron evaluados con las pruebas de Levene y Kolmogorov Smirnov (Steel *et al.*, 1997). Aque-

Tabla 1. Características climáticas, geomórficas y edáficas de los sectores de muestreo.  
Table 1. Climatic, geomorphic and edaphic features of the samplings sites.

Sector	Material originario	Precipitación (mm)	Geomorfología	Textura (Hz A)	Clasificación de suelos
Área control	Ceniza volcánica	633-1.100	Montaña	Franco limosa a Arena franca	Vitric Hapludands Humic Udivitrands Humic Udivitrands
Nant y Fall	Depósito glacialfluvial	690	Depósitos glacialfluviales	Franco arcillosa	Endoaquert Vertic Endoaquoll Aquic Hapludoll
Los Rifleros	Ceniza volcánica sobre depósito glacialfluvial	888	Depósitos glacialfluviales	Franca	Tipic Hapludoll Tipic Vitraquand Andic Argiudoll Aquic Udivitrands Andic Hapludoll Aquic Hapludand Andic Hapludoll
Los Cipreses	Ceniza volcánica sobre andesita	1.105	Montaña	Franco arenosa	Aquic Hapludoll Lithic Udivitrands Humic Udivitrands Humic Udivitrands
Río Grande	Depósito aluvial con aporte de ceniza volcánica	1.200	Planicie de inundación y Montaña	Franca limosa	Aquic Hapludand Andic Hapludoll Aquandic Endoaquoll Fluvic Hapludoll

\*Extraída y modificada de La Manna y Rajchenberg (2004b).



\*Extraída y modificada de La Manna y Rajchenberg (2004b)

Figura 1. Ubicación de los sectores de muestreo. Referencias: 0= Control 1= Nant y Fall, 2= Los Rifleros, 3= Los Cipreses, 4= Río Grande.  
Figure 1. Location of sampling sites. References: 0= Control 1= Nant y Fall, 2= Los Rifleros, 3= Los Cipreses, 4= Río Grande.

las variables que no cumplieron los supuestos del ANOVA, fueron analizadas mediante la prueba no paramétrica de Freedman, utilizando los valores medios de cada bloque (Ramsey & Shaffer, 1997).

Por otra parte, a fin de evaluar la fertilidad química respecto a los rodales control, se compararon las propiedades químicas entre parcelas afectadas y parcelas control, independientemente de los sectores de muestreo. Para cada variable se realizó un análisis de ANOVA de un factor o prueba no paramétrica de Mann-Whitney, de acuerdo a si cumplía o no con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

El análisis de los datos se llevó a cabo mediante el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) para Windows versión 11.5.

## RESULTADOS

Todos los suelos analizados en bosques de *A. chilensis* del área de estudio presentaron una buena fertilidad química, con valores medios de MO, N, Mg, Ca y una alta CIC en el horizonte superficial. No se detectaron problemas de deficiencia ni de toxicidad de nutrientes, de acuerdo a los valores de referencia utilizados en la región por el Laboratorio de Suelos CIEFAP-UNPSJB. No se evi-

denciaron diferencias significativas entre las parcelas afectadas y las parcelas asintomáticas de un mismo sector de muestreo para ninguna de las variables químicas analizadas (Tabla 2).

Sin embargo, cuando se realizó el análisis de comparación de medias de las variables químicas entre las parcelas afectadas y las parcelas control, se observaron diferencias significativas en los valores de suma de bases, saturación de bases, Ca, P y pH NaF. Los valores de K, Na, Mg, CIC, MO, N, relación carbono/nitrógeno (C/N), S y pH actual, no mostraron diferencias significativas con las parcelas control (Fig. 2). Resultados similares se encontraron al considerar la disponibilidad de nutrientes por ha, teniendo en cuenta las distintas profundidades de los horizontes A muestreados (Tabla 3).

Las principales diferencias se hallaron en aquellas variables químicas vinculadas con el drenaje. Los máximos valores de suma de bases y saturación de bases se encontraron en las parcelas afectadas. La suma de bases de intercambio varió en un rango desde 14,71 hasta 37,7  $\text{cmol } \text{kg}^{-1}$  en los suelos de las parcelas afectadas y entre 10,6 y 21,9  $\text{cmol } \text{kg}^{-1}$  en los suelos de las parcelas control (Fig. 2a). Los valores medios de saturación de bases fueron del 14,6% en las parcelas afectadas y del 9,6% en

Tabla 2. Valor promedio (error estándar) de las propiedades químicas del horizonte A según el estado sanitario en bosques de *A. chilensis*. Valores de referencia: ■ bajo, ■ medio, ■ alto, de acuerdo a los parámetros utilizados para suelos de la región (Laboratorio de Suelos, CIEFAP– UNPSJB).

Table 2. Mean and standard errors of chemical soil properties of the A horizon in *A. chilensis* forests. References: ■ low, ■ medium, ■ high, according to reference values for the Patagonian Andean Region (Soil Laboratory, CIEFAP– UNPSJB).

Sanidad	pH	pH NaF	M.O (%)	C/N	N (%)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	Cá (mg kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	K (mg kg <sup>-1</sup> )	S (mg kg <sup>-1</sup> )	Na (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	CIC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Suma Bases (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Saturación Bases (%)	
	actual														
Nant y Fall	Asintomática	6,40 <sup>NS</sup> (0,38)	8,36 <sup>NS</sup> (0,20)	15,60 <sup>NS</sup> (1,16)	33,51 <sup>NS</sup> (10,34)	0,29 <sup>NS</sup> (0,09)	15,20 <sup>NS</sup> (6,32)	1640 <sup>NS</sup> (117,19)	520 <sup>NS</sup> (74,08)	2019 <sup>NS</sup> (34,06)	65,71 <sup>NS</sup> (29,66)	0,87 <sup>NS</sup> (0,04)	22016 <sup>NS</sup> (37,09)	33,60 <sup>NS</sup> (2,90)	16,57 <sup>NS</sup> (3,92)
	Sintomática	6,74 <sup>NS</sup> (0,37)	8,73 <sup>NS</sup> (0,33)	17,47 <sup>NS</sup> (1,10)	20,65 <sup>NS</sup> (2,99)	0,48 <sup>NS</sup> (0,09)	21 <sup>NS</sup> (4,51)	2140 <sup>NS</sup> (386,26)	363 <sup>NS</sup> (53,23)	2298 <sup>NS</sup> (1,35)	86,96 <sup>NS</sup> (37,18)	0,98 <sup>NS</sup> (0,05)	16833 <sup>NS</sup> (29,25)	37 <sup>NS</sup> (4,96)	23,88 <sup>NS</sup> (6,35)
Los Rñeros	Asintomática	5,87 <sup>NS</sup> (0,10)	9,82 <sup>NS</sup> (0,59)	16,58 <sup>NS</sup> (2,09)	17,91 <sup>NS</sup> (4,48)	0,54 <sup>NS</sup> (0,18)	6,84 <sup>NS</sup> (2,91)	1353,33 <sup>NS</sup> (40,55)	343 <sup>NS</sup> (24,98)	86,30 <sup>NS</sup> (33,87)	116,57 <sup>NS</sup> (7,27)	0,95 <sup>NS</sup> (0,07)	18254 <sup>NS</sup> (25,74)	25,71 <sup>NS</sup> (0,57)	14,74 <sup>NS</sup> (2,34)
	Sintomática	6,01 <sup>NS</sup> (0,10)	9,67 <sup>NS</sup> (0,60)	15,95 <sup>NS</sup> (2,70)	20,89 <sup>NS</sup> (1,26)	0,38 <sup>NS</sup> (0,07)	9,54 <sup>NS</sup> (2,98)	1356,67 <sup>NS</sup> (158,99)	344 <sup>NS</sup> (52,92)	98,48 <sup>NS</sup> (7,19)	114,94 <sup>NS</sup> (6,15)	0,83 <sup>NS</sup> (0,01)	15219 <sup>NS</sup> (18,76)	25,64 <sup>NS</sup> (1,62)	17,08 <sup>NS</sup> (0,97)
Los Cipreses	Asintomática	6,23 <sup>NS</sup> (0,12)	10,21 <sup>NS</sup> (0,17)	11,87 <sup>NS</sup> (3,55)	18,74 <sup>NS</sup> (2,59)	0,46 <sup>NS</sup> (0,13)	9,33 <sup>NS</sup> (3,84)	976,67 <sup>NS</sup> (93,87)	222 <sup>NS</sup> (35,55)	73,54 <sup>NS</sup> (32,86)	105,02 <sup>NS</sup> (24,71)	0,49 <sup>NS</sup> (0,01)	16472 <sup>NS</sup> (24,75)	17,88 <sup>NS</sup> (1,60)	11,07 <sup>NS</sup> (0,81)
	Sintomática	5,82 <sup>NS</sup> (0,18)	10,09 <sup>NS</sup> (0,49)	15,38 <sup>NS</sup> (5,96)	22,47 <sup>NS</sup> (2,11)	0,37 <sup>NS</sup> (0,18)	4,61 <sup>NS</sup> (2,07)	1200 <sup>NS</sup> (419,05)	257 <sup>NS</sup> (56,11)	129,23 <sup>NS</sup> (35,12)	117,34 <sup>NS</sup> (19,48)	0,57 <sup>NS</sup> (0,12)	11421 <sup>NS</sup> (7,51)	21,68 <sup>NS</sup> (5,90)	18,94 <sup>NS</sup> (4,83)
Río Grande	Asintomática	5,87 <sup>NS</sup> (0,16)	9,45 <sup>NS</sup> (0,72)	14,32 <sup>NS</sup> (3,72)	16,63 <sup>NS</sup> (1,04)	0,55 <sup>NS</sup> (0,17)	7,00 <sup>NS</sup> (1,44)	1380 <sup>NS</sup> (166,53)	301 <sup>NS</sup> (42,14)	149,78 <sup>NS</sup> (38,86)	90,74 <sup>NS</sup> (15,34)	0,72 <sup>NS</sup> (0,10)	16208 <sup>NS</sup> (27,32)	25,26 <sup>NS</sup> (3,26)	15,85 <sup>NS</sup> (1,33)
	Sintomática	5,71 <sup>NS</sup> (0,10)	10,47 <sup>NS</sup> (0,24)	21,31 <sup>NS</sup> (3,12)	23,43 <sup>NS</sup> (4,63)	0,48 <sup>NS</sup> (0,05)	2,19 <sup>NS</sup> (0,54)	1260 <sup>NS</sup> (33,126)	284 <sup>NS</sup> (46,13)	75,95 <sup>NS</sup> (18,02)	108,97 <sup>NS</sup> (3,77)	0,68 <sup>NS</sup> (0,12)	22034 <sup>NS</sup> (32,30)	22,87 <sup>NS</sup> (5,30)	10,62 <sup>NS</sup> (2,72)

\*NS: no significativo (p > 0,05)

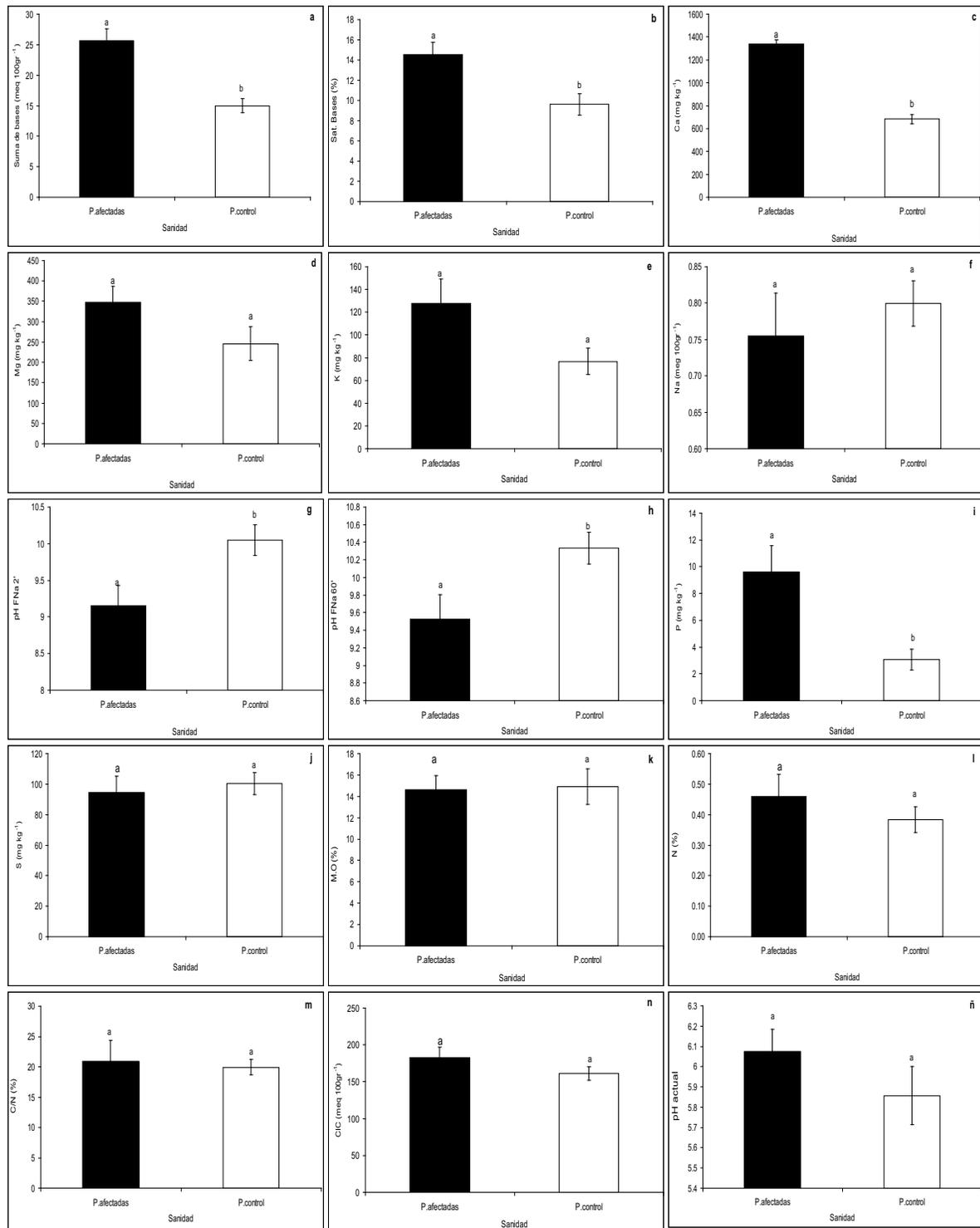


Figura 2. Valores medios  $\pm$  1 error estándar de las variables químicas del horizonte A según el estado sanitario (parcelas afectadas/parcelas control) en bosques de *Austrocedrus chilensis*. Letras distintas indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). S %, Ca, Mg, Na, P, S, MO, CIC, y pH actual fueron evaluadas mediante métodos paramétricos.

Figure 2. Mean and standard error of chemical soil properties of the A horizon in *A. chilensis* forests. Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

las parcelas control (Fig. 2b). El contenido de Ca fue la única base que difirió significativamente siendo mayor en las parcelas afectadas por el «mal del ciprés» que en las parcelas control. Los horizontes superficiales de las parcelas afectadas presentaron niveles medios de Ca, según los valores de referencia de la región, con un promedio de  $1.338 \text{ mg kg}^{-1}$ ; mientras que en los suelos de las parcelas control las concentraciones fueron bajas, con un promedio de  $682 \text{ mg kg}^{-1}$  (Fig. 2c). En lo que respecta a las demás bases, si bien no se observaron diferencias significativas entre los suelos de las parcelas afectadas y los suelos de las parcelas control, las concentraciones de Mg (Fig. 2d) y K (Fig. 2e) tendieron a ser mayores en los suelos de las parcelas afectadas. Los valores de Na fueron muy bajos en todos los suelos, de manera que no se manifestaron problemas de sodicidad (Fig. 2f).

El pH NaF, indicador de la presencia de alófono, resultó diferente en función de la sanidad de las parcelas. En los suelos bajo bosques afectados el grado de alofanización fue variable, evidenciándose desde suelos sin materiales amorfos ( $\text{pH NaF} < 9,2$ ; Irisarri, 2000) hasta suelos alofanizados ( $\text{pH NaF } 2' \text{ y } 60' > 9,2$ ) (Fig. 2g y Fig. 2h). Mientras que en los suelos desarrollados bajo parcelas control, los valores registrados sugirieron la presencia de alófono, siendo mayores a 9,2 unidades en todos los casos (Irisarri, 2000) (Fig. 2g y Fig. 2h).

Si bien los contenidos de P extractable fueron bajos en las parcelas afectadas y en las parcelas control, los suelos de las parcelas afectadas tendieron a presentar mayores contenidos de P extractable. Se obtuvieron valores que fluctuaron entre  $1 \text{ y } 27,3 \text{ mg kg}^{-1}$  en las parcelas afectadas y entre  $1 \text{ y } 6,3 \text{ mg kg}^{-1}$  en las parcelas control (Fig. 2i). Los valores de S también fueron bajos en las parcelas afectadas y en las parcelas control, sin presentar diferencias significativas entre ellas (Fig. 2j).

Los suelos de las parcelas afectadas y las parcelas control presentaron contenidos medios de MO (Fig. 2k) y altos de N (Fig. 2l). La relación C/N no presentó variaciones entre los suelos de las parcelas control y afectadas, con un promedio de 19,9 y 20,9, respectivamente (Fig. 2m).

La CIC resultó alta tanto en los suelos de las parcelas afectadas como en los suelos de las parcelas control, alcanzando valores medios de  $182 \text{ cmol } \text{kg}^{-1}$  y de  $161 \text{ cmol } \text{kg}^{-1}$ , respectivamente (Fig. 2n).

Los valores de pH actual fueron medianamente ácidos a ligeramente ácidos en las parcelas control y me-

dianamente ácidos a ligeramente alcalinos en las parcelas afectadas (Fig. 2ñ).

## DISCUSIÓN

En este estudio, no se evidenciaron diferencias en las propiedades químicas del suelo entre las parcelas afectadas por el «mal del ciprés» y las parcelas asintomáticas de un mismo bosque, ubicadas ambas a escasa distancia entre sí. Tampoco se encontraron valores extremos de nutrientes; aún en las parcelas afectadas existieron niveles adecuados de los distintos nutrientes evaluados como MO, N, Ca y Mg por lo que se podría indicar que la mortalidad de estos bosques no está relacionada con una deficiencia o exceso de nutrientes.

A pesar de que estudios a nivel de micrositio evidenciaron fuertes diferencias en propiedades morfológicas y físicas del suelo entre áreas sintomáticas y asintomáticas de un mismo bosque (La Manna & Rajchenberg, 2004b), estas diferencias no se reflejaron en las propiedades químicas del horizonte A. Sin embargo, existieron algunas diferencias en las variables asociadas al drenaje respecto a las parcelas control, donde la enfermedad estuvo completamente ausente. Se detectaron diferencias en los contenidos de suma de bases, saturación de bases, Ca, pH NaF y P extractable entre los suelos bajo parcelas afectadas y los suelos bajo parcelas control.

La suma de bases y saturación de bases fueron mayores en los suelos de bosques afectados por «mal del ciprés», lo cual estaría relacionado con la limitación de la lixiviación de las bases como consecuencia de un drenaje deficiente. En general, las concentraciones de bases tendieron a ser mayores en los suelos de las parcelas afectadas, el Ca fue el único que difirió significativamente de las parcelas control. Diversos estudios indican una asociación entre enfermedades producidas por *Phytophthora* y la concentración de Ca en el suelo. En Europa central demostraron que los suelos sobre los que se desarrollan bosques de roble infectados por *Phytophthora* presentan mayores valores de Ca que aquellos suelos libres de la enfermedad (Jung *et al.*, 2000). Asimismo, Simpfendorfer & Harden (2000) identificaron una relación entre la concentración de Ca y *Phytophthora clandestina* Taylor, Pascoe & Greenhalgh. El calcio es esencial para su reproducción asexual y para el proceso de infección (Ribeiro, 1983). La concentración óptima de Ca reque-

Tabla 3. Valor promedio de nutrientes del horizonte A en bosques de *A. chilensis*. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Table 3. Mean chemical soil properties of the A horizon in *A. chilensis* forests. Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

Variables químicas	Área control	Área afectada	Nivel de significancia
Materia orgánica (kg/ha)	202.838,29a	221.979,65a	0,725
Nitrógeno (kg/ha)	5.209,06a	7.306,84a	0,260
Fósforo (kg/ha)	4,15a	13,68b	0,047
Azufre (kg/ha)	100,43a	92,09a	0,688
Calcio (kg/ha)	2.320,50a	4.666,92b	0,004
Potasio (kg/ha)	104,35a	154,12a	0,238
Magnesio (kg/ha)	871,25a	1.265,34a	0,095
Sodio (kg/ha)	250,11a	241,52a	0,823

rido por *Phytophthora* para un buen crecimiento, varía en función de los ácidos orgánicos que se encuentran en el medio, dado que el Ca actúa contrarrestando el efecto perjudicial de los ácidos orgánicos sobre *Phytophthora* (Hohl, 1983). Sin embargo, en estos suelos se debería realizar una evaluación más precisa del rol que juega este elemento en *Phytophthora austrocedrae*.

En todos los suelos analizados de las parcelas control se detectó la presencia de alófono. Su formación se relaciona tanto con las altas precipitaciones como con un buen drenaje. Los suelos alofanizados presentan una buena aireación, retención de agua y permeabilidad (Irisarri & Mendia, 1997). Los suelos alofanizados resultarían entonces un ambiente desfavorable para el género *Phytophthora*, ya que el medio ideal para la formación de esporangios y zoosporas requeridas para su crecimiento, reproducción y diseminación, son los suelos con poca aireación y que se encuentran saturados con agua (Erwin & Ribeiro, 1996).

La concentración de P extractable fue mayor en los suelos de las parcelas afectadas que en los suelos de las parcelas control, probablemente debido a que en los suelos de las parcelas afectadas no siempre se observó la presencia de alófono. En cambio, los suelos desarrollados bajo las parcelas control siempre manifestaron la presencia de ceniza y alófono que favorecen la retención de este nutriente (Wada, 1985).

La acumulación de MO es una característica de los suelos con deficiencias de drenaje debido a que las condiciones de anoxia generan una menor tasa de transformación y mineralización de la materia orgánica (Kononova, 1982). Se ha demostrado que en los sectores donde el

«mal del ciprés» está presente se observan mayores contenidos de MO en profundidad respecto a los sectores asintomáticos (La Manna & Rajchenberg, 2004b). Sin embargo, estas diferencias en los contenidos de MO, no se reflejaron en los horizontes superficiales analizados en este estudio. Tanto los suelos de las parcelas afectadas como los de las parcelas control, estuvieron bien provistos de MO y N.

Por otra parte, no se presentaron valores extremos de acidez o alcalinidad de pH actual, el cual influye en la tasa de liberación de nutrientes, en la solubilidad de los materiales del suelo y en la cantidad de iones nutritivos almacenados en los sitios de intercambio catiónico (Thompson & Troeh, 1988).

## CONCLUSIONES

En ninguna de las situaciones analizadas se encontraron deficiencias nutricionales. Aún en los suelos de las parcelas afectadas se observó una buena fertilidad química, reflejándose en valores adecuados de MO, N, bases y CIC.

No obstante, en los suelos de los bosques control y los suelos bajo bosques afectados se manifestaron diferencias asociadas a las condiciones de drenaje. Una de las más notable fueron los valores de Ca que fueron significativamente más altos en los suelos de las parcelas afectadas. Si bien estaría asociado a las deficiencias de drenaje, también podría estar relacionado con la presencia de *Phytophthora*.

Este estudio constituye una primera aproximación a esta temática. Estudios futuros deberían evaluar el de-

sarrollo de *P. austrocedrae* bajo condiciones controladas de niveles de Ca e identificar la relación entre la presencia de ataques de *P. austrocedrae* y los niveles de Ca del suelo en un área amplia de muestreo.

#### AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la Ing. Agr. MV Alonso por su guía y asistencia en el Laboratorio de Suelos CIEFAP-UNPSJB. Este trabajo fue financiado mediante el subsidio N° 1022 de la UNPSJB (Director: Dr. M Rajchenberg).

#### BIBLIOGRAFÍA

- Agrios, G. 1996. Fitopatología, 2<sup>da</sup> Ed. México, D.F. Grupo Noriega Editores. 838 p.
- Baldini, A; J Oltremari & A Holmgren. 2008. Efecto de *Cinara cupressi* (Hemiptera: Aphididae) sobre el ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) después de aplicar control químico. *Ciencia e Investigación Agraria* 35(3): 341-250.
- Bardsley, C & J Lancaster. 1965. Sulphur. In: Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. Inc. Publisher. 1102-1116 p.
- Barroetaveña, C & M Rajchenberg. 1996. Hongos *Aphyllorphorales* (Basidiomycetes) que causan pudriciones en *Austrocedrus chilensis* en pie. *Boletín Sociedad Argentina de Botánica* 31: 201-206.
- Bray, R & L Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Bremner, J. 1960. Determination of Nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *J. Agr. Sci.* 55: 1-23.
- Calí, S. 1996. *Austrocedrus chilensis*: estudio de los anillos de crecimiento y su relación con la dinámica del «Mal del Ciprés» en el P.N. Nahuel Huapi, Argentina. Tesis de Licenciatura en Ciencias Biológicas. Bariloche, Argentina. Universidad Nacional del Comahue. 143 p.
- Colmet Daage, F; A Marcolini; C López; M Lanciotti; J Ayesa et al. 1988. Características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la cordillera y precordillera del Norte de la Patagonia. Bariloche. Convenio INTA-ORSTOM. S.C. de Bariloche, Río Negro. 167 p.
- Davies, B. 1974. Loss-on ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Sci. Proc.* 38, 150 p.
- Demchik, M & W Sharpe. 2000. The effect of soil nutrition, soil acidity and drought on northern red oak (*Quercus rubra* L.) growth and nutrition on Pennsylvania sites with high and low red oak mortality. *Forest Ecology and Management* 136: 199-207.
- El Mujtar, V. 2009. Análisis integrado de factores genéticos, bióticos y abióticos para la formulación de una nueva hipótesis sobre la etiología del «mal del ciprés». Tesis doctoral, Universidad Nacional de la Plata. La Plata. 133p.
- Erwin, D & O Ribeiro. 1996. *Phytophthora* Diseases World-Wide. St. Paul, Minnesota, USA: APS Press. 42-95p.
- Fieldes, M & K Perrot. 1966. The nature of allophane in soils. III. Rapid field and laboratory test for allophane. *New Zealand J. Sci.* 9: 623-629.
- Gerrish G, D Mueller-Dombois & K Bridges. 1988 Nutrient Limitation and Metrosideros Forest Dieback in Hawaii. *Ecological Society of America* Vol. 69, No. 3 (Jun., 1988), pp. 723-727.
- Greslebin, A & E Hansen. 2007. La causa del «mal del ciprés». *Patagonia Forestal* 13(1): 5-8.
- Greslebin, A & E Hansen. 2010. Pathogenicity of *Phytophthora austrocedrae* on *Austrocedrus chilensis* and its relation with «Mal del Ciprés» in Patagonia. *Plant Path.* 59(4): 604-612.
- Greslebin, A; E Hansen & W Sutton. 2007. *Phytophthora austrocedrae* sp. nov., a new species associated with *Austrocedrus chilensis* mortality in Patagonia (Argentina). *Mycological Research* 11(3): 308-316.
- Havrylenko, M; P Rosso & S Fontela. 1989. *Austrocedrus chilensis*: contribución al estudio de su mortalidad en Argentina. *Bosque* 10(1 y 2): 29-36.
- Hohl, H. 1983. Nutrition of *Phytophthora*. In: Erwin DC, Bartnicki-García S, Tsao PH, eds. *Phytophthora*. Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology. St. Paul, Minnesota, USA: American Phytopathological Society. 41-54.
- 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.
- Irisarri, J & J Mendía. 1997. Relaciones suelo-paisaje en la evaluación de la potencialidad forestal de la Región Central Andino Patagónica, Argentina. *Bosque* 18(1): 21-30.
- Irisarri, J; J Mendía; C Roca; C Buduba; M Valenzuela et al., 1995. Zonificación de las tierras para la aptitud forestal de la Provincia del Chubut. Dirección General de Bosques y Parques de la Provincia del Chubut. Chubut. Formato digital.
- Jung, T; D Cooke; H Blaschke; J Duncan & W Oâwald. 1999. *Phytophthora quercina* sp. nov., causing root rot of European oaks. *Mycological Research* 103: 785-798.
- Jung, T; H Blaschke & W Oâwald. 2000. Involvement of soil-borne *Phytophthora* species in Central European oak decline and the effect of site factors on the disease. *Plant Pathology* 49: 706-718.
- Kononova, M. 1982. Materia orgánica del suelo. Su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Barcelona, España. Oikostau ediciones. 365p.

- 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.
- La Manna, L & M Rajchenberg. 2004a. The decline of *Austrocedrus chilensis* forests in Patagonia, Argentina: soil features as predisposing factors. *Forest Ecology and Management* 190: 345-357.
- La Manna, L & M Rajchenberg. 2004b. Soil properties and *Austrocedrus chilensis* decline in Central Patagonia, Argentina. *Plant and Soil* 263: 29-41.
- La Manna, L; S Matteucci & T Kitzberger. 2008. Abiotic factors related to the incidence of *Austrocedrus chilensis* disease at a landscape scale. *Forest Ecology and Management* 256: 1087-1095.
- Morales, D; L La Manna & C Buduba. 2010. Propiedades químicas de suelos desarrollados sobre distintos materiales originales bajo bosques de *Austrocedrus chilensis*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de Cuyo* 42: 185-200.
- Moreira, A & J Martins. 2005. Influence of site factors on the impact of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak stand in Portugal. *Plant Pathology* 35: 145-162.
- Rabassa, J; O Martínez & E Getar. 2000. Geomorfología del segmento de Cordillera Patagónica y Patagonia Extrandina entre los 43° y 44° Lat. Sur, Prov. De Chubut. UNPSJB, Secyt. Informe final PI N° 215.
- Rajchenberg, M & P Cwielong. 1993. El mal del ciprés (*Austrocedrus chilensis*): su relación con las pudriciones radiculares y el sitio. Actas Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Ramsey, F & D Schafer. 1997. The Statistical Sleuth: a course in methods of data analysis. Duxbury Press, Belmont, USA. 742 p.
- Ribeiro, O. 1983. Physiology of asexual sporulation and spore germination in *Phytophthora*. In: Erwin DC, Bartnicki-Garcia S, Tsao PH, eds. *Phytophthora. Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology*. St. Paul, Minnesota, USA. American Phytopathological Society 55-70.
- Richter, M; M Conti & G Maccarini. 1982. Mejoras en la determinación de cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico en los suelos. *Rev. Fac. de Agronomía* 3(2): 145-155 p.
- Roberts, T & J Henry. 2000. El muestreo de suelos: los beneficios de un buen trabajo. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. *INPOFOS* 8: 7-10.
- Schollenber, C & R Simon. 1945. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil-ammonium acetate method. *Soil Sci.* 59: 13-25.
- Simpfendorfer, S & T Harden. 2000. Effect of calcium on the growth and virulence of *Phytophthora clandestine*. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40: 47-52.
- Steel, R; J Torrie & D Dickey. 1997. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. 3rd edition. USA. McGraw-Hill, Inc. 666p.
- Thompson, L & F Troeh. 1988. Los suelos y su fertilidad. Editorial Reverté. Barcelona, España. 649 p.
- Varsavsky, E; L Bettuci; D Rodríguez García & C Gómez. 1975. Observaciones preliminares sobre la mortalidad del ciprés (*Austrocedrus chilensis*) en los bosques patagónicos. Fundación Bariloche, publicación N° 19. 11 p.
- Wada, K. 1985. The distinctive properties of Andosols. *Advances in Soil Science* 2: 173-229.