

Variabilidad topográfica y edáfica en bosques de *Nothofagus betuloides* (Mirb) Blume, en el suroeste de Tierra del Fuego, Chile

Edaphic and topographic variability in *Nothofagus betuloides* (Mirb) Blume forests, in southwestern Tierra del Fuego, Chile

OSCAR THIERS* & VÍCTOR GERDING

Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile
*e-mail para correspondencia: othiers@uach.cl

RESUMEN

Se investigó la variabilidad de las relaciones topográficas y edáficas en sitios con presencia de *Nothofagus betuloides* y especies arbóreas asociadas en el suroeste de Tierra del Fuego. Estas relaciones se analizaron con métodos estadísticos bivariados y multivariados. Las relaciones del suelo con la topografía estarían fuertemente ligadas a características climáticas (temperatura y humedad) de los sitios. Los suelos más fértiles por su mayor profundidad y mejor drenaje, se ubicaron en terrenos de menor elevación (< 150-200 m) y pendiente (< 5 %). Los bosques puros de *N. betuloides* se desarrollan en un amplio rango topográfico, con mayor variación de suelos. Las diferentes asociaciones de *N. betuloides* con las especies *N. pumilio*, *N. antarctica* y *Drimys winteri* se presentan en ambientes particulares. *Nothofagus betuloides*-*N. pumilio* ocupa mayoritariamente sitios más favorables con suelos más fértiles. *Nothofagus betuloides*-*N. antarctica* se ubica en terrenos de mayor elevación y mayor pendiente, con suelos muy delgados. *Nothofagus betuloides*-*D. winteri* se presenta en los terrenos de menor elevación cercanos a la costa, con mayor humedad ambiental y precipitaciones, y suelos más profundos con menor drenaje interno.

Palabras clave: suelos, topografía, *Nothofagus betuloides*, *Nothofagus pumilio*, Tierra del Fuego.

ABSTRACT

We examined the topographic and edaphic variability of sites dominated by *Nothofagus betuloides* and associated tree species in southwestern Tierra del Fuego. Edaphic and topographic characteristics were analyzed using bivariate and multivariate statistical methods. The relationships between soil and topography were strongly related to climatic characteristics (temperature and humidity) of different sites. Soils with the highest degree of fertility, deep and well drained, were located at the lowest elevations (< 150-200 m) and had gentle slopes (< 5 %). Pure forests of *N. betuloides* occurred in a wide topographic range with high soil variation. The different associations of *N. betuloides*, with the species *N. pumilio*, *N. antarctica* and *Drimys winteri*, occupy more specific site conditions. *Nothofagus betuloides* - *N. pumilio* occurred mostly in the most favorable sites with fertile soils. *Nothofagus betuloides* - *N. antarctica* occurred at higher elevations, and steeper slopes, characterized by very thin soils. *Nothofagus betuloides* - *D. winteri* occurred in coastal lowlands, with greater humidity and heavier rainfall, and deep soils with limited drainage.

Key words: soils, topography, *Nothofagus betuloides*, *Nothofagus pumilio*, Tierra del Fuego.

INTRODUCCIÓN

En el parte occidental de Tierra del Fuego se desarrollan formaciones boscosas dominadas principalmente por *Nothofagus betuloides* y *N. pumilio* que alcanzan una superficie cercana a 1,7 millones de hectáreas (CONAF et al. 1999). Aquí *N. betuloides* forma parte de los tipos forestales Coigüe de Magallanes y Lengua

(Donoso 1981, CONAF 1999). Donoso (1995) señala que *N. betuloides* se asocia con *N. pumilio* más frecuentemente hacia el extremo sur de Chile (45°-55° S) y a elevaciones bajas, hasta acercarse al nivel del mar en Magallanes y en Tierra del Fuego. En esta zona, los bosques de *N. pumilio* dominan como bosques puros en condiciones más secas, hacia el Este, formando una faja estrecha entre la estepa y los

bosques de *N. betuloides*. Por otro lado, bajo condiciones más húmedas, hacia el Oeste, se desarrollan bosques dominados por *N. betuloides*, conocidos como bosques lluviosos subantárticos (Veblen et al. 1983, Arroyo et al. 1996). Estos bosques crecen en las islas y archipiélagos de la región de los canales al sur del Golfo de Penas (47° S) (Donoso 1981).

En Tierra del Fuego es posible encontrar a *N. betuloides* en diferentes condiciones de sitio (Donoso 1981), no obstante, las características climáticas son relativamente homogéneas, con escasa variación latitudinal de la temperatura (anual y estacional) y niveles importantes de precipitaciones distribuidos durante todo al año (Thiers 1997, Gerding & Thiers 2002).

Los criterios y factores considerados en la definición de los tipos forestales de Chile abarcan principalmente características macro y microclimáticas, considerando de manera general y poco documentada la características edáficas (Donoso 1981, CONAF 1999). Al respecto, Laatsch (1967)¹ efectúa una jerarquización de los factores del sitio forestal que influyen de manera determinante en la distribución de una especie. Así las características macroclimáticas, condicionan en primer lugar la distribución de especies y/o asociaciones; posteriormente operarían los factores microclimáticos y finalmente los factores edáficos. Entre estos últimos, las características físicas influyen primeramente en relación a las propiedades químicas en el desarrollo de una especie. Este modelo ha sido aplicado en diferentes formaciones vegetales, tanto plantaciones forestales como formaciones nativas (Schlatter 1994, Gerding & Schlatter 1995, Ramírez & Schlatter 1998, McKenney & Pedlar 2003). Por lo anterior, la influencia de la topografía y del suelo en la distribución de las especies nativas requiere de un estudio más acabado (Pisano 1977, Donoso 1981).

Se podría esperar que en la región de Tierra del Fuego, bajo características macroclimáticas homogéneas, las variables topografías y edáficas jugarían un rol relevante en la explicación de la variabilidad entre sitios con *N. betuloides* presentes (Thiers 1997, Gerding

& Thiers 2002). El presente trabajo contribuye al conocimiento de las relaciones existentes entre la topografía y el suelo, y su influencia en la variabilidad de sitios con presencia de *N. betuloides* y especies arbóreas asociadas en Tierra del Fuego. Debido a que *Nothofagus betuloides* se asocia con una diversidad de especies, se espera que la variabilidad edáfica y topográfica muestre diferencias entre las distintas asociaciones boscosas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características generales del área de estudio

El estudio se realizó en Tierra del Fuego, dentro del patrimonio de Forestal Trillium Limitada (300.000 ha) en los sectores Río Bueno y Río Cóndor que presentan extensas superficies con cobertura de *N. betuloides* (Donoso et al. 1995, Thiers 1997) (Fig. 1). El clima general, geomorfología, geología y topografía, así como los tipos de bosques y las características de los suelos del área fueron descritos en detalle por Gerding & Thiers (2002).

El clima en el sector de Río Bueno presenta una precipitación anual cercana a los 500 mm y una temperatura media anual de alrededor de 5 °C. En el sector de Río Cóndor el clima es levemente más húmedo, la precipitación anual alcanza a 1.000 mm y la temperatura media anual es algo superior a la del sector Río Bueno. La precipitación en ambos sectores se distribuye uniformemente a través del año (Díaz et al. 1960, Pisano 1977).

Ambos sectores se encuentran en la franja precordillera oriental de Tierra del Fuego, la cual es una zona mesetiforme atravesada por cordones montañosos de baja altura (< 1.000-1.200 m de altitud). La zona en general fue fuertemente modificada a causa de los hielos cuaternarios y fenómenos posglaciales; además se han identificado depósitos de cenizas volcánicas (Pisano 1977, Dollenz 1995, González-Ferrán 1995). La topografía muestra una gran variación, geográfica, donde los diferentes sitios estudiados abarcan desde terrenos bajos y planos hasta terrenos intermedios ondulados a quebrados (10-435 m de altitud), con rangos de pendientes frecuentes entre 0-20 %, y algunos valores que alcanzan hasta 65 % (Gerding & Thiers 2002).

¹ LAATSCH W (1967) Beziehung zwischen Standortsfaktoren, Ernährungszustand und der Wuchsleistung von Waldbeständen. Proceeding 14 th Conference International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), München, Germany: 22-35.

Los bosques de *N. betuloides* y las especies arbóreas asociadas, *N. pumilio*, *Drimys winteri* y *N. antarctica* mostraron una amplia variación en la composición de especies y estructura. Los rodales seleccionados presentaron entre 30 y 100 % del área basal por hectárea de *N. betuloides*. Se observó que el desarrollo en altura de *N. betuloides* alcanzó 25-30 m en bosque puros de la especie o en asociación con *N. pumilio*. En estos bosques las edades de los árboles alcanzaban 100 a 150 años (Donoso et al. 1995). En tanto en los bosques donde *N. betuloides* se presentaba junto con *D. winteri* y/o *N. antarctica*, su altura disminuye fuertemente (15-20 m) y las edades fueron algo menores (70-120 años). Estas diferencias de desarrollo en altura son explicadas por las condiciones de drenaje interno del suelo, el cual mejora con el aumento de la pendiente (Thiers 1997). El sector de Río Cóndor presenta mayor variación de asociaciones

boscosas con presencia de *N. betuloides* (Thiers 1997, Gerding & Thiers 2002).

Características de las variables analizadas

El reconocimiento de sitios, con énfasis en el suelo y la topografía, se realizó tanto con muestreos de puntos y en transectos, en función de la variación topográfica y vegetacional (Schlatter et al. 2003) de tal manera de abarcar las condiciones de paisaje más frecuentes en toda su diversidad. Gerding & Thiers (2002) describieron detalladamente las características topográficas y edáficas (horizontes orgánicos y minerales) del área de estudio y los métodos. Las variables edáficas y topográficas utilizadas en el análisis derivan del reconocimiento de suelo y sitios realizado por Thiers (1997) (Tabla 1). Estas variables han demostrado su utilidad en estudios sobre sus relaciones con la vegetación boscosa (Carmean 1975, Thiers 2004).

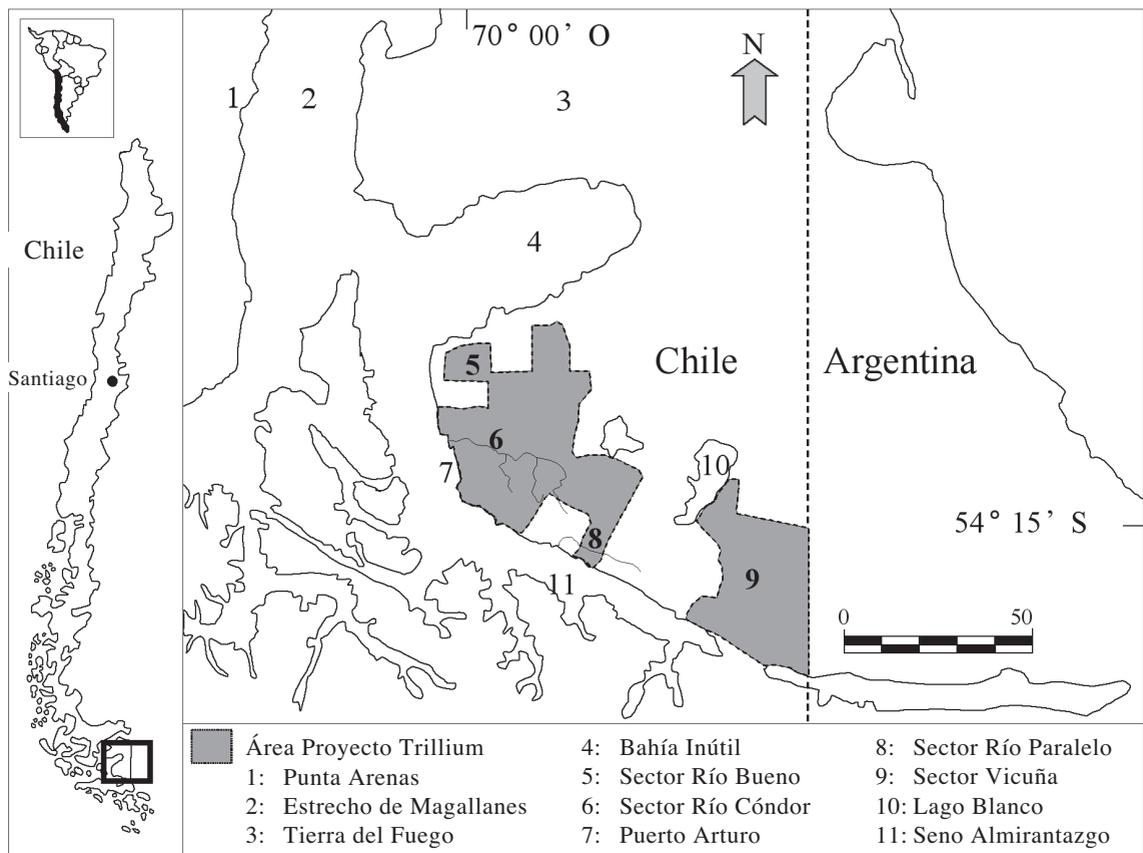


Fig. 1: Ubicación de los sectores Río Cóndor y Río Bueno en Tierra del Fuego, Chile (modificado de Arroyo et al. 1996).

Location of the areas Río Cóndor and Río Bueno in Tierra del Fuego, Chile (modified from Arroyo et al. 1996).

TABLA 1

Tipo y características de las variables de sitio (topografía y suelo) utilizadas en el análisis de correlación y multivariado*

Type and characteristics of site variables (topography and soil) used in multivariate and correlation analyses*

Variable	Unidad de medida	Tipo de variable	Valor numérico asignado
Profundidad del suelo mineral	cm	Númerica y continua	Ninguno
Espesor del mantillo	cm	Númerica y continua	Ninguno
Pendiente	%	Númerica y continua	Ninguno
Elevación	m	Númerica y continua	Ninguno
Drenaje interno	-	Nominal y discreta	Lento: 1; lento a moderado o moderado a lento: 2; moderado: 3; moderado a rápido o rápido a moderado: 4; rápido: 5
Drenaje externo	-	Nominal y discreta	Lento: 1; lento a moderado o moderado a lento: 2; moderado: 3; moderado a rápido o rápido a moderado: 4; rápido: 5
Ubicación en el relieve	-	Nominal y discreta	Cumbre: 1; ladera alta: 2; ladera media: 3; ladera baja o plano: 4; terraza: 5
Exposición del terreno	-	Nominal y discreta	Norte, noreste, noroeste: 1; este: 2; sur, sureste, suroeste: 3; oeste: 4
Forma de la ladera	-	Nominal y discreta	Recta: 1; convexa: 2; cóncava: 3; escalonada: 4
Horizonte blanco	-	Nominal y discreta	Presencia: 1; ausencia: 0.5

* Definiciones de las variables y sus categorías según Schlatter et al. (2003)

Para los análisis estadísticos se asignaron valores numéricos a las categorías (Dixit & Geevan 2002), considerando relaciones entre las variables de suelo y topografía enunciadas en la literatura (Tabla 1). Para las variables edáficas, drenaje externo e interno, los sitios recibieron valores (1 a 5) considerando las diferentes categorías de drenaje (Schlatter et al. 2003) y las tasas de infiltración y percolación (Hartge & Horn 1992). Así, valores mayores en las categorías de drenaje denotan un moderado a rápido movimiento del agua a través del suelo (sin problemas de anegamiento temporal), con un efecto positivo para el desarrollo radicular. En contraste, valores menores indican problemas de drenaje, que pueden afectar el arraigamiento por falta de oxígeno (Gaertig et al. 2002).

La morfología del perfil de suelo, considerando la presencia o ausencia de un horizonte E de color blanco (10 YR 5/1-2), fue incluida en el análisis considerando que las características físicas y químicas de dicho horizonte desfavorecen el desarrollo de raíces y finalmente del crecimiento de la vegetación (Gerding & Thiers 2002) (Tabla 1).

Un procedimiento similar fue utilizado para asignar valores numéricos a las variables topográficas: ubicación en el relieve y forma de la ladera. Las relaciones entre topografía y características y desarrollo del suelo en diferentes regiones son un hecho conocido (Greze 1982², Scheffer & Schachtschabel 1998). Para el área de estudio en general, sitios ubicados en relieve poco accidentado (laderas bajas y planos) y con formas de ladera escalonadas y/o cóncavas tienden a mostrar suelos más profundos, mayor cantidad de agua disponible y mayores contenidos de materia orgánica (15-25 %). Sitios con suelos poco profundos y con una pedogénesis más dinámica son descritos frecuentemente en terrenos de mayor pendiente (laderas rectas y cóncavas) y localizados en cumbres y laderas medias.

² GREZ R (1982) El suelo como un factor del sitio, un concepto dinámico. En: Schlatter JE (ed) Actas reunión de trabajo, evaluación de la productividad de sitios forestales, Valdivia, Chile: 273-283.

Relaciones suelo-topografía

Para establecer la relación entre suelo y topografía se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, el cual se confrontó con una prueba t de Student para verificar su significancia (95 %) (Zar 1999). En estas pruebas se utilizaron las variables edáficas y topográficas descritas en la Tabla 1. El propósito de este análisis fue evaluar la asociación de pares de variables en forma individual.

Análisis de variabilidad entre sitios

Se describió la variabilidad de un grupo de sitios con presencia de *N. betuloides* y sus especies asociadas, utilizando análisis de componentes principales (ACP) como técnica exploratoria (Isebrands & Crow 1975, Hugh 1982, Díaz de Rada 2002). Los análisis se realizaron para los sectores de Río Bueno y Río Cóndor, considerando las variables descritas en la Tabla 1. El sector de Río Cóndor (n = 38 sitios) presentó una mayor variedad de asociaciones boscosas que incluyeron la variación observada en Río Bueno (n = 16 sitios) (Thiers 1997, Gerding & Thiers 2002). En la presentación y análisis de los resultados del ACP se identificó el orden en que las diferentes variables del sitio afectan la distribución de los distintos tipos de bosque (asociaciones vegetacionales) (Isebrands & Crow 1975, Thiers 1997). La relevancia de las variables en cada componente se evaluó a través de su valor de contribución, el cual es más significativo en la medida que se aproxima al valor 100 (Isebrands & Crow 1975). La totalidad de los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el programa estadístico SPSS Versión 11 (Camacho 2002, Díaz de Rada 2002).

Producto de la ausencia de información microclimática detallada para cada sitio en particular, las variables climáticas no fueron consideradas en el análisis multivariado. No obstante, el clima y su variación dentro de los sectores fueron incluidos en el análisis y discusión de los resultados en forma indirecta, a través de su relación con la topografía y ubicación de los sitios en la gradiente climática oeste-este (Gerding & Thiers 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relaciones suelo-topografía

La variabilidad de los suelos de la zona presentó algunas relaciones con la topografía. Sin embargo, estas asociaciones son solo tendencias generales debido a la alta dispersión de los valores observados en cada sector. La Fig. 2 presenta las correlaciones significativas ($P \leq 0,05$) entre las diferentes variables topográficas y edáficas para los sectores de Río Bueno y Río Cóndor en conjunto.

En general, a mayor elevación los terrenos presentaron mayores pendientes. Sobre los 200 m de altitud las pendientes superaban el 30 %, mientras que bajo los 150 m la topografía era más suave y las pendientes solo ocasionalmente sobrepasaban el 20 % (Fig. 2A). Igualmente, con el aumento de la pendiente se encontraron suelos de menor profundidad (Fig. 2B). Los suelos ubicados en sectores de pendientes moderadas (< 20 %) frecuentemente presentaron una profundidad total > 30 cm; en cambio, en sectores de mayor pendiente (> 20 %), la profundidad del suelo rara vez sobrepasó los 30 cm.

En general, en los terrenos con mayor pendiente el drenaje externo aumenta, haciéndose más rápido (Fig. 2C). Los suelos ubicados en sectores con pendientes de hasta 30 % mostraron un drenaje externo moderado, variando desde rápido-moderado hasta lento. Los suelos ubicados en pendientes mayores de 30 % mostraron un aumento del drenaje externo, generalmente rápido.

En su mayoría, los suelos de mayor profundidad presentaron menor espesor del mantillo (2-5 cm) y un drenaje externo moderado (Fig. 2D y 2E). Como consecuencia de las tres relaciones antes descritas (Fig. 2B y 2C) se aprecia que, en general, en terrenos de menor elevación con pendientes más suaves aumentó la profundidad del suelo y disminuyeron el espesor del mantillo y el drenaje externo. En los sitios con suelos de hasta 35 cm de profundidad, frecuentemente el mantillo superó los 10 cm de espesor y el drenaje externo fue moderado a moderado-rápido; en los suelos con profundidades > 35 cm el mantillo no alcanzó los 10 cm de espesor y el drenaje externo se tornó más lento (moderado a moderado-lento, lento).

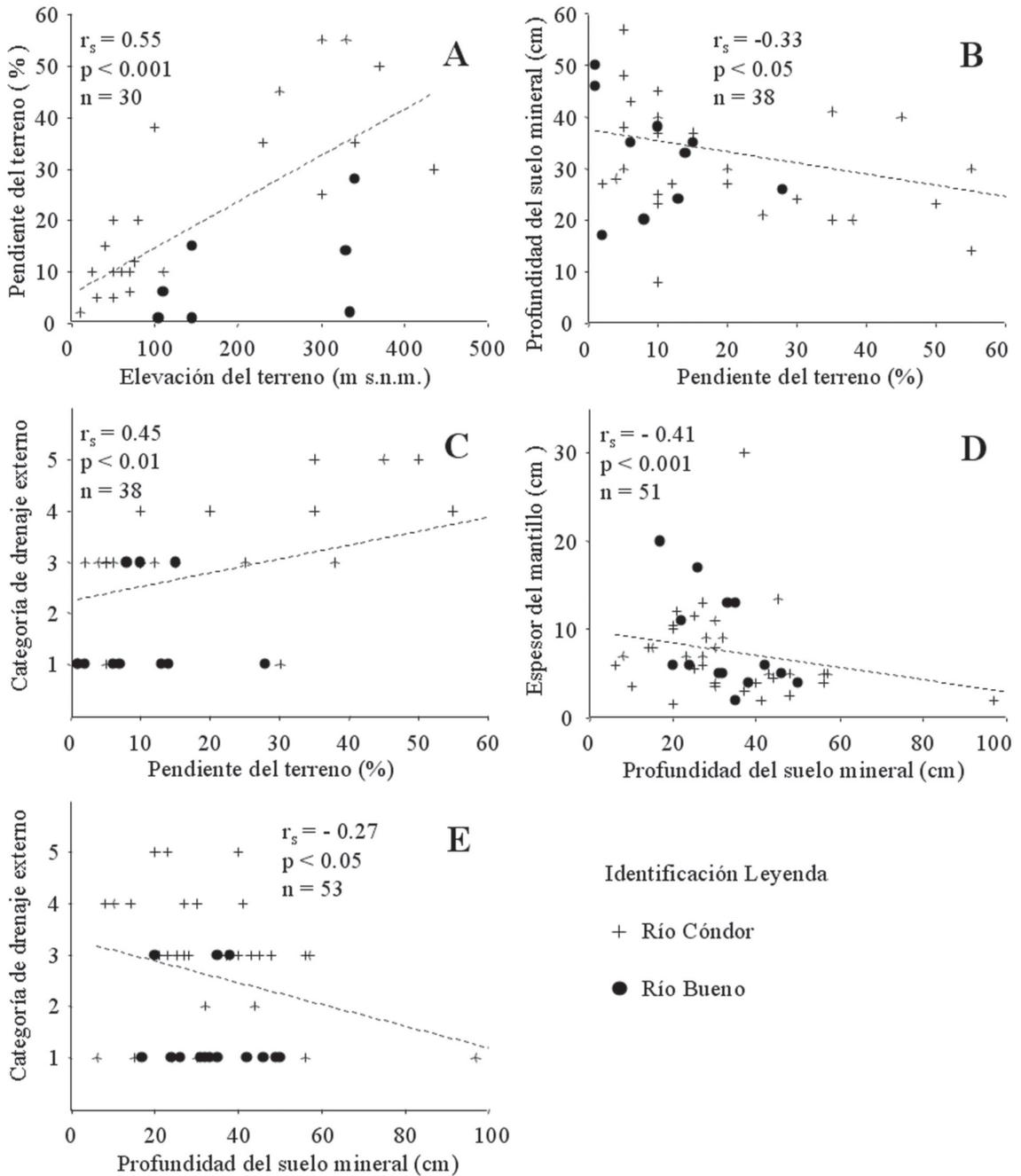


Fig. 2: Análisis de correlación de las relaciones topográficas en los sectores Río Córdor y Río Bueno.

Scatter plots of topographic and edaphic relationships in the areas of Río Córdor and Río Bueno.

La variación del espesor del mantillo es explicable a través de variables topográficas y climáticas, pues los suelos más profundos frecuentemente se encuentran a menor elevación (< 200 m). En estos sitios la temperatura y la humedad del ambiente son mayores que en los

sitios más elevados, lo que se traduce en un aumento de la velocidad de los procesos de descomposición y mineralización (Scheffer & Schachtschabel 1998). En el área de estudio se estima que las temperaturas medias disminuyen 1 a 2 °C en función del aumento de elevación

que, según Donoso (1997), en esta zona de alta latitud también produce una reducción del período cálido diario. Fassbender & Bornemisza (1987) y Caldentey et al. (2001) agregan que los procesos de mineralización están fuertemente ligados a factores externos, entre ellos la temperatura, la cual marca entre otras cosas el inicio de tales procesos ($\pm 10^\circ\text{C}$).

En este caso es importante destacar la pendiente del terreno como agente regulador o modificador de los procesos de pedogénesis (Grez 1982², Scheffer & Schachtschabel 1998). Frecuentemente los terrenos ubicados en elevaciones altas, con mayor pendiente, actúan en desmedro de la profundidad del suelo mineral y favorecen el drenaje interno. Sin embargo, el espesor del mantillo aumenta en relación con los terrenos de menor elevación. Esto compensa el menor desarrollo del suelo mineral debido a que en el mantillo se concentra el mayor número de raíces (Gerding & Thiers 2002). En consecuencia, el mantillo es favorable para proteger al suelo de los deslizamientos y erosión.

Como se puede apreciar, las relaciones descritas no contemplan las distintas ubicaciones en el relieve, ya que estas –en todas sus categorías– se presentaron por igual en los distintos niveles de elevación (Thiers

1997). Como se pudo comprobar, la elevación es uno de los factores que explican significativamente gran parte de las diferencias en las características de los suelos.

Análisis de la variabilidad de sitios del sector de Río Córdor

A través del ACP (Tabla 2 y Fig. 3) se aprecia que los bosques, según su composición de especies arbóreas, se agruparon según la pendiente del terreno, la cual a su vez se relaciona con las variaciones de elevación, profundidad y drenaje del suelo (Fig. 2). Otras variables que definen el primer componente son la profundidad del suelo mineral, la ubicación en el relieve y drenaje externo. El segundo componente está definido por la exposición del sitio, el horizonte E (presencia o ausencia), la forma de la ladera y el espesor del mantillo. El tercer componente está definido por el drenaje interno, el drenaje externo y la elevación del terreno. Los tres primeros componentes explicaron el 60,7 % de la variabilidad entre los sitios. Los restantes componentes significativos también contribuyeron a distinguir grupos de sitios principalmente a través de las variables topográficas elevación y ubicación en el relieve (Tabla 2).

TABLA 2

Características de los tres primeros componentes y las variables del suelo y topografía de mayor contribución a la variabilidad entre los sitios evaluados en el sector de Río Córdor

Characteristics of the first three components of PCA and soil and topography variables that make the greatest contribution to the variability among sites evaluated in the area of Río Córdor

Componente principal	VARIABLES DE MAYOR CONTRIBUCIÓN	Valor de la contribución	Valor de la variación	Porcentaje acumulado
1	Pendiente	-0,50		
	Profundidad del suelo mineral	0,45	24,6	24,6
	Drenaje externo	-0,37		
	Ubicación en el relieve	-0,37		
2	Exposición	0,54		
	Horizonte blanco	-0,52	19,9	44,5
	Forma de la ladera	-0,49		
	Espesor del mantillo	0,43		
3	Drenaje interno	0,68		
	Drenaje externo	0,52	16,5	60,7
	Elevación	-0,41		

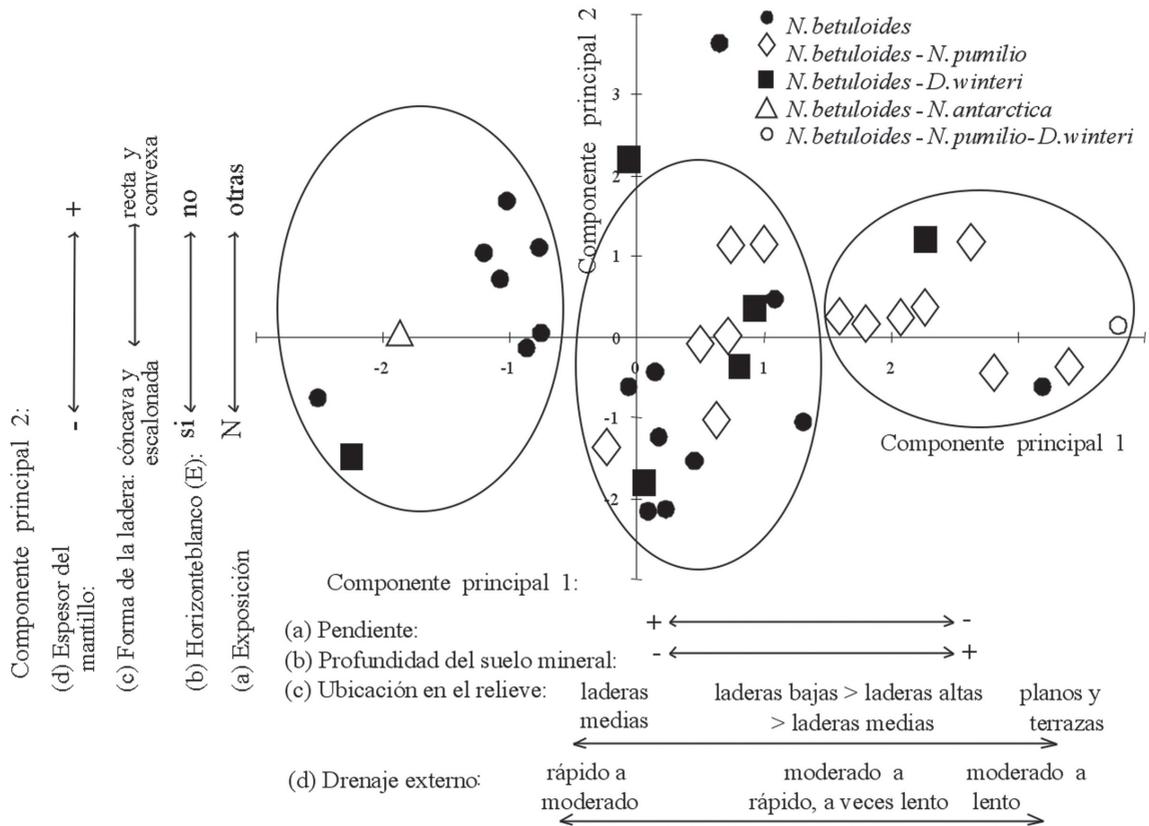


Fig. 3: Proyección de todos los sitios muestreados de Río Córdor sobre el plano de los componentes 1 y 2 del ACP.

Representation of all the sites sampled in Río Córdor in the graph made up with components 1 and 2 of the PCA.

A través del componente 1 se distinguieron tres grupos de sitios, ordenados de izquierda a derecha (Fig. 3). En la izquierda del gráfico se agruparon los sitios ubicados preferentemente en laderas medias con pendientes fuertes (promedio = 35 %, DE = 15 %, n = 9), donde el drenaje externo varía de rápido a moderado y el suelo es de profundidad variable (rango 8-40 cm, promedio = 22 cm, DE = 10 cm). Los bosques estaban compuestos principalmente por *N. betuloides* puro y en menor proporción por combinaciones de *N. betuloides* - *N. antarctica* y *N. betuloides* - *D. winteri*; no se observó la presencia de *N. pumilio*. En la posición central del componente 1 se ubicaron preferentemente los sitios de laderas con pendientes moderadas (promedio = 11 %, DE = 9 %, n = 17), donde el drenaje externo es moderado a rápido y a veces lento; la profundidad de desarrollo del suelo es un poco mayor que en el grupo anterior (promedio =

29 cm, DE = 10 cm, n = 17). Los bosques presentes en estos sitios son *N. betuloides* puro, la mayoría de los bosques de *N. betuloides* - *D. winteri* y aparece la asociación *N. betuloides* - *N. pumilio*. En la derecha se agruparon sitios ubicados en terrazas y planos y en algunas laderas altas con poca pendiente (promedio = 2 %, DE = 1,8 %, n = 10); el suelo es de drenaje externo moderado a lento y con profundidad de desarrollo mayor a los dos grupos anteriores (promedio = 40 cm, DE = 19 cm, n = 10). Los bosques estaban compuestos por *N. betuloides* - *N. pumilio* y en menor proporción *N. betuloides* puro y *N. betuloides* - *D. winteri*. Solo un sitio presentó las tres especies antes mencionadas.

Con respecto al segundo componente principal, se ubicaron en la parte central-inferior sitios con exposición preferentemente norte, con presencia del horizonte E, ubicados en laderas de formas cóncava o escalonada y

con un bajo espesor del mantillo (frecuentemente < 10 cm). La asociación boscosa dominante fue *N. betuloides* puro, con menor frecuencia *N. betuloides* - *N. pumilio* y en menor proporción *N. betuloides* - *D. winteri* (Fig. 3).

La especie *N. betuloides* se distribuyó ampliamente a través de la gradiente ambiental observada, mientras que las demás especies arbóreas están restringidas a sitios específicos. La ordenación de los bosques según su composición arbórea en el sector de Río Cóndor se explica, en primer lugar, por la pendiente del terreno en un relieve más accidentado que en el sector de Río Bueno (Fig. 2A). Esta variable está directamente asociada con la elevación y con el drenaje externo del suelo, e inversamente con la profundidad del suelo mineral (Fig. 3). Los bosques de *N. betuloides* con *N. pumilio* o con *D. winteri* se ubicaron tanto en el sector de Río Bueno como en el de Río Cóndor, en los terrenos con menores pendientes (promedio < 5 %), donde el drenaje externo es menos intenso y la profundidad del suelo mineral es mayor. En estos terrenos los bosques de *N. betuloides* con *N. pumilio* se ubicaron preferentemente en suelos más fértiles, es decir más profundos (promedio = 40 cm, DE = 9 cm, n = 13) y mejor drenados (drenaje moderado), coincidiendo con los requerimientos de sitio descritos por Schlatter (1994) para *N. pumilio*. Por otra parte, la asociación de *N. betuloides* con *D. winteri* se ubicó a elevaciones bajas (< 150 m) donde los suelos poseen un drenaje interno menos intenso (moderado a lento), cercanos a la costa, donde las precipitaciones y la humedad relativa son mayores, concordando con lo señalado por Pisano (1977) y Veblen et al. (1996).

Los bosques puros de *N. betuloides* presentan una distribución más amplia y variada en cuanto a características edáficas y topográficas, incluyendo condiciones más restrictivas (suelo mineral delgado y alta pendiente), que cuando se asocia con *N. pumilio*, coincidiendo con lo descrito por Dollenz (1995), Pisano (1977) y Lanciotti (1993). Tanto *N. betuloides* como *N. pumilio* presentan en esta zona un modo de regeneración por claros, correspondiente a disturbios autogénicos o de escala menor producto de factores climáticos como el viento

y la nieve (Donoso 1995, Donoso et al. 1995). Dentro de este contexto, la distribución de ambas especies en los lugares donde los claros favorecen su regeneración está influida principalmente por condiciones edáficas, donde destacan las condiciones de aireación y agua del suelo.

Las relaciones entre la composición arbórea del bosque y el drenaje del suelo, y entre la profundidad del suelo y la pendiente del terreno, obtenidas en este trabajo concuerdan con lo observado por Gerding et al. (1995) y Donoso et al. (1995). Tales estudios coinciden en que los bosques de *N. betuloides* puros se encuentran en suelos delgados, frecuentemente con presencia del horizonte E, donde el drenaje externo es más lento. Estas condiciones de suelo evolucionaron, por una parte, a partir del modelado del terreno producto de las glaciaciones que diferenciaron sectores de distintas pendientes y planos deprimidos con depósitos de materiales finos (Arroyo et al. 1996). Por otra parte, los suelos fueron enriquecidos por cenizas volcánicas recientes y redistribuidas por el viento, formando suelos de los órdenes Spodosol e Inceptisol (Gerding & Thiers 2002).

También se observó la asociación de *N. betuloides*-*N. antarctica* en sectores de alta pendiente (55 %) y mayor elevación (330 m), lo cual concuerda con Donoso et al. (1995) y Veblen et al. (1996), quienes señalan que *N. antarctica* se desarrolla en condiciones de sitio más extremas que otras especies de *Nothofagus*.

En general, las condiciones de sitio en que se observó a *N. betuloides* y sus especies asociadas concuerdan con las descritas por Pisano (1977), Lanciotti (1993), Schlatter (1994), Donoso et al. (1995), Dollenz (1995) y Veblen et al. (1996), en cuanto al rango y a la variabilidad de las condiciones de elevación, topografía y suelos. Estos trabajos coinciden en que los factores edáficos estructurales (profundidad del suelo y drenaje interno) influyen de manera importante en la distribución de las comunidades boscosas de esta zona. De acuerdo con Gerding & Thiers (2002), los suelos en esta región son pobres en nutrientes (P, K, Na y Mg) y presentan condiciones químicas restrictivas (altos niveles de aluminio extraíble e intercambiable), pero tales características no explican directamente la

composición de los bosques. Por otra parte, el suelo muestra una fuerte influencia del clima y la topografía, factores que también afectan la distribución de las distintas especies arbóreas estudiadas (Gerding & Thiers 2002).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por la empresa Trillium Ltda. para la realización de este trabajo. De igual manera a los profesores Juan E. Schlatter y Claudio Donoso (Instituto de Silvicultura, Universidad Austral de Chile) por sus comentarios y sugerencias que contribuyeron a mejorar este trabajo. Se agradece, además, a los revisores anónimos por las proposiciones y sugerencias de mejora del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- ARROYO M, C DONOSO, R MURÚA, E PISANO, R SCHLATTER & I SEREY (1996) Toward an ecologically sustainable forestry project. Concepts, analysis and recommendations. Departamento de Investigación y Desarrollo. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 253 pp.
- CALDENTY J, M IBARRA & J HERNÁNDEZ (2001) Litter fluxes and decomposition in *Nothofagus pumilio* stands in the region of Magallanes, Chile. *Forest Ecology and Management* 148: 145-157.
- CAMACHO J (2002) Estadística con SPSS para Windows. Versión 11. Primera edición. Editorial Ra-Ma, Madrid, España. 408 pp.
- CARMEAN W (1975) Forest site quality evaluation in the United States. *Advances in Agronomy* 27: 209-270.
- CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF), COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA) & BANCO MUNDIAL (BIHF) (1999) Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe Nacional con Variables Ambientales, Santiago, Chile. 78 pp.
- DÍAZ C, C AVILÉS & R RAY (1960) Los grandes grupos de suelos de la provincia de Magallanes. Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* XVIII 2: 227-308.
- DÍAZ de RADA V (2002) Técnicas de análisis multivariante para investigación social y comercial. Ejemplos prácticos utilizando SPSS versión 11. Primera edición. Editorial Ra-Ma, Madrid, España. 362 pp.
- DIXIT A & CP GEEVAN (2002) Multivariate ordination approach for identification of sub-regional homogeneities in Gujarat, western India. *Journal of Environmental Management* 64: 13-24.
- DOLLENZ O (1995) Los árboles y bosques de Magallanes. Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile. 123 pp.
- DONOSO C (1981) Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Documento de Trabajo N° 38. Investigación y Desarrollo Forestal. Corporación Nacional Forestal y la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (CONAF, PNUD-FAO), Santiago, Chile. 73 pp.
- DONOSO C (1995) Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Tercera edición. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 485 pp.
- DONOSO C (1997) Ecología forestal: el bosque y su medio ambiente. Quinta edición. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 369 pp.
- DONOSO C, P DONOSO, M GONZÁLEZ & C MAUREIRA (1995) Tipos forestales y estructura. Forestal Trillium Ltda., Proyecto Río Cándor, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia, Chile. 108 pp.
- FASSBENDER H & E BORNEMISZA (1987) Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Segunda edición. Colección libros y materiales educativos N° 81. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José de Costa Rica, Costa Rica. 420 pp.
- GAERTIG T, H SCHACK-KIRCHNER, EE HILDEBRAND & K VON WILPERT (2002) The impact of soil aeration on oak decline in southwestern Germany. *Forest Ecology and Management* 159: 15-25.
- GERDING V & JE SCHLATTER (1995) Variables y factores del sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D. Don en Chile. *Bosque (Chile)* 16: 39-56.
- GERDING V & O THIERS (2002) Caracterización de suelos bajo bosques de *Nothofagus betuloides* (Mirb) Blume, en Tierra del Fuego, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 819-833.
- GERDING V, H HUBER & A FAESCH (1995) Reconocimiento de suelos. Forestal Trillium Ltda. Proyecto Río Cándor. Informe del subproyecto 94-02. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 76 pp.
- GONZÁLEZ-FERRÁN O (1995) Volcanes de Chile. Instituto Geográfico Militar, Santiago, Chile. 640 pp.
- HARTGE KH & R HORN (1992) Die physikalische Untersuchung von Böden. Dreite durchges. Ferdinand Enke, Stuttgart, Deutschland. 177 pp.
- HUGH G (1982) Multivariate analysis in community ecology. First edition. Cambridge University Press, New York, New York, USA. 298 pp.
- ISEBRANDS JG & TR CROW (1975) Introduction to uses and interpretation of principal component analysis in forest biology. General technical report nc-17. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, USA. 19 pp.
- LANCIOTTI ML (1993) Suelos con aluminio activo y montmorillonita, clorita, illita, vermiculita, interestratificados regulares o irregulares. *Boletín de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo* 10: 254-256.
- McKENNEY D & J PEDLAR (2003) Spatial models of site index based on climate and soil properties for two boreal tree species in Ontario, Canada. *Forest Ecology and Management* 175: 497-507.
- PISANO E (1977) Fitogeografía de Fuego-Patagonia chilena. I. Comunidades vegetales entre las latitudes 51 y 56° Sur. Punta Arenas, Chile. *Anales del Instituto de la Patagonia (Chile)* 8: 121-250.
- RAMÍREZ JC & JE SCHLATTER (1995) Análisis de variables de sitio para estimar el establecimiento en Chile de *Acacia melanoxylon*. *Bosque (Chile)* 19: 37-51.

- SCHEFFER F & P SCHACHTSCHABEL (1998) Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Auflage. Ferdinand Enke, Stuttgart, Deutschland. 494 pp.
- SCHLATTER JE (1994) Requerimientos de sitio para lenga, *Nothofagus pumilio*. Bosque (Chile) 15: 3-10.
- SCHLATTER JE, R GREZ & V GERDING (2003) Manual para el reconocimiento de suelos. Tercera edición. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 114 pp.
- THIERS O (1997) Estudio de relaciones entre los bosques de coigüe de Magallanes (*Nothofagus betuloides*) y el suelo en Tierra del Fuego. Tesis Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 101 pp.
- THIERS O (2004) Roble (*Nothofagus obliqua*)-Sekundärwälder in Zentral- und Südchile: Bestimmung der für die Bestandesproduktivität wichtigen Standortsfaktoren. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen N° 42. 170 pp.
- VEBLEN TT, C DONOSO, T KITZBERGER & AJ REBERTUS (1996) Ecology of southern Chilean and Argentinean *Nothofagus* forest. En: Veblen TT, RS Hill & J Read (eds) The ecology and biogeography of *Nothofagus* forests: 293-353. Yale University Press, New Haven, Connecticut, USA.
- VEBLEN TT, FM SCHLEGEL & JV OLTREMARI (1983) Temperated broad-leaved evergreen forests of South America. En: Ovington JD (ed) Temperated broad-leaved evergreen forests: 5-31. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- ZAR JH (1999) Biostatistical analysis. Fourth edition. Prentice Hall International, Upper Saddle River, New Jersey, USA. 663 pp.

Editor Asociado: Juan Armesto

Recibido el 4 de octubre de 2004; aceptado el 11 de diciembre de 2006

