

Estatus micotrófico de la flora vascular en bosques de coníferas nativas del sur de Chile.

Mycotrophic status of the vascular flora in native conifer forests from southern Chile.

ROBERTO GODOY, ROBERTO ROMERO y RUBEN CARRILLO.

Instituto de Botánica. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile. Casilla 567. Valdivia - Chile.

RESUMEN

En el Hemisferio Sur la distribución de especies de coníferas nativas se encuentran limitadas a pequeñas áreas, hecho acentuado por la peculiar geografía del territorio y el marcado aislamiento a que han estado sometidas. En la actualidad constituyen comunidades boscosas que a menudo sobreviven bajo condiciones extremas, si se consideran el clima y las características físico-químicas del sustrato, donde las asociaciones micorrízicas podrían jugar un rol importante. Frente a la carencia de estudios sobre biología del suelo, se consideró de interés investigar el estatus micotrófico de la flora vascular presente en cuatro comunidades boscosas de coníferas nativas del Sur de Chile (Bosques de: *Araucaria araucana*, *Austrocedrus chilensis*, *Fitzroya cupressoides* y *Pilgerodendron uviferum*). De un total de 83 especies vasculares investigadas, 69 presentaron asociación micorrízica (61 vesículo-arbuscular, 5 ericoide, 2 ectomicorriza, y 1 orquídea), cuyos resultados son discutidos en base al espectro biológico, análisis de suelo y características del área de estudio. En forma paralela se realizó un ensayo de inoculación en *A. araucana* con *Glomus intraradices* para determinar grado de colonización y eficiencia del hongo micorrízico. Los resultados permiten establecer, un efecto positivo del endosimbionte en el crecimiento de las plántulas.

Palabras claves: Micorrizas, simbiosis, inoculación con hongos micorrízicos.

ABSTRACT

The distribution of native conifers in the Southern Hemisphere are limited to small areas. This is emphasized by diverse processes, such as environmental and geographic isolation. Therefore, today these forests often survive in extreme conditions including climatic and physico-chemical soil characteristics. Mycorrhizal associations are assumed to play an important role, for the colonization of plants in these areas. Considering the lack of studies on soil biology, it would be interesting to examine the mycotrophic status of the vascular flora of four native conifer forests in southern Chile (*Araucaria araucana*, *Austrocedrus chilensis*, *Fitzroya cupressoides* and *Pilgerodendron uviferum*). Of a total of 83 vascular species investigated, 69 had mycorrhizal associations (61 vesicular-arbuscular, 5 ericoid, 2 ectomycorrhizal and 1 orchid). Simultaneously a bioessay was carried out to determine the degree of colonization of the mycorrhizal fungi by inoculating *A. araucana* with a strain of *Glomus intraradices*. The results indicate a positive effect of the endosymbiont on the growth of seedling.

Key words: Mycorrhiza, symbiosis, inoculation with mycorrhizal fungi.

INTRODUCCION

Se ha documentado ampliamente la progresiva y sostenida explotación de los recursos naturales renovables terrestres, provocando a la fecha un efecto irreversible de impacto ambiental (Perry & Borchers 1990). La extracción de la cubierta arbórea, cuya acción más evidente es la inmediata erosión del suelo, cambios climáticos, empobrecimiento de las comunidades y de la biodiversidad; alteran las interacciones

internas que principalmente determinan la productividad y estabilidad de los sistemas biológicos, debido a que estos poseen una fuerte relación positiva de retroalimentación (Perry et al. 1989, Perry & Amaranthus 1990, Hawksworth 1991).

El Sur de Chile, caracterizado por poseer la masa boscosa más austral del planeta y que corresponde al remanente de una flora cuya extensión alcanzó históricamente latitudes aún más meridionales que las actuales, no está ajeno al efecto antrópico

donde el recurso forestal nativo constituye hoy en día la principal área de explotación. La flora autóctona del Sur de Chile, posee alrededor de 84 especies arbóreas con un 50% de taxa endémicos, de un gran significado genético, fitogeográfico y ecológico (Armesto 1992). Los conocimientos de su biología, son a la fecha insuficientes, más aún cuando se consideran dentro de los programas de explotación del recurso, sin tener los elementos básicos para una restauración (Carrillo et al. 1992). Un caso de particular atención lo constituyen, las coníferas endémicas del Sur de Chile, varias de las cuales se encuentran limitadas a pequeñas áreas de distribución (Golte 1978).

Frente a la progresiva utilización del bosque nativo en nuestro país y la urgente necesidad de incrementar los conocimientos sobre la biología del suelo, particularmente en aquellas comunidades vegetales que incluyen especies amenazadas de extinción, se consideró que uno de los aspectos de gran relevancia es el estudio de la rizósfera, en particular el estatus micotrófico de la flora, lo cual permitiría conocer la influencia de la simbiosis micorrízica en la estructura y estabilidad de estas comunidades boscosas.

MATERIAL Y METODOS

Descripción de las localidades estudiadas.

El presente estudio fue realizado en dos localidades del centro-sur de Chile. La primera localidad corresponde al Parque Nacional Conguillío, ubicado en la Cordillera de Los Andes (38°40' S y 71°49' W), entre los 800 y 1200 m de altitud. El clima es templado cálido con un promedio de 1.919 mm de precipitación anual y las temperaturas medias anuales son de 8.5 °C (Montaldo 1974, Peralta 1980).

Gran parte de la roca fundamental está constituida principalmente por granodioritas y volcanitas andesítico-basálticas, cubiertas por cenizas, material de escoria y piedra pómez (Peralta 1980). Una caracterización química de los suelos es indicada en la Tabla 1. En general la vegetación del lugar ofrece un mosaico de formaciones boscosas donde predomina el bosque de *Araucaria araucana* (*Araucariaceae*). Los bosques de *Austrocedrus chilensis* (*Cupressaceae*) se encuentran limitadas a pequeñas áreas en la Cordillera, en terrenos rocosos y escarpados.

La segunda localidad corresponde al Monumento Natural Alerce Costero, ubi-

TABLA 1

Caracterización físico-química de los suelos en bosques de coníferas nativas.

A= *Araucaria araucana*; B= *Austrocedrus chilensis*;
C= *Fitzroya cupressoides*; D= *Pilgerodendron uviferum*

Physico-chemical characterization of soils in forest of native conifers.

A= *Araucaria araucana*; B= *Austrocedrus chilensis*;
C= *Fitzroya cupressoides*; D= *Pilgerodendron uviferum*

Parámetros	Bosques			
	A	B	C	D
pH en H ₂ O	5.43	6.08	4.23	4.15
pH en KCl	4.70	5.60	3.35	3.47
Conductividad (μS)	69.00	48.00	126.00	223.00
Carbono Total (%)	9.00	0.87	6.30	7.91
Nitrógeno Total (%)	0.43	0.06	0.19	0.50
C/N	20.93	14.55	33.15	15.82
Fósforo absorbible (ppm)	4.70	1.90	1.00	20.30

cado en la vertiente oriental de la Cordillera de La Costa (40°13' S, 73°39' W) entre los 700 y 1.050 m de altitud. El área de estudio, está influenciada por un clima frío y húmedo del tipo templado y lluvioso de costa occidental (Fuenzalida 1965). El promedio de precipitaciones anuales, se estiman en 4000 mm (Heusser 1982).

El sustrato en general está constituido por roca metamórfica de esquistos micáceos, pizarrosas, arcillas y cloríticas, ricas en cuarzo y mica (Illies 1970, Heusser 1982). Características del suelo son aportadas en la Tabla 1.

En la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa se establece una zonación altitudinal de las formaciones boscosas, en la que por sobre los 800 m de altitud se estudiaron los bosques de: *Fitzroya cupressoides* (*Cupressaceae*) y *Pilgerodendron uviferum* (*Cupressaceae*) (Ramírez & Riveros 1975, Donoso et al. 1990).

Métodos de colecta y determinación

La flora vascular de cada comunidad boscosa, fue inventariada según la nomenclatura de Marticorena & Quezada (1985). La determinación de las formas de vida se realizó de acuerdo a Ellenberg & Müller-Dombois (1967).

Para cada especie vascular, se colectó material radical funcional, considerando a lo menos cinco individuos con el objeto de establecer pre-

sencia/ausencia y tipo de asociación micorrízica. Para su observación bajo el microscopio óptico, el material fue teñido según Koske & Gemma (1989). En el caso particular de las especies ectótrofas, el material fue tratado de acuerdo a Agerer (1987) y observado bajo microscopio estereoscópico.

Con el objeto de estimar el número de esporas de hongos micorrízicos vesículo-

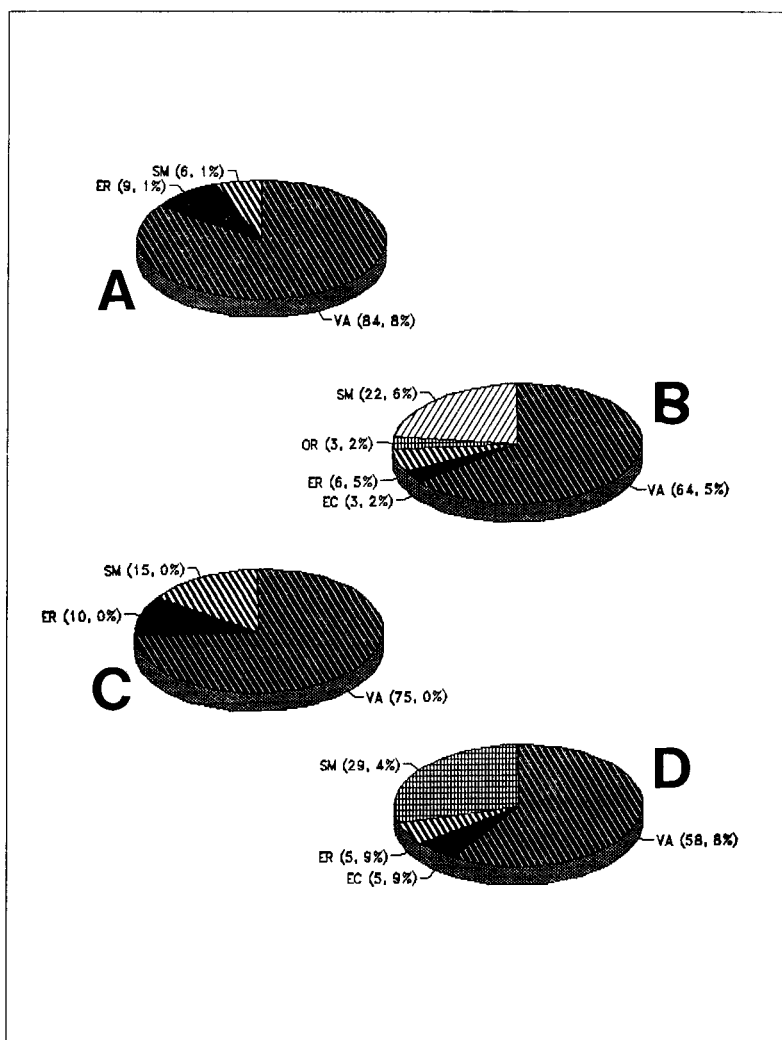


Fig. 1: Tipos de micorriza de la flora vascular en los bosques de coníferas

A= *A. araucana*; B= *A. chilensis*; C= *F. cupressoides*; D= *P. uviferum*.

VA= Vesículo-Arbuscular; ER= Ericoide; EC= Ectomicorriza; OR= Orquídea; SM= Sin micorriza.

Mycorrhizal types of the vascular flora in the forests of conifers.

A= *A. araucana*; B= *A. chilensis*; C= *F. cupressoides*; D= *P. uviferum*.

VA= Vesículo-Arbuscular ER= Ericoide; EC= Ectomycorrhizae; OR= Orchid; SM= Nonmycorrhizal

TABLA 2

Estatus micotrófico de la flora vascular en comunidades boscosas de coníferas nativas.

FV= Formas de vida (Fa= Fanerófito, Ca= Caméfito,

He= Hemicriptófito, Cr= Criptófito, Te= Terófito).

A= *Araucaria araucana*; B= *Austrocedrus chilensis*;

C= *Fitzroya cupressoides*; D= *Pilgerodendron uviferum*.

VA= Vesículo-Arbuscular; ER= Ericoide; EC= Ectomicorriza

OR= Orquídea; SM= Sin micorriza; -= Ausencia de la especie en el bosque.

Mycotrophic status of the vascular flora in forests communities of native conifers.

FV= Life forms (Fa= Phanerophytes, Ca= Chamaephytes,

He= Hemicryptophytes, Cr= Cryptophytes, Te= Terophytes).

A= *Araucaria araucana*; B= *Austrocedrus chilensis*; C= *Fitzroya cupressoides*; D= *Pilgerodendron uviferum*;

VA= Vesículo-Arbuscular ER= Ericoide; EC= Ectomycorrhizae;

OR= Orchid; SM= Nonmycorrhizal = Absence of species in the forest.

FV	Especies	Bosques			
		A	B	C	D
He	<i>Acaena pinnatifida</i>	VA	VA	-	-
He	<i>Adenocaulon chilense</i>	VA	-	-	-
Ca	<i>Adesmia longipes</i>	-	VA	-	-
Ca	<i>Adesmia retusa</i>	-	VA	-	-
He	<i>Adiantum sulphureum</i>	-	VA	-	-
He	<i>Agrostis violaceae</i>	-	VA	-	-
Ca	<i>Alstroemeria aurea</i>	VA	-	-	-
Fa	<i>Araucaria araucana</i>	VA	-	-	-
Fa	<i>Asplenium dareoides</i>	-	VA	-	-
Fa	<i>Austrocedrus chilensis</i>	-	VA	-	-
Fa	<i>Azara microphyla</i>	VA	-	-	-
Fa	<i>Baccharis magellanica</i>	-	-	VA	-
Fa	<i>Baccharis nivalis</i>	VA	-	-	-
Fa	<i>Berberis linearifolia</i>	VA	-	-	-
Fa	<i>Berberis montana</i>	VA	VA	-	-
Fa	<i>Berberis serrato-dentata</i>	-	-	VA	-
He	<i>Blechnum penna-marina</i>	VA	-	-	-
He	<i>Calceolaria biflora</i>	VA	-	-	-
He	<i>Carex sp.</i>	-	-	-	SM
Fa	<i>Coriaria ruscifolia</i>	-	VA	-	-
He	<i>Cyperus sp</i>	-	SM	-	-
Fa	<i>Chascolytrum rosmarinifolium</i>	-	VA	-	-
Cr	<i>Chloraea gaudichaudii</i>	-	OR	-	-
Fa	<i>Chusquea culeou</i>	VA	-	-	-
Fa	<i>Chusquea nigricans</i>	-	-	-	VA
Fa	<i>Chusquea tenuiflora</i>	-	-	VA	VA
Fa	<i>Desfontainia spinosa</i>	-	-	VA	-
Fa	<i>Dioscorea brioniifolia</i>	VA	-	-	-
Fa	<i>Drimys winteri</i>	VA	-	VA	VA
He	<i>Drosera uniflora</i>	-	-	-	VA
Ca	<i>Eleocharis sp.</i>	VA	-	-	-
Fa	<i>Embothrium coccineum</i>	SM	-	SM	-
He	<i>Eryngium paniculatum</i>	-	VA	-	-

He	<i>Festuca monticola</i>	VA	-	-	-
Fa	<i>Fitzroya cupressoides</i>	-	-	VA	-
He	<i>Fragaria chiloensis</i>	VA	-	-	-
He	<i>Gamochaeta spiciformis</i>	-	SM	-	-
Fa	<i>Gaultheria phillyreifolia</i>	ER	-	-	-
Fa	<i>Gaultheria sp.</i>	ER	-	-	-
Fa	<i>Gevuina avellana</i>	-	SM	-	-
He	<i>Gleichenia quadripartita</i>	-	-	-	VA
He	<i>Gleichenis squamulosa</i>	-	-	VA	-
Fa	<i>Hymenophyllum plicatum</i>	-	SM	-	-
He	<i>Hypochoeris tenuifolia</i>	-	-	VA	VA
He	<i>Juncus planifolium</i>	-	-	-	SM
Fa	<i>Lathyrus subandinus</i>	VA	VA	-	-
Fa	<i>Lomatia ferruginea</i>	-	-	SM	-
Fa	<i>Lomatia hirsuta</i>	SM	SM	-	-
He	<i>Luzula racemosa</i>	-	VA	-	-
Ca	<i>Lycopodium magellanicum</i>	-	-	VA	-
Ca	<i>Lycopodium scariosum</i>	-	-	VA	-
Fa	<i>Maytenus disticha</i>	VA	-	-	-
Fa	<i>Maytenus magellanica</i>	VA	VA	-	-
Fa	<i>Mutisia spinosa</i>	VA	VA	-	-
Fa	<i>Myoschilos oblonga</i>	-	SM	SM	-
Fa	<i>Nothofagus antarctica</i>	-	-	-	EC
Fa	<i>Nothofagus dombeyi</i>	-	EC	-	-
Ca	<i>Oreobolus obtusangulus</i>	-	-	-	SM
He	<i>Osmorhiza chilensis</i>	VA	-	-	-
He	<i>Ourisia sp.</i>	VA	-	-	-
Fa	<i>Ovidia pillo-pillo</i>	-	-	-	VA
He	<i>Perezia pedicularifolia</i>	-	VA	-	-
Fa	<i>Pernettya minima</i>	-	ER	-	ER
Fa	<i>Pernettya mucronata</i>	-	ER	ER	-
Fa	<i>Pernettya pumila</i>	ER	-	ER	-
Fa	<i>Philesia magellanica</i>	-	-	VA	-
He	<i>Pinguicula antarctica</i>	-	-	-	SM
Fa	<i>Pilgerodendron uviferum</i>	-	-	-	VA
He	<i>Poa obvalata</i>	VA	VA	-	-
Fa	<i>Podocarpus nubigena</i>	-	-	VA	-
He	<i>Polystichum mohrioides</i>	VA	-	-	-
Fa	<i>Polypodium feuillei</i>	-	SM	-	-
Fa	<i>Ribes valdivianum</i>	VA	-	-	-
He	<i>Rumohra adiantiformis</i>	-	VA	-	-
He	<i>Senecio acanthifolius</i>	VA	-	VA	-
He	<i>Senecio chionophyllus</i>	-	VA	-	-
He	<i>Senecio trifurcatus</i>	-	VA	-	-
He	<i>Schizae fistulosa</i>	-	-	-	VA
Ca	<i>Schoenu rhynchosporoides</i>	-	-	-	SM
He	<i>Sisyrinchium arenarium</i>	VA	-	-	-
Fa	<i>Ugni candollei</i>	-	-	VA	VA
He	<i>Uncinia tenuis</i>	-	-	VA	-
Te	<i>Vicia acerosa</i>	VA	-	-	-
Total	(83 especies)	33	31	20	17

arbusculares, se colectó en cada comunidad boscosa cinco muestras de suelo de 300 g cada una, a nivel de la rizósfera (20 a 30 cm de profundidad), a partir de las cuales se obtuvo una muestra compuesta. La extracción y cuantificación de esporas micorrízicas vesículo-arbusculares se realizó según Daniels & Skipper (1982). Los valores fueron sometidos a un análisis de varianza y posterior tratamiento con un test de Tukey ($p = 0.05$).

Ensayo de inoculación

Para el bioensayo de inoculación micorrízica controlada en *A. araucana*, se utilizó suelo obtenido del bosque original. Una porción de éste se conservó en estado natural, y el resto se fumigó con bromuro de metilo con el objeto de eliminar el componente biológico. En maceteros previamente esterilizados de 1 l se realizaron los siguientes tratamientos: A= Suelo Fumigado, B= Suelo Natural y C= Suelo Natural + Inóculo. Un número de 500 (± 25) esporas de *Glomus intraradices* contenidas en 120 cc de turba (medio de soporte), fue adicionado al tratamiento C y un volumen equivalente en turba estéril para el tratamiento B y control (A), con el objeto de estandarizar las características del sustrato.

Las semillas de *A. araucana* colectadas en el bosque original fueron desinfectadas mediante una solución de hipoclorito de sodio al 0.1% por 5 segundos (Hensel et al. 1990) e incubadas en arena húmeda esterilizada para su germinación. Posteriormente se trasplantaron aquellas con una radícula igual a un centímetro de longitud. El ensayo consideró 15 maceteros por tratamiento, el que fue mantenido en invernadero con el suelo a capacidad de campo, por un período de cinco meses.

Para estimar la eficiencia del simbionte se procedió a medir variables morfométricas y peso (fresco y seco) del vástago y raíz en 12 plántulas por tratamiento. Mediante un análisis de varianza y con un test de Tukey a posteriori ($p = 0.05$) se analizaron los datos. En forma paralela el sistema radical de tres plántulas por tratamiento, fue fijado y teñido (Koske & Gemma 1989), para cuantificar el grado de colonización micorrízica según Giovannetti & Mosse (1980), estimando la frecuencia e intensidad (Godoy 1989).

RESULTADOS

En la Tabla 2 se presenta el catastro de la flora vascular en los bosques de coníferas investigados, indicando presencia o ausencia y tipo de asociación micorrízica, para

TABLA 3

Tipos de micorriza asociada a los diferentes grupos de plantas superiores.
VA= Vesículo-Arbuscular; ER= Ericoide; EC= Ectomicorriza; OR= Orquídea;
SM= Sin micorriza; -= Ausencia de especies

Mycorrhizal types associated to different groups of vascular plants.
VA= Vesicular-Arbuscular; ER= Ericoid; EC= Ectomycorrhizae; OR= Orchid;
SM= Nonmycorrhizal; -= Absent of species.

	Tipos de Micorriza					Total
	VA	ER	EC	OR	SM	
Pteridofitos	10	-	-	-	2	12
Gimnospermas	5	-	-	-	-	5
Angiospermas	46	5	2	1	12	66
Total .	61	5	2	1	14	83

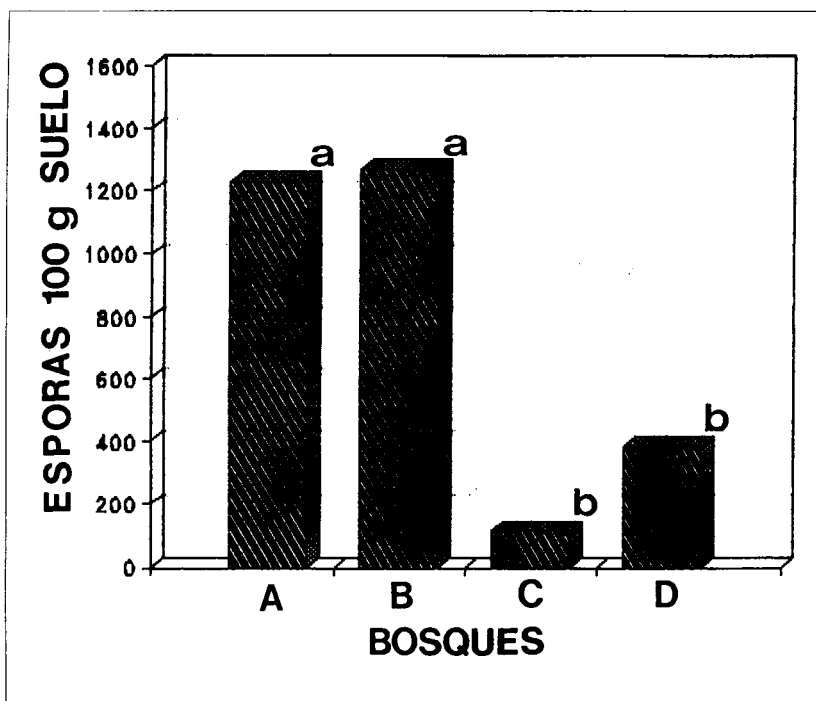


Fig. 2: Contenido de propágulos VA en 100 g de suelo en las comunidades boscosas de coníferas.

A. Bosque de *Araucaria araucana*; B. Bosque de *Austrocedrus chilensis*; C. Bosque de *Fitzroya cupressoides*; D. Bosque de *Pilgerodendron uviferum*. Valores medios con la misma letra no son significativamente diferentes por el test de Tukey.

Contents of propagules VA in 100 g of soil in their forest communities of native conifers.

A. Forest of *Araucaria araucana*; B. Forest of *Austrocedrus chilensis*; C. Forest of *Fitzroya cupressoides*; D. Forest of *Pilgerodendron uviferum*. Means values followed by the same letter are not significantly different to the Tukey test.

un total de 83 especies de plantas vasculares. Varios de lo taxa comparten más de una comunidad boscosa, observándose que los bosques de la Cordillera de Los Andes presentan un mayor número de especies (*Araucaria araucana* 33 y *Austrocedrus chilensis* 31), en comparación con los bosques de la Cordillera de La Costa (*Fitzroya cupressoides* 20 y *Pilgerodendron uviferum* 17).

La Tabla 3 muestra los tipos de asociación micorrízica asociada a los diversos grupos de plantas vasculares. Del total de la flora vascular, 61 especies presentaron asociación micorrízica del tipo vesículo-arbuscular (VA), 5 ericoides, 2 ectomicorriza, 1 orquídea y 14 especies no presentaron micorrizas.

De un total de 12 pteridófitos, 10 presentan asociación del tipo VA. Los taxa carentes de asociación simbiótica en este grupo son las epífitas *Hymenophyllum plicatum* y *Polypodium feuillei*. Las coníferas investigadas, (5 especies), presentan asociación del tipo VA, destacando en *A. araucana* y *Podocarpus nubigena* la presencia de nódulos radiculares fuertemente colonizados por el endosimbionte micorrízico. Con respecto a las Angiospermas, 46 especies (69.7%), evidenciaron asociación del tipo VA, 5 especies (7.6%) pre-

sentan asociación ericoide, 2 especies (3.4%) del género *Nothofagus*, presentan ectomicorriza y 1 especie (1.5%), *Chloraea gaudichaudii* presenta el tipo de micorriza orquídea. Doce especies (18.2%), carecen de asociación simbiótica y corresponden en general a los típicos taxa descritos como no micorrizados. Ellas incluyen las Familias *Proteaceae* (*Embotrium coccineum*, *Gevuina avellana*, *Lomatia ferruginea* y *L. hirsuta*), *Cyperaceae* (*Carex sp.*, *Cyperus sp.*, *Oreobulus obtusangulus* y *Schoenus rhynchosporoides*). Además, *Juncus planifolius* (*Juncaceae*), *Gamochaeta spiciformis* (*Asteraceae*), *Myoschilos oblonga* (*Santalaceae*), y *Pinguicula antarctica* (*Lentibulariaceae*).

Se registró asociaciones simbióticas tripartitas en la flora de las comunidades boscosas en la Cordillera de Los Andes. Las especies pertenecientes a la Familia *Papilionaceae* que además de presentar asociación micorrízica del tipo VA, poseen nódulos radiculares colonizados por bacterias del género *Rhizobium*. Las especies involucradas corresponden a *Adesmia longipes*, *A. retusa*, *Lathyrus subandinus* y *Vicia acerosa*. En los bosques de coníferas de la Cordillera de La Costa no se encontraron asociaciones tripartitas.

Al analizar el estatus micotrófico para cada asociación boscosa de coníferas nativas, resumidas en la Fig. 1, se observa que en el bosque de *A. araucana* 28 especies (84.8%), de un total de 33, poseen asociación del tipo VA, 3 (9.1%) presentaron el tipo ericoide y 2 especies (6.1%), no presentaron micorriza. En el bosque de *A. chilensis* con 31 especies registradas, 20 (64.5%) poseen asociación VA, 1 (3.2%) ectomicorriza, 2 (6.5%) ericoide, 1 (3.2%) orquídea y 7 (22.6%), carecen de micorrización. Una tendencia similar en proporción se observó para los bosques de la Cordillera de La Costa, dominando en ambos el tipo vesículo-arbuscular, con 15 (75%) y 10 (58.8%) especies para los bosques de *F. cupressoides* y *P. uviferum*, respectivamente. Sólo una especie (3.2%), presentó ectomicorriza y corresponde a

N. antarctica que forma parte del bosque de *P. uviferum*. Las especies vasculares con asociación del tipo ericoide son *Pernettya mucronata* y *P. pumila*, pertenecientes al bosque de *F. cupressoides*, *P. mínima*, en el bosque *P. uviferum*. Se registraron 3 especies no micorrizadas (15%), para el bosque de *F. cupressoides* y 5 (29.4%), para el de *P. uviferum*.

La distribución de los tipos de asociación micorrízica en relación a la forma de vida,

para la totalidad de la flora analizada, se indica en la Tabla 4. Se observa el predominio del tipo VA, en todas las formas de vida del espectro biológico. El tipo ericoide es registrado en arbustos de la Familia *Ericaceae*, que corresponden a los fanerófitos. La asociación ectomicorrízica es exclusiva de la forma de vida fanerofítica, y está asociada al género *Nothofagus*. *Ch. gaudichaudii* con el tipo micorrízico orquídea que corresponde a un criptófito (geófito), recolectado en el bosque de *A. chilensis*.

El contenido total de propágulos de hongos micorrízicos VA contenidos en el suelo de comunidades boscosas, es indicado en la Fig. 2. Se observa que los bosques de las regiones Andinas presentan un valor superior respecto a los bosques de la Costa. De esta forma, el mayor valor obtenido está representado en el bosque de *A. chilensis* con 1280 esporas y en segunda posición el bosque de *A. araucana* con un valor promedio de 1.230 esporas por 100 g de suelo, respectivamente. Sin embargo los bosques de *F. cupressoides* y *P. uviferum* presentan un contenido total de 210 y 380 esporas por 100 gramos de suelo respectivamente, lo que pone de manifiesto una diferencia sustancial al comparar ambas localidades cordilleranas.

TABLA 4

Tipos de micorriza de la flora vascular en los bosques de coníferas v/s formas de vida.

VA= Vesículo-ER= Ericoide; EC= Ectomicorriza;

OR= Orquídea; SM= Sin micorriza.

Mycorrhizal types of the vascular flora in the forests of conifers versus life forms. A= Vesicular

Arbuscular; ER= Ericoid; EC= Ectomycorrhizae;

OR= Orchid; SM= Nonmycorrhizal.

	Tipos de Micorriza					Total
	VA	ER	EC	OR	SM	
Fanerófito	29	05	02	00	07	43
Caméfito	04	00	00	00	01	05
Hemicriptófito	25	00	00	00	05	30
Criptófito	02	00	00	01	01	04
Terófito	01	00	00	00	00	01
Total	61	05	02	01	14	83

TABLA 5

Bioensayo de inoculación con *Glomus intraradices*: Variables morfométricas, Peso fresco y Peso seco.
A= Control (Suelo fumigado); **B**= Suelo Natural; **C**= Suelo Natural+ Inóculo; *= Significancia de los tratamientos B y C v/s control; °= Significancia entre los tratamientos B y C.

Bioassay of inoculation with *Glomus intraradices*. Morphometric variables Fresh and Dry weights; **A**= Control (Fumigated soil); **B**= Natural soil; **C**= Natural soil + inoculum; *= Significance of the treatment B and C v/s Control; °= Significance between B and C.

Parámetros		A	B	C	
Long. Raíz	(cm)	9.20	12.04*	13.86*	
Long. Tallo	(cm)	3.48	4.86*	5.49*	
Peso Fresco Raíz	(g)	1.62	1.45	2.40*	°
Peso Fresco Tallo	(g)	0.53	0.80*	1.15*	°
Peso Seco Raíz	(g)	0.69	0.44	0.74	°
Peso Seco Tallo	(g)	0.15	0.27*	0.36*	°

TABLA 6

Grado de colonización micorrízica (frecuencia-intensidad) en el ensayo de inoculación de *A. araucana* con *Glomus intraradices*. **A** = Control (Suelo fumigado); **B** = Suelo Natural; **C** = Suelo Natural + Inóculo.

Degrees of mycorrhizal colonization (frequency - intensity) in the bioassay of inoculation in *A. araucana* with *Glomus intraradices*; **A** = Control (Fumigated soil); **B** = Natural soil; **C** = Natural soil + Inoculum.

Parámetros	A	B	C
Frecuencia Micorriza (%)	0.00	60.00	74.00
Intensidad Micorriza (%)	0.00	14.10	20.30

Los resultados del ensayo de inoculación controlada con el endosimbionte micorrízico en *A. araucana*, son indicados en la Tabla 5. Los valores promedios de longitud de raíz y tallo, del tratamiento B (suelo natural) y C (suelo natural + inóculo) son significativamente superiores al control. El tratamiento C tiene el valor más alto con 13,86 cm y 5,48 para raíz y tallo, respectivamente. El peso fresco de raíz y tallo tiene un comportamiento diferente. En la raíz, sólo el tratamiento B es significativamente superior al control. El peso seco del tallo, nuevamente refleja un efecto positivo del endosimbionte, siendo los tratamientos B y C significativamente mayores

que el control. Una situación similar, se refleja en la biomasa aérea y subterránea, siendo mucho más clara la diferencia a nivel del vástago.

Al analizar el grado de colonización micorrízica del sistema radical en los tratamientos B y C, se observa que la frecuencia de colonización es de 60 y 74%, respectivamente (Tabla 6). Con respecto a la intensidad, del grado de colonización existe una relación proporcional a la variable frecuencia, con 14,1 y 20,3 % para el tratamiento B y C, respectivamente. Este hecho reafirma que el grado de colonización provoca un efecto positivo en relación con el crecimiento de acuerdo a los valores de

las variables analizadas. Por otro lado, la fumigación del suelo y por ende la disminución de la población microbiana, tiene un efecto negativo en el desarrollo de las plantas.

DISCUSION

El interés por el estudio sobre biología del suelo ha aumentado notoriamente en los últimos años. La importancia del suelo para la productividad primaria es ampliamente documentada, por ser una fuente de agua y elementos nutritivos, proveer además de la matriz necesaria para diversos procesos biológicos, involucrados en el ciclo de los nutrientes (Perry et al. 1989). El rol de las plantas en la formación del suelo y las interacciones con los microorganismos, particularmente los organismos vivos de la rizósfera, constituyen un eslabón de estrecha dependencia y altamente sensibles a la perturbación (Godoy 1989, Harley 1989).

La constatación empírica de conexiones subterráneas, mediante una red de hifas de hongos micorrízicos con los hospedantes, tanto a nivel intra como interespecífico pone de manifiesto una gran unidad fisiológica en la absorción y transporte de sustancias cuya coexistencia de relaciones ecológicas y reproductivas son mantenidas por un largo período activo, permitiendo con ello la estabilidad del ecosistema (Read 1984, Harley 1989).

El estatus micorrízico de la flora vascular, asociada a las comunidades boscosas de coníferas nativas en el Sur de Chile, que suman un total de 83 especies, demuestra que la mayoría de los taxa investigados (83,13%), presentaron asociación micorrízica. Al analizar los tipos de asociación micorrízica presentes en los diferentes grupos de plantas vasculares se constató que 10 de los 12 Pteridófitos encontrados (83,3%), poseen micorriza del tipo VA lo cual concuerda, con estudios para la región (Carrillo et al. 1992), al igual trabajos que abarcan incluso, un mayor número de especies para el Hemisferio Norte (Harley & Harley 1987, Newman & Reddell 1987).

Con respecto a las Gimnospermas (5 especies), todas poseen micorrización del tipo

VA, hecho documentado con anterioridad por Godoy & Mayr (1989). Sin embargo, llama la atención que si bien para el Hemisferio Norte existe un mayor número de especies analizadas, la mayoría de ellas poseen ectomicorriza, siendo de esta forma el tipo de asociación dominante en particular para los representantes de la Familia *Pinaceae*. La asociación ectoendomicorriza y micorriza VA, corresponden a los tipos menos frecuentes en las gimnospermas a nivel mundial (Harley & Harley 1987, Newman & Reddell 1987, Mikola 1988).

Los resultados obtenidos para las 66 especies de Angiospermas aparecen más diversificados, pero con un claro dominio del tipo micorrízico VA. La proporción de los tipos micorrízicos obtenidos concuerdan claramente con los registros para comunidades boscosas templadas del Hemisferio Norte como, es el caso del bosque de *Fagus* (Mayr & Godoy 1989), y bosques de coníferas y latifoliadas en EE.UU. (Berliner & Torrey 1989). El tipo micorrízico monotrofoide no es registrado en el presente estudio, aunque se ha descrito para comunidades boscosas del Hemisferio Norte (Berliner & Torrey 1989) y últimamente, en los bosques de Boldo del Sur de Chile (Carrillo et al. 1992).

En relación a las Pteridófitas epífitas no micorrizadas, es un hecho también demostrado para bosques tropicales (Lessica & Antibus 1990). Para el caso de las 12 especies de Angiospermas carentes de simbiosis, ellas corresponden a Familias de plantas vasculares típicas, designadas como no micorrizadas, a las cuales se les atribuye la presencia de compuestos fungitóxicos en el tejido cortical de la raíz del huésped, o exudados que reducen la susceptibilidad a la micorrización (Tester et al. 1987).

Una gran importancia ecológica reviste la simbiosis mutualística dual presente en las leguminosas. La asociación de bacterias, del género *Rhizobium*, y micorrizas del tipo VA, registrado en el bosque de *A. chilensis*, se ha señalado como adaptación a un hábitat con baja disponibilidad de nitrógeno y fósforo (Barea & Ascon-Aguilar 1984). Asociaciones tripartitas han sido también registradas en plantas vasculares que poseen nódulos colonizados con Actinomy-

cetes del género *Frankia* y hongos micorrízicos (Barea & Ascon-Aguilar 1984, Carrillo et al. 1992). Al considerar los tipos de micorrizas de la flora vascular y su concordancia con cada uno de los bosques analizados, se pudo constatar la dominancia del tipo VA, independientemente del número total de especies vegetales. Los bosques de la Cordillera de Los Andes junto con presentar la mayor diversidad en tipo de micorriza (particularmente el bosque de *A. chilensis*), lo son además en la riqueza de especies vasculares y formas de vida, al compararlos con sus congéneres de la Cordillera de La Costa.

La forma de vida, cuyo concepto tipológico de estilo de vida de la planta incluye: forma, estructura, hábito y función (Numata 1976), determinan la estructura de una comunidad que, para el caso particular de los bosques analizados, existe una dominancia de fanerófitos y hemicriptófitos, que concuerdan con las condiciones climáticas imperantes en el área de estudio. El tipo micorrízico VA se encuentra asociado a todas las formas de vida, mientras que ectomicorriza y ericoide son exclusivas de fanerófitos. Las asociaciones micorrízicas VA donde participan los hongos *Zigomyces*, constituyen a nivel mundial el tipo de asociación mutualística más difundido (Trappe 1987).

Se encontró un número mayor de esporas de hongos micorrízicos VA, en los bosques de la Cordillera de los Andes. Sin embargo, los valores obtenidos para ambas localidades corresponden al rango normal para suelos de bosques templados (Berliner & Torrey 1989, Godoy 1989, Carrillo et al. 1992) y la diferencia correspondería a condiciones de acidéz del suelo, estado nutritivo y eventual desfase en la producción de los propágulos debido a que estos poseen un ritmo estacional (R. Godoy, datos no publicados).

En relación al bioensayo de inoculación micorrízica en plántulas de *A. araucana*, los resultados muestran un efecto positivo del endosimbionte *G. intraradices* como también de los propágulos indígenas contenidos en el suelo. Lo anterior se traduce en un grado de colonización radical, dependiente de la cantidad de inóculo disponible en el

substrato. Este hecho se manifiesta en un notable incremento en el crecimiento y el peso (fresco y seco), del vástago y raíz, respectivamente. Las mayores diferencias se registraron en aquel que contenía el inóculo indígena más el adicionado artificialmente.

El contenido de fósforo absorbible de los suelos investigados es bajo, aunque se ha estimado que el contenido total del mismo es considerablemente mayor, pero se encuentra fijado a compuestos orgánicos e inorgánicos (Borie & Barea 1983), por lo que la presencia de los hongos micorrízicos cumplirían un rol de gran importancia en los procesos de absorción y transporte.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento entregado por FONDECYT 0912-91 y 1940849. Además se agradece el apoyo de DIDUACH S-94-07 y Conaf IX y X Región.

LITERATURA CITADA

- AGERER R (1987) Colour atlas of Ectomycorrhizae. Einhorn-Verlag Eduard Dietenberger, Germany.
- ARMESTO J (1992) Mitos y realidades del bosque nativo chileno. Revista Chilena de Historia Natural 65: 173 - 176.
- BAREA J & C AZCON-AGUILAR (1984) Mycorrhizal and their significance in nodulating nitrogen-fixing plants. In: Brady NC (ed). Advances in Agronomy 36: 1-54.
- BERLINER J & J TORREY (1989) Studies on mycorrhizal associations in Harvard Forest, Massachusetts. Canadian Journal of Botany 67: 2245-2251.
- BORIE F & J BAREA (1983) Fósforo orgánico en suelos volcánicos de Chile. Agricultura Técnica 43: 239-248.
- CARRILLO R, R GODOY & H PEREDO (1992) Simbiosis micorrízica en comunidades boscosas del Valle Central en el Sur de Chile. Bosque 13: 57 - 67.
- DANIELS B & H SKIPPER (1982) Methods for recovery and quantitative estimation of propagules from soil. In: Schenk N C (eds) Methods and principles of Mycorrhizal Research: 29-35. The American Phytopathology Society.
- DONOSO C, R GREZ & V SANDOVAL (1990) Caracterización del tipo forestal Alerce. Bosque 11: 21-34.
- ELLENBERG H & D MUELLER-DOMBOIS (1967) A key to raunkiaer plant life forms with revised subdivision. Berichte Geobotanische Institut ETH, Stiftung Rübel, Zürich 37: 56 - 73.
- FUENZALIDA H (1965) Clima en geografía económica de Chile. CORFO. Editorial Univversitaria. Santiago, Chile.

- GIOVANNETTI M & B MOSSE (1980) An evaluation of techniques for measuring vesicular- arbuscular mycorrhizal infections in roots. *New Phytologist* 84: 489-500.
- GODOY R (1989) Beeinflussung der Mykorrhiza von representaten der krautschicht eines Melico-Fagetum durch. gasformige Immissionen. Verlag Tanja-Maraun, Germany.
- GODOY R & R MAYR (1989) Caracterización morfológica de micorrizas vesículo-arbusculares en coníferas endémicas del Sur de Chile. *Bosque* 10: 89-98.
- GOLTE W (1978) Die Sudhemisphärischen Coniferen und die Ursachen ihrer verbreitung ausserhalb und innerhalb der tropen. En: Troll, C. & Lauer, W. (ed). *Geological relations between Southern temperate zona and the tropical mountains*, Franz Steiner-Verlag. GMBH-Wiesbaden, Germany. pp 93-123.
- GREZ R (1987) Influencia de la extracción de la cubierta arbórea sobre los potenciales de óxido-reducción en suelos derivados de rocas metamórficas en la Cordillera de La Costa, Provincia de Valdivia. V Simposio Nacional de las Ciencias del Suelo, Valparaiso.
- HARLEY J (1989) The significance of mycorrhiza. *Mycological Research* 92: 129-139.
- HARLEY J & E HARLEY (1987) A check - list of mycorrhiza in the British flora. *New Phytologist* 105: 1-102.
- HAWKSWORTH D (1991) The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation. *Mycological Research* 95: 641-655.
- HENSEL M, R BIELEIT, R MEYER & G JAGNOW (1990) A reliable method for the selection of axenic seedlings. *Biological Fertile Soils* 9: 281-282.
- HEUSSER C (1982) Palynology of cushion bogs of the Cordillera Pelada, Province of Valdivia, Chile. *Quaternary Research* 17: 71-92.
- ILLIES H (1970) Geología de los alrededores de Valdivia, Volcanismo y Tectónica del Pacífico en Chile meridional. Instituto de Geografía Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 64 pp, 27 Fig.
- KOSKE R & J GEMMA (1989) A modified procedure for staining root to detect MVA. *Mycological Research* 92: 486-488.
- LESSICA P & R ANTIBUS (1990) The occurrence of mycorrhizae in vascular epiphytes of two Costa Rica Rain Forests. *Biotropica* 22: 250-258.
- MARTICORENA C & M QUEZADA (1985) Catálogo de la flora vascular de Chile. *Gayana* 42: 1-157.
- MAYR R & R GODOY (1989) Seasonal patterns in vesicular-arbuscular mycorrhiza (VAM) in the Melick-beech Forest, Agriculture Ecosystems and Environment 29: 281 - 288.
- MIKOLA P (1988) Ectendomycorrhiza of Conifers. *Silva Fennica* 22: 19-27.
- MONTALDO P (1974) La bioecología de Araucaria araucana (Mol.) Koch. Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación, Merida. *Boletín*. 46 - 48: 1 - 55.
- NEWMAN E & P REDDELL (1987) The distribution of mycorrhizas among families of vascular plants. *New Phytologist* 106:745-751.
- NUMATA M (1976) A consideration on the life-forms of plants and its evolutionary aspect. *Physiology and Ecology of Japan* 17: 557-564.
- PERALTA M (1980) Geomorfología, clima y suelos del tipo forestal Araucaria en Lonquimay. Facultad de Ciencias Forestales Universidad de Chile. *Boletín Técnico* 57.
- PERRY D, M AMARANTHUS, J BORCHERS, S BORCHERS & R BRAINERD (1989) Bootstrapping in ecosystems. *BioScience* 39: 230- 237.
- PERRY D & J BORCHERS (1990) Climate change and ecosystem responses. *The Northwest Environmental Journal* 6: 293-313.
- PERRY D & M AMARANTHUS (1990) The plant-soil bootstrap: Microorganisms and reclamation of degraded ecosystems. In: Berger J J (ed) *Environmental Restoration of the Earth*: 94-102. Island Press, Washington, D.C.
- RAMIREZ C & M RIVEROS (1975) Los alerzales de Cordillera Pelada: Flora y fitosociología. *Medio Ambiente* 1: 3-11.
- READ D (1984) The estructure and function of the vegetative mycelium of mycorrhizal roots. In: Jennings D & A Rayner (eds) *The ecology and Physiology of the fungal mycelium*: 215-240. Cambridge University Press.
- TESTER M, S SMITH & F SMITH (1987) The phenomenom of «nonmycorrhizal» plants. *Canadian Journal of Botany* 65: 419-431.
- TRAPPE J (1987) Phylogenetic and ecological aspect of mycotrophy in the Angiosperms from and evolutionary standpoint. In: Safir G (ed) *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants*: 5-55. C R C Press.