

Influencia de la fertilización nitrogenada sobre la abundancia y diversidad de basidiocarpos Agaricales *s.l.* en un bosque templado de *Nothofagus obliqua*

Influence of nitrogen fertilization on abundance and diversity of basidiocarps of Agaricales *s.l.* in a temperate forest of *Nothofagus obliqua*

Eduardo Valenzuela F^{**,} Daniela Barría^a, Oscar Martínez^a, Roberto Godoy^b, Carlos Oyarzún^b

*Autor de correspondencia: ^a Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias, Instituto de Bioquímica y Microbiología, Campus Isla Teja s/n, Valdivia, Chile, tel.: 56-63-293849, evalenzu@uach.cl

^b Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Ambientales y Evolutivas. Valdivia, Chile.

SUMMARY

A study was undertaken to determine the influence of nitrogen application on the production of basidiocarps and diversity of the Agaricales *s.l.* in a *Nothofagus obliqua* forest of Chile. Six plots were established in the studied area: four plots were fertilized with 10 g m⁻² of NH₄NO₃, and the others were used as controls (unfertilized). There basidiocarps were collected and counted; also microclimatic and soil chemical properties were measured during one year from March 2002. The highest number of saprotrophic, ectomycorrhizal and parasitic species of Agaricales *s.l.* was found. However, the number of taxa and basidiocarps depended on the concentration of NO₃. In the control plots (3.400 mg kg⁻¹ of NO₃), 12 ectomycorrhizal species (with an average of 49 basidiocarps), 28 saprotrophic species (average of 146 basidiocarps) and one parasitic species (average of 7 basidiocarps) were found. Fertilized plots (9.350 mg kg⁻¹ of NO₃) had three ectomycorrhizal species (average of five basidiocarps) and 18 saprotrophic species (average of 96 basidiocarps). *Cortinarius vaginatus* was the only ectomycorrhizal species found in fertilized plots. Five species previously unknown to the *N. obliqua* forests of Chile were found: *Cortinarius pseudoclaricolor*, *C. vaginatus*, *Inocybe geophyllomorpha*, *Mycena austroavenacea* and *M. sanguinolenta*. Nitrogen fertilization treatment decreased diversity and density of Agaricales *s.l.* in *N. obliqua* forest.

Key words: nitrogen fertilization, basidiocarps, ectomycorrhizal fungus, native forest, Chile.

RESUMEN

Se realizó un estudio para determinar la influencia de la fertilización nitrogenada sobre la abundancia y diversidad de basidiocarpos de Agaricales *s.l.* de un bosque de *Nothofagus obliqua* en Paillaco, región de Los Ríos, Chile. En el área de estudio se establecieron seis parcelas (15 x 15 m), cuatro de ellas fueron fertilizadas con nitrato de amonio (NH₄NO₃) (10 g m⁻²) y dos se dejaron como controles. Recuentos y recolección de basidiocarpos se realizaron desde marzo del 2002 a marzo de 2003. También se determinaron algunas variables microclimáticas y química del suelo. Durante mayo, en las parcelas controles y fertilizadas se encontró el mayor número de especies de Agaricales *s.l.* micorrízicas, saprofitas y parásitas. El número de especies y basidiocarpos fue dependiente de la concentración de nitrógeno nítrico en el suelo. En las parcelas control (NO₃-N: 3.400 mg kg⁻¹ de suelo) se registraron 12 especies ectomicorrízicas (con un promedio de 49 basidiocarpos), 28 saprofitas (promedio de 146 basidiocarpos) y una parásita (promedio de 7 basidiocarpos). Para las parcelas fertilizadas (NO₃-N: 9.350 mg kg⁻¹ de suelo) se registraron tres especies ectomicorrízicas (promedio de cinco basidiocarpos) y 18 saprofitas (promedio de 96 basidiocarpos). *Cortinarius vaginatus* es la única especie ectomicorrízica encontrada en todas las parcelas fertilizadas. En el presente estudio se registraron cinco especies no citadas para los bosques de *N. obliqua* de Chile, estas son: *Cortinarius pseudoclaricolor*, *C. vaginatus*, *Inocybe geophyllomorpha*, *Mycena austroavenacea* y *M. sanguinolenta*. La fertilización nitrogenada disminuyó la densidad y diversidad de Agaricales *s.l.* en bosque de *N. obliqua*.

Palabras clave: fertilización nitrogenada, basidiocarpo, hongos ectomicorrízicos, bosque nativo, Chile.

INTRODUCCIÓN

El aumento del depósito de nitrógeno atmosférico es una de las principales causas de acidificación de los suelos en los bosques y altera la función y biodiversidad de los ecosistemas (Blake y Goulding 2002). En los bosques, los hongos micorrízicos son los más sensibles al depósito de nitrógeno. Wiklund *et al.* (1995) indican que altas concentraciones de nitrógeno en el suelo influyen negativamente

en la producción de basidiocarpos de taxa micorrízicas, pues el micelio de estos hongos adsorbe desde el suelo fosfatos y otras sales, temporalmente las almacena y luego las trasloca a las células vegetales. En distintas zonas de Europa, Lilleskov *et al.* (2001) observaron en transectos con diferentes grados de depósito de nitrógeno una disminución en la diversidad de hongos ectomicorrízicos, Peter *et al.* (2001) en bosques de Suiza, donde se adicionó al suelo nitrógeno, determinaron cambios en la abundancia

de especies fúngicas, una reducción en la diversidad de las comunidades ectomicorrízicas y no detectaron efectos en las saprofitas, a su vez, indican que debido a la adición de fuentes de nitrógeno en bosques europeos hay una disminución en la abundancia de los cuerpos fructíferos de gran tamaño de especies ectomicorrízicas versus las que forman cuerpos fructíferos pequeños. Al respecto, Taylor *et al.* (2000), señalan que en bosques de *Picea abies* (L.) Karst y *Fagus sylvatica* L., ectomicorrizados, las especies fúngicas de áreas menos contaminadas capaces de usar nitrógeno orgánico disminuyen a medida que aumenta la disponibilidad vía ingreso de nitrógeno al ecosistema, especies de los géneros *Cortinarius*, *Tricholoma* y *Russula* son muy sensibles al incremento de nitrógeno y disminuyen severamente, tanto en la frecuencia de carpóforos como en diversidad de especies. Cox *et al.* (2010) llegan a conclusiones similares para bosques de *Pinus* spp., de distintas partes de Europa, señalan que un incremento del nitrógeno reduce la diversidad de hongos micorrízicos y provoca cambios en la comunidad ectomicorrízica, siendo más sensibles al incremento de nitrógeno los hongos pertenecientes a los géneros *Thelephora*, *Lactarius* y *Piloderma*.

En Chile, Oyarzún *et al.* (2002) determinaron en bosques de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst, en la Depresión Intermedia (Paillaco, área del presente estudio) que las concentraciones de nitrógeno nítrico ($\text{NO}_3\text{-N}$) (19 mg L^{-1}) y nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) (110 mg L^{-1}) son mayores que en la Cordillera de Los Andes (10 mg L^{-1} y 49 mg L^{-1}), estas diferencias se deberían a las actividades agrícola y ganadera sostenidas, estos mismos autores señalan que en los bosques de la Cordillera de Los Andes también se registran altas tasas de depósito atmosférico de compuestos nitrogenados (gases y material particulado) que son transportados desde la atmósfera y depositados cercanos a las fuentes de emisión, sobre el suelo y vegetación (vía depósito seco) o forman parte de nubes y neblina que son transportadas a largas distancias por las corrientes de aire del Océano Pacífico, depositándose sobre la vegetación del valle central (vía depósito húmedo). En los bosques de la Depresión Intermedia en primavera-verano es importante el depósito, cuando las lluvias son escasas, aumenta la temperatura e incrementan las actividades agrícolas (aplicación de fertilizantes y purines) y ganaderas (descomposición microbiana de la urea y orina del ganado) que causan emisiones de nitrógeno nítrico y amoniacal. Los altos depósitos de nitrógeno amoniacal afectan la química del suelo y provoca severos daños a las raíces de los vegetales. También durante el invierno la saturación del suelo con agua por las abundantes lluvias conllevan a un incremento de la desnitrificación que produce óxido nitroso (N_2O). Este desequilibrio de nutrientes produce deficiencias de fósforo y potasio, en los vegetales inhibe la captación de nitrógeno nítrico y amoniacal por las raíces y, una mayor pérdida por efecto del lavado e incorporación de nitrógeno inorgánico a las napas freáticas, provocando

eutroficación de los cuerpos de agua. Si bien se sabe que en bosques de *N. obliqua* de la Depresión Intermedia se registra un depósito de nitrógeno nítrico y amoniacal, su efecto en hongos Agaricales *s.l.* micorrízicos no ha sido cuantificado. Valenzuela *et al.* (1998) indican que cualitativamente las taxa de Agaricales *s.l.* son los más importantes micorrizógenos del género *Nothofagus*. Garrido (1988) indica que para Chile se conocen 503 especies de Agaricales, de ellos un 38 % son micorrízicos con *Nothofagus* spp. Valenzuela (1993) determinó 58 especies propias de Agaricales *s.l.* para bosques de *Nothofagus* spp. en la Depresión Intermedia de la región de Los Lagos, de ellas 53 % son micorrizógenas. Moser y Horak (1975), Garrido (1988) y Valenzuela (1993) han indicado que *Cortinarius* es el principal género micorrízico para las especies de *Nothofagus*. Singer (1969) y Horak (1977) señalan que algunas especies de los géneros *Boletus*, *Paxillum*, *Amanitas* y *Russulas* también forman ectomicorrizas con *Nothofagus* spp.

De acuerdo a lo expuesto, se plantea evaluar la variación cuantitativa de basidiocarpos y diversidad de taxa de Agaricales *s.l.* en parcelas fertilizadas con nitrógeno de un bosque de *N. obliqua* de la Depresión Intermedia de la región de Los Ríos, Chile.

MÉTODOS

Área de estudio. Bosque secundario parcialmente caducifolio de *Nothofagus obliqua*, ubicado a 160 m s.n.m. en Paillaco ($40^\circ 07' \text{ S}$ y $72^\circ 51' \text{ O}$) región de Los Ríos, Chile. La vegetación incluye una densidad de 757 árboles ha^{-1} , entre ellos, *N. obliqua*, *Aextoxicon punctatum* Ruiz *et* Pavon, *Persea lingue* (R. *et* P.) Nees *ex* Kopp, *Eucryphia cordifolia* Cav. y *Laurelia sempervirens* (R. *et* P.) Tul. Diámetro altura pecho (DAP) promedio fue de 42,5 cm y máximos de 67 cm, con una edad estimada de 64 años. El suelo es de origen volcánico, Andic Palehumult (serie Correltúe), cuyas características químicas en el horizonte A son: pH H_2O 5,99, pH KCl 5,31, carbono total 11,2 %, nitrógeno total 0,82 %, C/N 13,7, sodio 0,31 cmol+ kg^{-1} , potasio 16,45 cmol+ kg^{-1} , calcio 16,45 cmol+ kg^{-1} , magnesio 3,80 cmol+ kg^{-1} . El clima es templado lluvioso con influencia mediterránea, con menos de cuatro meses secos, con una precipitación promedio anual de 1.500 mm (verano 8,6 %; primavera 42,67 %; otoño 9,3 % e invierno 9,3 %). La temperatura promedio anual es 12°C con una máxima en febrero de 23°C y una mínima en junio de $1,8^\circ \text{C}$ (Cárcamo *et al.* 2004).

Establecimiento de parcelas de estudio. En el área de estudio se establecieron seis parcelas de 15 x 15 m, cuatro fueron fertilizadas, cada una con 10 g m^{-2} de NH_4NO_3 (100 kg ha^{-1} de NH_4NO_3), aplicado al voleo a fines de invierno de 2001 (agosto), y las parcelas restantes se dejaron como controles. La distancia entre las parcelas fertilizadas y sin fertilizar fue de 10 m.

Recuento e identificación taxonómica de basidiocarpos. Los recuentos y recolección de basidiocarpos se realizaron semanalmente en marzo-abril (2002–2003) y quincenalmente de mayo a diciembre del 2002. Los basidiocarpos recolectados (en todos sus estadios de crecimiento) fueron llevados para su identificación taxonómica al laboratorio de Micología del Instituto de Bioquímica y Microbiología de la Universidad Austral de Chile. Las características macro-microscópicas determinadas a los basidiocarpos se compararon con las que aparecen en claves y manuales de identificación, entre otros Moser y Horak (1975), Horak (1979), Singer (1986), Breitenbach y Kränzlin (1991, 1995), Maas Geesteranus (1992a y b), Valenzuela (1993) y Lazo (2001).

Variables microclimáticas y química del suelo. Se determinó mensualmente la temperatura del suelo, humedad relativa con *data-loggers* y la precipitación mediante pluviómetros. A muestras de suelo extraídas desde 0-10 cm de profundidad se les determinó el pH en agua y en cloruro de calcio (CaCl_2), contenido total de bases intercambiables (Ca, Mg, Na y K) usando la metodología de Sadzawka (1990) y nitrógeno amoniacal según Theodorov y Bowen (1983).

Estimación del índice de diversidad de Agaricales s.l. Se aplicó el índice de diversidad de Shannon-Wiener citado en Krebs (1999). Se utilizó análisis de varianza (ANDEVA) de una vía para comparar el número de especies, abundancia y diversidad de basidiocarpos entre las parcelas. Los análisis fueron hechos a un nivel de significancia estadística de 0,05.

RESULTADOS

Taxonómicamente, los basidiocarpos recolectados desde el bosque de *N. obliqua* se asignaron a 52 taxones distintos (cuadro 1), de los cuales 37 son saprofitos, 14 micorrízicos y uno parásito. Los basidiocarpos de *Gloicephala mycenoides* fueron los únicos recolectados independiente de la parcela, tratamiento, condiciones climáticas y épocas de muestreo. *Cortinarius vaginatus* y *Tricholoma cortinatellum* fueron las únicas especies micorrízicas recolectadas en las parcelas fertilizadas. Basidiocarpos de cinco especies se recolectaron por primera vez en bosque de *N. obliqua* de Chile: *Cortinarius pseudoclaricolor*, *C. vaginatus*, *Inocybe geophyllomorpha*, *Mycena austrovenacea* y *M. sanguinolenta*.

Al relacionar el número total de basidiocarpos con los parámetros climáticos (figura 1) y la estación del año en que se realizaron los muestreos, se determinó que en otoño (marzo a junio), cuando la humedad relativa del aire fue de 86,5 %, la temperatura del suelo fue de 8,7 °C y la lluvia caída fue de 290,6 mm, se registró en todas las parcelas el mayor número de basidiocarpos, específicamente, en mayo se contabilizaron: 261 basidiocarpos de Agaricales sapro-

fitos, 52 de micorrízicos y 13 de parásitos. Por su parte, el menor número de basidiocarpos (13 saprofitos) fueron contabilizados en el verano (diciembre a marzo), cuando la humedad relativa del aire fue 68,9 %, la temperatura del suelo fue de 13,9 °C y la lluvia caída fue 63,5 mm.

El mayor número de Agaricales *s.l.*, micorrízicos, saprofitos y parásitos fue determinado en mayo, tanto en las parcelas controles como fertilizadas (figura 2); no obstante, el número de especies y basidiocarpos fue dependiente de la concentración de nitrógeno nítrico. En las parcelas fertilizadas se registró un menor número de basidiocarpos y también una menor diversidad de especies de Agaricales *s.l.*, versus las parcelas controles. En las parcelas controles (3.400 mg kg^{-1} de nitrógeno nítrico en el suelo) se registraron 12 especies micorrízicas (con un promedio de 49 basidiocarpos), 28 saprofitas (promedio de 146 basidiocarpos) y una parásita (promedio de siete basidiocarpos). Para las parcelas fertilizadas (9.350 mg kg^{-1} de nitrógeno nítrico en el suelo) se registraron tres especie micorrízicas (promedio de cinco basidiocarpos) y 18 saprotrofitas (promedio de 96 basidiocarpos). Esto indica que la adición de nitrógeno nítrico resultó en una reducción en el número de taxa de Agaricales, siendo estadísticamente significativa ($P < 0,05$) para los hongos micorrízicos en relación a su abundancia y diversidad de Shannon (cuadro 2). Durante marzo de 2003, en las parcelas fertilizadas se determinó la mayor concentración de nitrógeno nítrico (12.804 mg kg^{-1} en el suelo) y se registró solo una especie saprofita de Agaricales *s.l.* (tres basidiocarpos), desde diciembre a febrero de 2003, las altas concentraciones de nitrógeno nítrico, al parecer no permitieron la fructificación de basidiocarpos (figura 2).

DISCUSIÓN

Los resultados determinados en este estudio respecto a la diversidad de basidiocarpos de Agaricales *s.l.* son semejantes a los reportados por Garrido (1988), quien determinó un total de 44 taxa de Agaricales para bosques de *N. obliqua* que prosperan entre la región del Maule a la región de La Araucanía, Chile. A su vez, son similares a los encontrados por Valenzuela *et al.* (1998) para bosques de *Nothofagus* spp. ubicados en Rebellín (Valdivia). Por otra parte, el número total de taxa micorrízogenas y saprofitas relacionadas con *N. obliqua* determinadas en el presente estudio son semejantes a las cuantificadas por Valenzuela *et al.* (1998) para un bosque de *N. obliqua* ubicado en Los Troncos (Valdivia) y el de especies saprofitas para un bosque de Rebellín. En lo que respecta a los Agaricales micorrízicos, del total de ellos, siete corresponden al género *Cortinarius*, en la parcela control los basidiocarpos de *C. magellanicus* fueron los más abundantes y en las parcelas fertilizadas los de *C. vaginatus*. La abundancia y dominancia de las especies del género *Cortinarius* en los bosques de *Nothofagus* spp. ha sido ampliamente documentada anteriormente. Al respecto, Moser y Horak (1975) señalan un

Cuadro 1. Taxa y número promedio de basidiocarpos de Agaricales *s.l.* en parcela control y fertilizadas en un bosque de *Nothofagus obliqua* (O = otoño, I = invierno, P = primavera, V = verano).

Taxa and mean number of basidiocarps of the Agaricales *s.l.* in control and fertilized plots in *Nothofagus obliqua* forest (O = autumn, I = winter, P = spring, V = summer).

Taxa Agaricales <i>s.l.</i>	Rol ecológico	Parcela control				Parcela fertilizada			
		O	I	P	V	O	I	P	V
<i>Agrocybe praecox</i> (Pers.: Fr.) Fray	Saprofito	0	0	2	0	0	0	0	0
<i>Anthracoephyllum discolor</i> (Mont.) Sing.	Saprofito	0	0	0	0	0	9	0	0
<i>Amanita aurantiovelata</i> Schalkwijk et Jensen	Micorrízico	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amanita diemii</i> Sing.	Micorrízico	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Campanella Alba</i> (Berk. et Curt.) Sing.	Saprofito	0	0	0	0	1	0	1	0
<i>Clitocybe leptoloma</i> (Peck) Peck	Saprofito	11	8	0	0	0	0	0	0
<i>Conchomyces burseiformis</i> (Berk.) Horak	Saprofito	4	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coprinus atromentarius</i> (Bull.: Fr.) Fr.	Saprofito	4	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coprinus disseminatus</i> (Pers.: Fr.) Gray	Saprofito	0	0	0	0	7	0	0	0
<i>Cortinarius austroturmalis</i> Moser et Horak	Micorrízico	4	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cortinarius magellanicus</i> Speg.	Micorrízico	6	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cortinarius mesophaeus</i> Moser	Micorrízico	3	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cortinarius pseudoclaricolor</i> Moser	Micorrízico	3	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cortinarius rancidus</i> Moser	Micorrízico	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cortinarius tumidipes</i> Moser	Micorrízico	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cortinarius vaginatus</i> Horak et Moser	Micorrízico	0	0	0	0	3	0	0	0
<i>Crepidotus applanatus</i> (Fr.) Kummer	Saprofito	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Crepidotus mollis</i> (Fr.) Staudé	Saprofito	3	0	0	0	0	0	0	0
<i>Descolea antarctica</i> Sing.	Saprofito	1	5	3	0	0	0	0	0
<i>Galerina patagonica</i> Sing.	Saprofito	0	0	0	0	3	0	0	0
<i>Gliocephala mycenoides</i> Sing.	Saprofito	15	2	1	3	18	7	4	2
<i>Higrocybe conica</i> (Scop.: Fr.) Kummer	Saprofito	11	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hypholoma frowardii</i> (Speg.) Garrido	Saprofito	0	10	0	0	0	0	0	0
<i>Inocybe briggesiana</i> Sing.	Micorrízico	2	5	9	0	0	0	0	0
<i>Inocybe erythrobasia</i> Sing.	Micorrízico	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Inocybe geophylomorpha</i> Sing.	Micorrízico	9	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lepista nuda</i> (Bull.: Fr.) Cooke	Saprofito	3	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leucoagaricus antrofibrillosus</i> Sing.	Saprofito	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Marasmius andrasaceus</i> (L.: Fr.) Fr.	Saprofito	0	0	0	0	7	0	0	0
<i>Mycena arcangeliana</i> Bres.	Saprofito	8	1	1	1	12	1	1	0
<i>Mycena atroincrustedata</i> Sing.	Saprofito	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mycena austroavenecia</i> Sing.	Saprofito	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Mycena austrororida</i> Sing.	Saprofito	1	1	0	0	2	1	0	0
<i>Mycena capillaris</i> (Schum. : Fr.) Kummer	Saprofito	1	0	0	0	2	0	0	0
<i>Mycena desfontainea</i> Sing.	Saprofito	14	0	2	0	1	1	0	0
<i>Mycena filopes</i> (Bull.: Fr.) Kummer	Saprofito	1	0	0	0	2	1	0	0
<i>Mycena galericulata</i> (Scop.: Fr.)	Saprofito	1	0	0	0	4	0	1	0
<i>Mycena hialinotricha</i> Sing.	Saprofito	0	0	0	0	2	0	0	0
<i>Mycena metuloidifera</i> Sing.	Saprofito	8	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mycena patagonica</i> Sing.	Saprofito	5	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mycena pura</i> (Perss.: Fr.) Kummer	Saprofito	2	2	0	0	1	1	0	0
<i>Mycena sanguinolenta</i> (Alb. et Chw.: Fr.) Kummer	Saprofito	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mycenella margaritiformis</i> (Lange) Sing.	Saprofito	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Paxillus statuum</i> (Speg.) Horak	Micorrízico	1	2	0	0	1	0	0	0
<i>Pholiota aurivella</i> (Batsch.: Fr.) Kummer	Parásito	7	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pluteus brunneolivaceus</i> Horak	Saprofito	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pluteus globiger</i> Sing.	Saprofito	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Pluteus spegazzinianus</i> Sing.	Saprofito	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Rhodophyllum hassti</i> Stev.	Saprofito	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Simocybe peullensis</i> Sing.	Saprofito	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tricholoma cortinatellum</i> Sing.	Micorrízico	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Clitocybe sp.</i>		0	0	0	0	3	2	0	0
Total		141	37	20	4	74	23	7	2

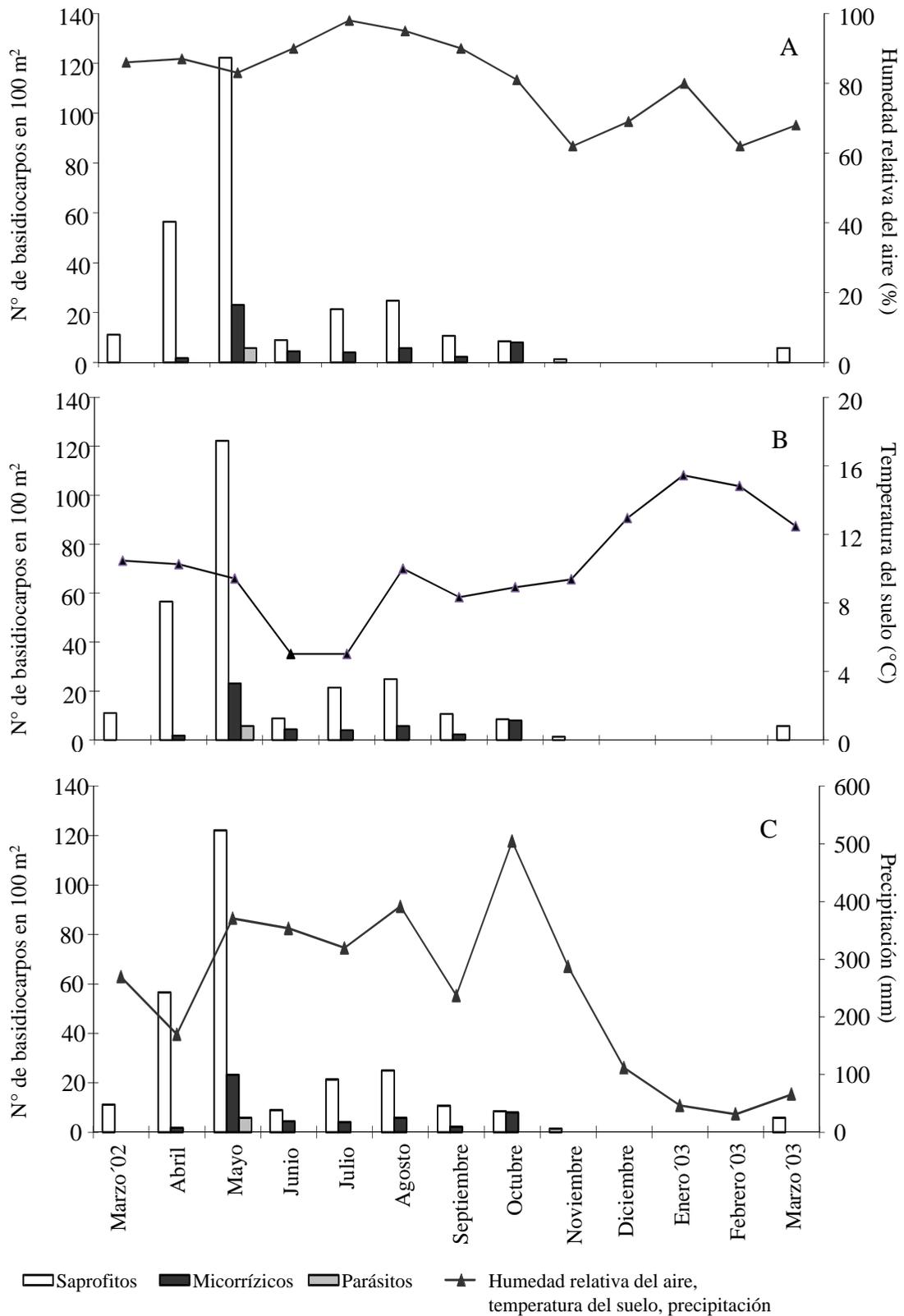


Figura 1. Variación del número de basidiocarpos (todas las parcelas) en el bosque de *Nothofagus obliqua* en relación con el porcentaje de humedad, temperatura y la precipitación.

Variation in basidiocarps number (all plots) in the *Nothofagus obliqua* forest related to humidity percentage, temperature and precipitation.

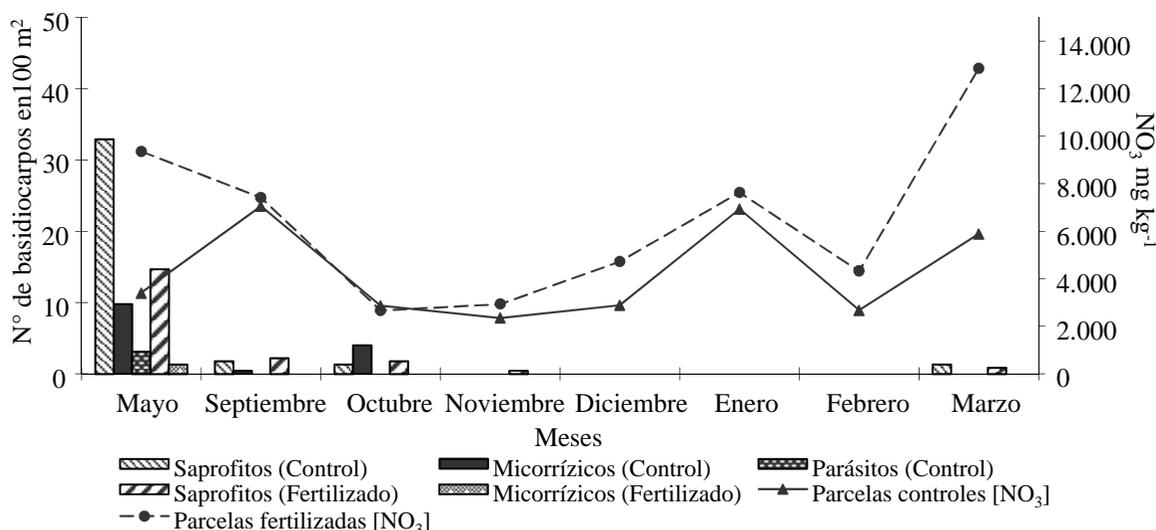


Figura 2. Variación del número de basidiocarpos en un bosque de *Nothofagus obliqua* en relación con la concentración de nitrógeno nítrico. Variation in the number of basidiocarps in the *Nothofagus obliqua* forest correlated to [NO₃].

Cuadro 2. Análisis de varianza de una vía basados en índices de diversidad entre las parcelas fertilizadas y controles. Analyses of variance based on diversity indices between fertilized plots and control.

Rol ecológico	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P
Saprofitos	S	58,52	1	58,52	1,531	0,229
	N	456,3	1	456,3	0,375	0,547
	H'	4,184	1	4,184	2,828	0,107
Micorrízicos	S	1,497	1	1,497	2,782	0,134
	N	16,60	1	16,60	18,170	0,000*
	H'	1,914	1	1,914	11,670	0,002*

S = número de especies. N = abundancia. H' = diversidad Shannon-Weiner, P < 0,05.

total de 420 especies de *Cortinarius* para los bosques de *Nothofagus* spp. de Argentina y Chile, específicamente para *N. obliqua* mencionan cinco especies. Garrido (1988) indica 35 especies de *Cortinarius* para los bosques de *Nothofagus* spp. que prosperan entre la región del Maule y de La Araucanía de Chile, 21 especies están asociados con *N. obliqua*. Valenzuela *et al.* (1998) destacan la abundancia de especies de *Cortinarius* en bosques de *N. dombeyi* y *N. obliqua* de la Depresión Intermedia de la región de Los Lagos de Chile. De acuerdo a Godoy y Palfner (1997), el género *Nothofagus* es un componente importante de los bosques del sur de Chile, estos presentan una alta dependencia por hongos simbios, como las ectomicorrizas. En lo referente a los carpoforos de los Agaricales saprofitos, en este estudio, las especies del género *Mycena* fueron las más abundantes y dominantes, lo que concuerda con lo señalado por Valenzuela *et al.* (1998) quienes indican que en bosques de *Nothofagus* spp. de la Depresión Intermedia, las especies del género *Mycena* se ven favorecidas en su crecimiento debido a que presentan cuerpos fructíferos pequeños y poco carnosos.

En el presente estudio se registran cinco especies no citadas para los bosques de *N. obliqua* de Chile: *C. pseudoclaricolor*, *C. vaginatus*, *I. geophyllomorpha* *M. austroavenacea* y *M. sanguinolenta*, estas especies, excepto *M. sanguinolenta* han sido citadas por Horak (1979) para bosques de *Nothofagus* spp. que prosperan en Argentina. Al respecto, Maas Geesteranus (1992a) señala que en Europa *M. sanguinolenta* fructifica en forma saprofito en árboles del género *Fagus*.

En estudios similares Garrido (1988), Valenzuela (1993) y Lazo (2001) han señalado que la mayor cantidad de basidiocarpos se registra en otoño y primavera, esto se debería a las condiciones climáticas óptimas y la adecuada temperatura del suelo. Cabe hacer notar que en el presente estudio durante la primavera en las parcelas (controles y fertilizadas) se recolectaron como promedio 27 basidiocarpos, siendo menor al número registrado en invierno y otoño, esto se podría deber a las abundantes precipitaciones que se presentaron durante esta estación (figura 1). Por otra parte, en invierno comparado con otoño se observó una

disminución de la cantidad de basidiocarpos para los hongos saprofitos y micorrízicos, lo que podría estar asociado a las bajas temperaturas del suelo, a la disminución de la humedad y copiosas precipitaciones registradas en los meses de junio a agosto (figura 1). Al respecto Landhäusser *et al.* (2002) afirman que las bajas temperaturas modifican el crecimiento de las hifas de los hongos ectomicorrízicos, alterando su capacidad de absorción y transporte de agua. En verano se registró el menor número de basidiocarpos de hongos saprofitos (figura 1), esto se debería a las escasas precipitaciones, altas temperaturas del suelo y a la poca disponibilidad de sustratos (hojas, tallos, etc.) que son necesarios para el desarrollo de los basidiocarpos.

En lo que respecta a los Agaricales micorrízicos, se observó en las parcelas fertilizadas versus las controles una disminución tanto en el número de especies como de basidiocarpos. Estos resultados concuerdan con Wiklund *et al.* (1995), Taylor *et al.* (2000) y Lilleskov *et al.* (2001), quienes señalan que altos niveles de nitrógeno afectan la diversidad y abundancia de taxa micorrízicas. Wiklund *et al.* (1995) indican que los altos depósitos de nitrógeno o fertilizaciones con nitrato de amonio, podrían cambiar la relación vástago/raíz, conduciendo mayor cantidad de carbohidratos hacia el vástago y reduciendo la disponibilidad de carbono en las raíces. Ello también se podría explicar debido a que las altas concentraciones de nitrógeno reducirían la producción de auxina y conduciría a una ruptura de la simbiosis micorrízica, pues podría cambiar el exudado de la raíz, alterando el ambiente fuera del suelo y su alrededor. Según Brunner (2001) el exceso de nitrógeno provocaría que el carbono de los carbohidratos pudiera ser utilizado para la asimilación del nitrógeno y no para el crecimiento fúngico. Lilleskov *et al.* (2001) y Carfrae *et al.* (2006) mencionan que un alto depósito de nitrógeno, influiría directamente en los factores ambientales tales como pH, nutrición de las plantas y la comunidad vegetal, y por ende actuarían alterando la estructura de la comunidad fúngica. Al respecto Berch *et al.* (2006), en un bosque de *Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm., de América del Norte, determinaron que el aumento de la fertilización nitrogenada (650 kg ha⁻¹ de nitrógeno en la parcela control a 1.350 kg ha⁻¹ de nitrógeno en la parcela experimental) redujo la riqueza de hongos ectomicorrízicos (de siete a cuatro géneros) y produjo una alteración de las comunidades fúngicas, existiendo hongos ectomicorrízicos como *Piloderma* sp., *Russula* sp. y *Suillus* sp., que fueron significativamente más sensibles a la adición de nitrógeno. Berch *et al.* (2009) realizaron el mismo tipo de estudio, pero en un bosque de *Picea glauca* var. *engelmannii*, la comunidad básica de hongos ectomicorrízicos para este bosque comprende cinco géneros de hongos, los autores no determinaron cambios en la comunidad, pero si en cuanto a su abundancia al compararlos con los hongos ectomicorrízicos de un bosque de *P. contorta* var. *latifolia*. Los autores determinaron un aumento de los hongos ectomicorrízicos *Amphinema* sp. y *Wilcoxia* sp., en la parcela experimental fertilizada

(1.400 kg ha⁻¹ de nitrógeno) del bosque de *P. glauca* var. *engelmannii*, ellos explican que este aumento se debería a la especie arbórea a micorrizar, textura del suelo y a la densidad de las comunidades de microorganismos (bacterias) y mesofauna (ácaros y colémbolos). Por su parte, Gillet *et al.* (2010), en un estudio de fertilización nitrogenada realizado en bosques de *Picea abies* (utilizando parcelas de 256 m²), determinaron diferencia estadísticamente significativas en la composición de la comunidad de hongos ectomicorrízicos entre la parcela control y fertilizada después de un año de evaluación, en cambio para los hongos saprofitos solo después de tres años se aprecian cambios en la comunidad. Kranabetter *et al.* (2009), en un estudio de bosques boreales usaron como indicadores de la fertilidad del suelo basidiocarpos de hongos ectomicorrízicos versus la cantidad de nitrógeno presente, agruparon los hongos ectomicorrízicos en distintas categorías de hongos (ampliamente tolerantes, especialistas, intolerantes y satélites), indican que los hongos ectomicorrízicos pertenecientes a la categoría satélite su presencia se debería a micrositios del suelo donde la concentración de nitrógeno es adecuada para producir fructificaciones. Además la riqueza de especies tuvo un comportamiento lineal positivo para los géneros *Inocybe*, *Russula* y *Lactarius* con respecto al gradiente de concentración de nitrógeno.

En lo que respecta a los hongos saprofitos, según Peter *et al.* (2001), son menos afectados por el incremento del nitrógeno en el suelo, pues ellos no son dependientes de los carbohidratos suministrados directamente por la especie hospedera para nutrirse usan tejidos vegetales muertos o necromasa. De acuerdo a los resultados del presente estudio, en las parcelas fertilizadas se determinó una leve disminución en el número de especies de Agaricales saprofitos versus las parcelas controles, lo que concuerda con Wiklund *et al.* (1995), quienes determinaron en bosques europeos de *Picea abies* (L.) Karst., una leve disminución de los hongos saprofitos debido al depósito de nitrógeno o fertilización con nitrato de amonio. Ello se podría explicar debido a que el carbono que forma parte de la materia muerta no se encontraría disponible para la nutrición de este tipo de hongos, produciéndose cambios químicos en éste, ya sea por el pH, o por el nitrógeno nítrico que al reaccionar con el agua forma pequeñas cantidades de ácido nítrico (HNO₃) que actuaría sobre los hidratos de carbono más simples, dejando en los restos vegetales sustancias de mayor complejidad como la lignina, que es difícil de degradar.

CONCLUSIONES

La abundancia y la diversidad (índice de Shannon-Wiener) de basidiocarpos de Agaricales *s.l.* micorrízicos en bosque secundario parcialmente caducifolio de *Nothofagus obliqua* se reduce con el aumento de la concentración de nitrógeno nítrico en el suelo. Además, con fertilización nitrogenada tiende a disminuir el número de especies de Agaricales saprofitos.

Basidiocarpos de cinco especies fueron recolectados por primera vez en bosque de *N. obliqua* de Chile: *Cortinarius pseudoclaricolor*, *C. vaginatus*, *Inocybe geophyllomorpha*, *Mycena austrovenacea* y *M. sanguinolenta*.

AGRADECIMIENTOS

A los Proyecto FONDECYT N° 1020989 y DID-UACH S-98-28 por el apoyo económico para realizar la presente investigación. Al Dr. Egon Horak por confirmar nuestro material fúngico.

REFERENCIAS

- Berch S, R Brockley, J Battigelli, S Hagerman, B Holl. 2006. Impacts of repeated fertilization on components of the soil biota under a young lodgepole pine stand in the interior of British Columbia. *Canadian Journal Forest Research* 36: 1415–1426.
- Berch S, R Brockley, J Battigelli, S Hagerman. 2009. Impacts of repeated fertilization on fine roots, mycorrhizas, mesofauna, and soil chemistry under young interior spruce in central British Columbia. *Canadian Journal Forest Research* 39: 889–896.
- Blake L, K Goulding. 2002. Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK. *Plant and Soil* 240: 235–251.
- Breitenbach J, E Kränzlin. 1991. Champignons de Suisse, contribution à la connaissance de la flore fongique de Suisse. Lucerna, Suiza. Edition Mykologia Lucerne, Tomo 3. 364 p.
- Breitenbach J, E Kränzlin. 1995. Fungi of Switzerland, a contribution to the knowledge of the fungal flora of Switzerland. Lucerna, Suiza. Edition Mykologia Lucerne, Tomo 4. 368 p.
- Cárcamo A, L Puentes, R Godoy, C Oyarzún, E. Valenzuela. 2004. Actividad biológica del suelo en un bosque de *Nothofagus Obliqua* (Mirb.) Oerst., Centro – sur de Chile. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 4: 14–25.
- Cox F, N Barsoum, E Lileskov, M Bidartondo. 2010. Nitrogen availability is a primary determinant of conifer mycorrhizas across complex environmental gradients. *Ecology Letters* 13:1103-1113.
- Garrido N. 1988. Agaricales *s.l.* und ihre Mykorrhizen in den *Nothofagus*-Wäldern Mittelehiles. Berlín, Alemania. Biblioteca Mycologica 120, J Cramer. 528 p.
- Gillet F, M Peter, F Ayer, R Büttler, S Egli. 2010. Long-term dynamics of aboveground fungal communities in a subalpine Norway spruce forest under elevated nitrogen input. *Oecologia* 164: 499-510.
- Godoy R, G Palfner. 1997. Ectomicorizas en *Nothofagus alpina* (P. et E.) Oerst y *N. dombeyi* (Mirb.) Oerst. del Sur de Chile. *Boletín Micológico* 12: 55–61.
- Horak E. 1979. Fungi, basidiomycetes Agaricales y Gasteromycetes Secotioides. Argentina, Buenos Aires. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Tomo XI, Fascículo 6. 524 p.
- Kranabetter J, J Friesen, S Gamiet, P Kroeger. 2009. Epigeous fruiting bodies of ectomycorrhizal fungi as indicators of soil fertility and associated nitrogen status of boreal forests. *Mycorrhiza* 19: 535-548.
- Krebs C. J. 1999. *Ecological Methodology*. 2nd ed. California, USA, Addison-Wesley Education Publishers. 620 p.
- Landhäuser S, T Muhsin, J Zwiazek. 2002. The effect of ectomycorrhizae on water relations in aspen (*Populus tremuloides*) and white spruce (*Picea glauca*) at low soil temperatures. *Canadian Journal of Botany* 80: 684–689.
- Lazo W. 2001. Hongos de Chile, Atlas Micológico. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 231 p.
- Lilleskov E, T Fahey, M Lovett. 2001. Ectomycorrhizal fungal aboveground community change over an atmospheric nitrogen deposition gradient. *Ecological Applications* 11: 397–410.
- Maas Geesteranus R. 1992a. Mycenas of the Northern Hemisphere. Studies in Mycenas and other papers. Holland, Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Vol. I, 571 p.
- Maas Geesteranus R. 1992b. Mycenas of the Northern Hemisphere. Conspectus of the Mycenas of the Northern Hemisphere. Holland, Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Vol. II, 493 p.
- Moser M, E. Horak. 1975. *Cortinarius* Fr. und nahe verwandte Gattungen in Südamerika. Germany. J Cramer. 628 p.
- Oyarzún C, R Godoy, S Leiva. 2002. Depositación atmosférica de nitrógeno en un transecto valle longitudinal-cordillera de Los Andes, centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 233–243.
- Peter M, F Ayer, S Egli. 2001. Nitrogen addition in a Norway spruce stand altered macromycete sporocarp production and below-ground ectomycorrhizal species composition. *New Phytologist* 149: 311–325.
- Sadzawka A. 1990. Métodos de análisis de suelo. Santiago, Chile. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental la Platina. 130 p.
- Singer R. 1986. The Agaricales in modern taxonomy. USA. Koeltz Scientific Books. 980 p.
- Taylor A, F Martin, D Read. 2000. Fungal diversity in ectomycorrhizal communities of Norway Spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] and beech (*Fagus sylvatica* L.) along North-South transects in Europe. *Ecological Studies* 142: 343–363.
- Theodorov C, G Bowen. 1983. Effects of temperatura, moisture, and litter on nitrogen mineralization in *Pinus radiata* forest soil. *Australian Forest Research* 13: 113–119.
- Valenzuela E. 1993. Estudio sistemático, corológico y ecológico de los Agaricales *sensu lato* de los bosques autóctonos de la región de los Lagos en Chile. Alcalá de Henares, España. Tesis doctorado. Universidad de Alcalá de Henares, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología Vegetal, sección biológica, 374 p.
- Valenzuela E, G Moreno, S Garnica, C Ramírez. 1998. Micosociología en bosques nativos de *Nothofagus* y plantaciones de *Pinus radiata* en la X Región de Chile: diversidad y rol ecológico. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 133–146.
- Wiklund K, L Nilsson, S Jacobsson. 1995. Effect of irrigation, fertilization and artificial drought on basidioma production in a Norway spruce stand. *Canadian Journal of Botany* 73: 200–208.

Recibido: 07.02.12
Aceptado: 26.12.12