

Caracterización morfológica de micorrizas vesículo-arbusculares en coníferas endémicas del sur de Chile

Morphological characterization of vesicular-arbuscular mycorrhiza in endemic conifers of southern Chile

C.D.O.: 181.351

ROBERTO GODOY

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

ROBERT MAYR

Institut für Pflanzenökologie, Justus Liebig Universität D-6300 Giessen, W. Germany.

SUMMARY

Nine endemic conifers species from Southern Chile belonging to the families *Araucariaceae*, *Cupressaceae* and *Podocarpaceae* were investigated to obtain information about their mycotrophic characteristic. All 9 species investigated were colonized by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. The morphology and anatomy of mycorrhizal roots and especially the root nodules were described and documented with optic and electron microscopy. The importance of the symbiosis with mycorrhizal fungi for the native forest-communities of Southern Chile and for species in danger of extinction is discussed.

RESUMEN

Con el objeto de contribuir al estudio del fenómeno de micotrofia fueron investigadas 9 especies de coníferas endémicas del sur de Chile, que corresponden a las familias *Araucariaceae*, *Cupressaceae* y *Podocarpaceae*. Los resultados permiten confirmar la presencia de asociación con micorriza del tipo vesículo-arbuscular para todas las especies estudiadas. Se entregan descripciones morfoanatómicas de la colonización en la raíz, especialmente los nódulos radicales, documentadas mediante microscopía óptica y electrónica. Se discute la importancia de las asociaciones simbióticas en las comunidades boscosas nativas del sur de Chile y el significado para las especies en vías de extinción.

INTRODUCCION

En el hemisferio sur existen varias especies de coníferas que se encuentran limitadas a pequeñas áreas de distribución (Bader, 1960; Golte, 1974, 1978). Particularmente el sur de Chile, región que, desde una perspectiva histórica y geológica, ha sufrido profundos cambios de carácter fisiográfico y climático (Brüggen, 1950), ha logrado albergar un total de 9 especies de coníferas endémicas que, por la geografía peculiar del territorio y el marcado aislamiento a que han estado sometidas, han logrado sobrevivir o refugiarse, llegando a constituir algunas de ellas comunidades boscosas de carácter relictual (Oberdorfer, 1960; Schmithüsen, 1960, 1978; Golte, 1978).

Desde el punto de vista ecológico, la mayoría de las especies de coníferas chilenas poseen una

extraordinaria capacidad de adaptación, ya que sobreviven a menudo bajo condiciones extremas, si se considera el complejo de factores de clima y características físico-químicas del sustrato (Golte, 1978; Schmithüsen, 1978). Se supone que en esta capacidad podrían jugar un papel importante las asociaciones micorrízicas.

Este tipo de simbiosis conlleva una serie de ventajas para el huésped, principalmente en lo que se refiere a la absorción y transporte de nutrientes y agua, como asimismo lo provee de una excelente protección frente al estrés ambiental y defensas contra enfermedades y parásitos (Harley y Smith, 1983; Safir, 1987). En el caso de las coníferas, son varias las posibilidades de asociación micorrízica, diferenciables de acuerdo al tipo de hongo involucrado y características morfoanatómicas de la asociación, a saber: ectomi-

corriza, ectoendomicorriza y endomicorriza (Harley y Smith, 1983; Mikola, 1988). Al respecto, cabe hacer mención que para Chile varios son los artículos que dan cuenta de micorrizas en árboles nativos y exóticos (Garrido *et al.*, 1982; Garrido y Bresinski, 1985). Pero, a la fecha, las coníferas chilenas no han sido consideradas en su detalle y extensión, registrándose sólo antecedentes parciales (Singer, 1963, 1964, 1971; Singer y Moser, 1965; Garrido, 1986a, 1986b).

Por la importancia ecológica y económica que tienen estos representantes del reino vegetal, y, además, que se incluyen dentro de la lista de especies amenazadas o en vías de extinción (Muñoz, 1971, 1977; Conaf, 1985), se consideró de interés contribuir al conocimiento de su biología y en particular abarcar el fenómeno de la micotrofia.

El presente estudio tiene por objeto determinar la presencia y tipo de micorrizas asociadas a nueve especies de Gimnospermas endémicas presentes en el sur de Chile.

MATERIAL Y METODOS

El material de estudio fue colectado en el hábitat natural, que comprende las IX y X regiones de Chile, área caracterizada por un clima del tipo perhúmedo, de tendencia oceánica y con elevada pluviosidad (Hajek y Di Castri, 1975). Se investigó un total de 9 especies de coníferas endémicas (Anexo 1). Para cada una de las especies se colectaron raíces de 5 individuos adultos, a una profundidad de 15-30 cm del suelo. La fijación y tinción de las raíces, para estudios de microscopía óptica, fueron desarrollados según Kirmanik y McGraw (1982) y Koske y Gemma (1989), respectivamente. El estudio de microscopía electrónica de barrido fue desarrollado según la técnica propuesta por Reimer y Pfefferkorn (1973). Para la evaluación cuali-cuantitativa de las raíces finas y la determinación del grado de asociación (frecuencia) fue observada en un total de 100 raíces por especie. La estimación de la frecuencia de colonización con micorriza fue desarrollada de acuerdo al método propuesto por Giovanetti y Mosse (1980) y evaluado según la escala indicada en Godoy (1989).

RESULTADOS

1. *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch. Esta especie se encuentra representada en Argentina y Chile. Su distribución en el sur de Chile se extiende desde los 37° hasta los 40° S a través de la Cordillera de los Andes y a una altitud entre 900 y

2.000 m sobre el nivel del mar. También aparece formando bosques en el sector de la Cordillera de la Costa (Nahuelbuta), en los 37°40' S (Schmithüsen, 1960; Montaldo, 1974). *A. araucana* constituye bosques donde se mezcla frecuentemente con especies del género *Nothofagus* dando origen a la Ass. *Carici-araucarietum* (Oberdorfer, 1960).

La especie en estudio crece a menudo en suelos de origen volcánico, extremadamente pobres, formado por depósitos sucesivos de escorias y material pómez, sobre roca basáltica fundamental (Peralta, 1975, 1980).

Estatus micorrízico: las raíces que desarrollan frecuentemente la asociación presentan un promedio de 0.64 mm de diámetro. Los nódulos son abundantes y se distribuyen longitudinalmente, en series paralelas a lo largo de la raíz.

Los nódulos corresponden a raíces modificadas, perennes, con crecimiento apical producido por un tejido meristemático, ubicado en el centro, el cual se continúa con tejido diferenciado, del tipo estelar, comunicado directamente con el tejido parental de la raíz. Esta zona interna se separa de la corteza mediante la endodermis. La zona cortical está constituida por un rico tejido parenquimático colonizado con el simbionte micorrízico. En los nódulos jóvenes se observó externamente la presencia de pelos radicales junto a la rizodermis (figura 1). Para aquellos nódulos más desarrollados se advierte un estrato de tejidos de carácter primario que originan la exodermis, observándose de esta forma zonas de la corteza con tejido parenquimático en reemplazo. La figura 1 muestra en forma esquemática la estructura interna de los nódulos observados en *Araucaria araucana*.

El tamaño de los nódulos es de 0.55 mm de diámetro como promedio, con valores extremos de 0.32 y 0.81 mm. En el material se observaron pelos absorbentes junto a los nódulos (figura 2 A y B). La frecuencia de asociación en la raíz y nódulos es de 40%. En estos últimos el punto de colonización inicial ocurre en la porción basal. Es común, además, la presencia del micelio extrarradical, alcanzando las hifas un diámetro variable de 1.8-5.6 μ m. Las vesículas que se forman en el tejido cortical poseen una dimensión promedio de 28 x 40 μ m (figura 2 C), con la característica gota de lípido en el centro. Los arbusculos son abundantes y se presentan en diferentes estadios de desarrollo, escasamente ramificados (figura 2 D).

2. *Austrocedrus chilensis* (D. Don.) Pic. Ser. et Bizz. Esta especie se distribuye en la Cordillera de los Andes de Argentina y Chile, entre los 32°30' y los 38°30'S (Schlegel, 1962), alcanzando altitudes de hasta 2.000 m, en su área norte, donde constituye pequeños bosques aislados, ubi-

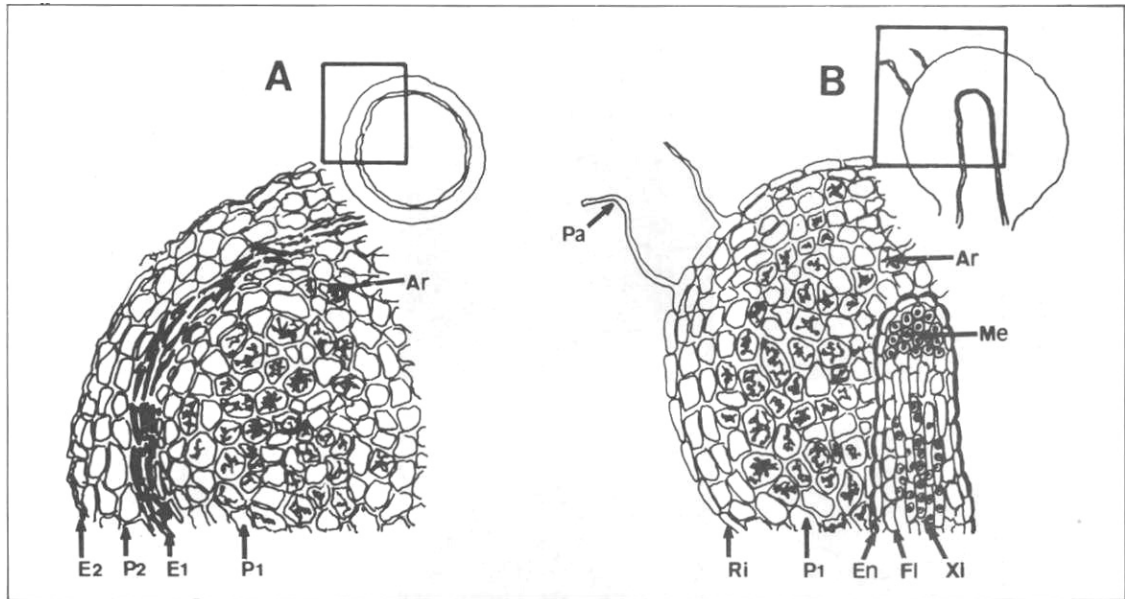


Fig. 1: Representación esquemática de la morfología en nódulos radicales de coníferas chilenas (*Araucaria araucana*). A = Sección transversal de un nódulo radical de 2 años de edad (región distal). B = Sección longitudinal de un nódulo radical de 1 año de edad; E2 = exodermis 2 años de edad; P2 = parénquima cortical, 2 años de edad; E1 = exodermis 1 año de edad; P1 = parénquima cortical 1 año de edad; Ri = rizodermis; En = endodermis; F1 = floema; Xi = xilema; Me = meristema; Pa = pelos absorbentes, y Ar = arbusculos (micorriza).

Schematic representation of morphology in root nodules of conifers. A = Transverse section of a root nodule 2 year old. B = Longitudinal section of a root nodule. E2 = exodermis 2 years old; P2 = cortical parenchyma 2 years old; E1 = exodermis 1 year old; P1 = cortical parenchyma 1 year old; Ri = rhizodermis; En = endodermis; F1 = phloem; Xi = xylem; Me = meristematic zone; Pa = absorbent hair and Ar = arbuscles (mycorrhiza).

cados sobre quebradas rocosas y escarpadas, provistas a veces de escasa densidad vegetacional (Schmithüsen, 1960; Schlegel, 1962). De acuerdo a Oberdorfer (1960), pertenece a las Ass. *Austrocedro-Lithraoetum*. Las características del sustrato, en general, corresponden a escoria volcánica.

Estatus micorrízico: el material investigado presenta un sistema radical bastante ramificado, cuyo diámetro promedio de las raíces colonizadas con el simbionte era de 0.54 mm. El grado de micorrización estimado presenta una frecuencia de 30% en la muestra. No se observan nódulos radicales. Las vesículas y los arbusculos se presentan con relativa frecuencia en el material (figura 2 E). El diámetro del micelio intra y extraradical es de 3.2 hasta 6.1 μ m (figura 2 F).

3. *Fitzroya cupressoides* (Mol.) Johnston. Pertenece a un género endémico y monotípico del sur de Chile y Argentina, cuya distribución se limita a la región valdiviana, donde cubre un área desde los 40° hasta los 45°40' S en ambas cordilleras (Golte, 1974; Ramírez y Riveros, 1975).

Crece de preferencia en lugares con alta humedad edáfica y/o climática. El sustrato, delgado, corresponde a suelos podzolizados, que presentan

una baja cantidad de nutrientes y alta acidez (Peralta, 1975). Esta especie de conifera forma bosques muy característicos, dominados por fanerófitos leñosos, que poseen, por lo general, un sistema radical superficial y que pertenece a la Ass. *Fitzroyetum* (Oberdorfer, 1960).

Estatus micorrízico: especie con un sistema radical abundante y ramificado, cuya micorriza compromete la totalidad de las raíces finas con diámetros que fluctúan entre 0.3 - 0.5 mm. Las raíces se caracterizan por un extenso micelio extraradical, con un diámetro de las hifas de 3.5 - 5.4 μ m y ausencia de nódulos radicales. Los arbusculos son particularmente abundantes en el material observado (figura 2 G y H), colonizando gran parte de la corteza radical. Las vesículas de forma semiesférica son de 35 x 40 μ m de diámetro (figura 2 I). La frecuencia de la infección con micorriza fue estimada en un 47%.

4. *Pilgerodendron uviferum* (D. Don.) Florin. Esta especie, perteneciente a un género monoespecífico endémico del sur de Chile, constituye la conifera austral más importante en la región de Magallanes (Young, 1972), distribuyéndose desde los 39°35' S hasta el extremo sur del continente (Schmithüsen, 1960; Martínez, 1981).

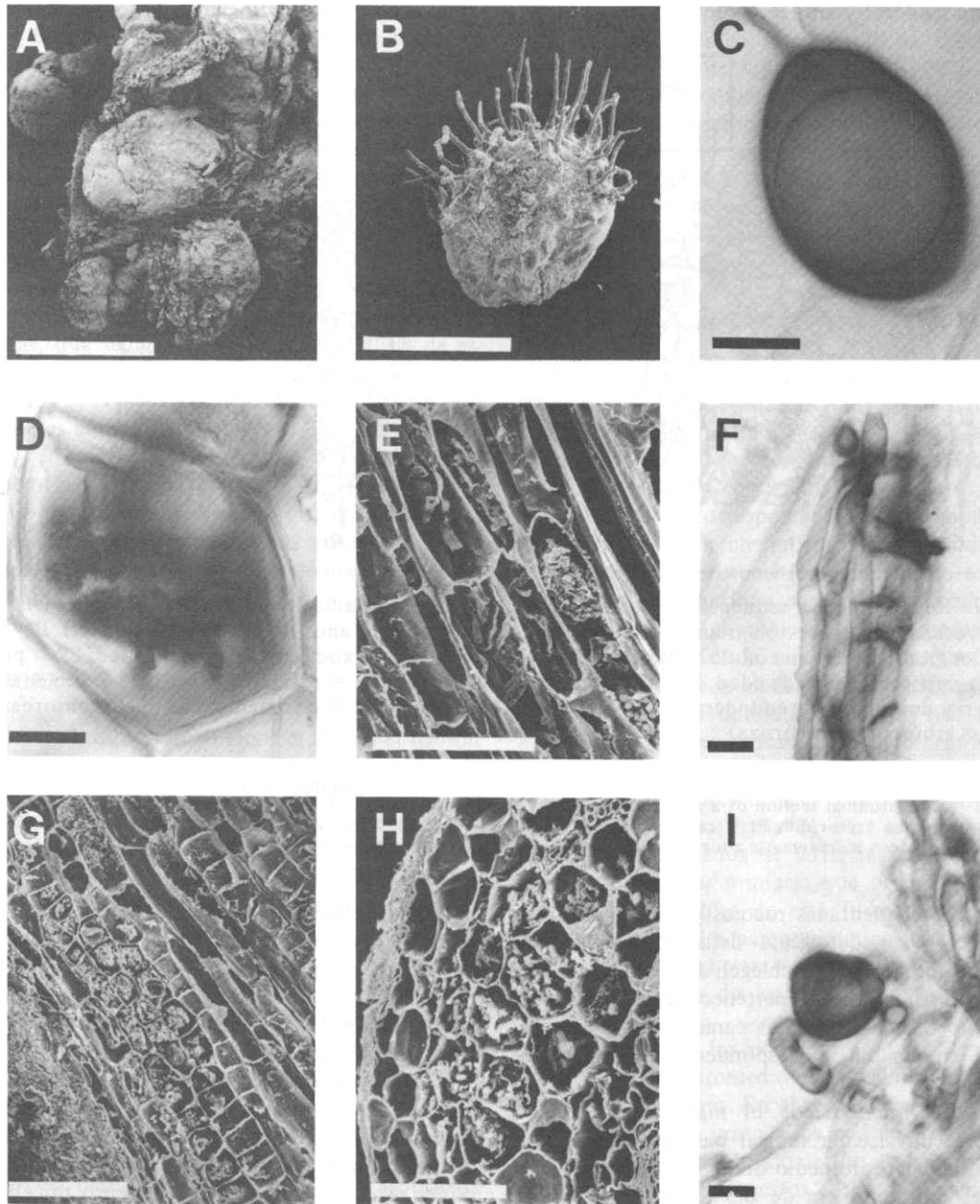


Fig. 2: *Araucaria araucana*: A = nódulos radicales (M.E.); B= nódulo radical mostrando pelos absorbentes (M.E.); C = vesícula en la raíz, con gota de lípido (M.O.); D = arbusculo (M.O.); *Austrocedrus chilensis*: E = sección longitudinal de la raíz, crecimiento intrarradical de la micorriza, arbusculos (M.E.); F = penetración de la célula por hifas, gotas de lípidos en las hifas (M.O.); *Fitzroya cupressoides*: G = sección longitudinal de la raíz, arbusculos intracelulares en diferentes estadios de crecimiento (M.E.); H = sección transversal de la raíz, corteza. Acumulación de diferentes arbusculos (M.E.), e I = vesículas e hifas en el parénquima cortical de la raíz (M.O.).

(M.O.) = Microscopia óptica; (M.E.) = Microscopia Electrónica de Barrido.

Araucaria araucana: A = root nodules (E.M.); B = root nodule showing absorbent hairs (E.M.); C = vesicle in the root with lipiddroplet (O.M.); D = arbuscle (O.M.) *Austrocedrus chilensis*: E = longitudinal section of root, intraradical growth of VA-mycorrhizal fungi, arbuscles (E.M.); F = penetration of the cells by hyphae, droplets lipid in hyphae (O.M.); *Fitzroya cupressoides*: G = longitudinal section of a root, intracellular arbuscles of different growth stages (E.M.); H = transverse section of root, cortex. Accumulation of different arbuscles (E.M.), and I = vesicle and hyphae in cortical parenchyma of the root (O.M.).

(O.M.) = Optic Microscopy. (E.M.) = Scanning Electron Microscopy.

Se desarrolla preferentemente en sustratos pantanosos y muy húmedos, donde constituye bosques abiertos, de baja cobertura y pobre en número de especies (Martínez, 1981). De acuerdo a Oberdorfer (1960), corresponde a la Ass. *Pilgerodendretum*, frecuente en los Archipiélagos Norpatagónicos y Magallánicos.

Estatus micorrízico: el material estudiado presenta una colonización estimada en un 60%. Las raíces infectadas tienen un diámetro que fluctúa entre 0.4 - 0.8 mm, cuyo micelio extrarradical muestra hifas de 6.7 μ m de diámetro. No se observan nódulos radicales. Las vesículas observadas son abundantes en todo el tejido del parénquima cortical y su forma es característica, ovoide, con diámetro promedio de 40 x 45 μ m. Los arbuscúlos son abundantes en todo el material (figura 3 A y B), las hifas inter e intracelulares poseen un diámetro promedio de 4.0 - 8.3 μ m, respectivamente.

5. *Dacrydium fonckii* (Phil.) Ball. Especie endémica de Chile, que se extiende desde los 40° S hasta Tierra del Fuego (Bernath, 1977; Moore, 1983), corresponde a la conifera más pequeña, de aproximadamente 30 cm de altura. En condiciones naturales forma poblaciones de hábitos camefítico en lugares pantanosos, asociada con otras coníferas, conformando la denominada turbera de arbustos y coníferas, que descansa sobre un sustrato de roca metamórfica (Ramírez, 1968).

Estatus micorrízico: el sistema radical de esta especie presenta abundantes raíces finas fuertemente ramificadas y colonizadas por el simbiote. El diámetro de las raíces es de 0.3 mm como promedio, con un gran desarrollo de nódulos radicales. El micelio extrarradical cubre prácticamente todas las raíces, el diámetro de las hifas fluctúa entre 2-6 μ m. El micelio intrarradical es variable en diámetro con mínimos y máximos de 1.5 y 9.4 μ m, respectivamente. Las vesículas poco frecuentes presentan un tamaño promedio de 33 x 35 μ m, mientras que los arbuscúlos, abundantes en el material, se distribuyen en todo el tejido cortical (figura 3 C, D y E). Por las características de las hifas, gran parte de la simbiosis se podría atribuir a *Glomus tenuis* (Greenall) Hall (figura 3 F). La colonización con el simbiote corresponde a 60%.

6. *Podocarpus nubigena* Lindl. Especie característica de la región templada ("Pluviselva Valdiviana") (Hauman, 1916). Se distribuye irregularmente desde los 39°20'S hasta el territorio de Magallanes (51°S), correspondiendo a un importante componente de varias asociaciones boscosas del sur de Chile, ubicadas en la base de ambas cordilleras de la región, y alcanzando altitudes de hasta 900 m, aproximadamente, sobre el nivel del

mar. De acuerdo a Oberdorfer (1960), pertenece a las Ass. *Laurelio-Weinmannetum* y *Dombeyo-Eucryphietum*. Las características del suelo donde prosperan estas comunidades boscosas corresponden a suelos derivados de cenizas volcánicas, escorias y tobas, que descansan sobre materiales andesítico-basálticos (Peralta, 1975). La especie se presenta, en el extremo sur de su distribución, sobre sustratos pobres en drenaje (Veblen *et al.*, 1983).

Estatus micorrízico: el desarrollo de la simbiosis es frecuente en las raíces de diámetro, que fluctúan entre 0.5 - 1.3 mm. Característica del hospedante es la típica formación de nódulos que se distribuyen en líneas paralelas longitudinalmente en la raíz (figura 3 G). La forma de los nódulos es generalmente esférica y su diámetro promedio es de 1.2 mm. La presencia de infección en los nódulos es frecuente e intensa, abarcando la zona cortical, cuyo punto de infección inicial es en la porción basal. La presencia de micelio extranodular característico, con hifas de 5.0 μ m de diámetro. Los arbuscúlos son abundantes y el tamaño de las hifas inter e intracelulares son de 2.0 y 4.7 μ m (figura 3 H). Por otro lado, la colonización desarrollada en la raíz es frecuente (80%), caracterizada por un denso micelio extrarradical. Las vesículas formadas en la raíz son de 26 x 39 μ m. Los arbuscúlos se observan a través de todo el parénquima cortical. En la muestra investigada se observó colonización a través de pelos radicales (figura 3 I).

7. *Podocarpus salignus* (D. Don.). Su distribución se extiende desde los 35°30' S hasta el lago Llanquihue (41°28' S). Esta especie participa, en forma relativamente frecuente, en las comunidades boscosas ubicadas en las laderas de ambas cordilleras y en especial en el valle longitudinal, donde pertenece a la Ass. *Nothofagus-Perseetum boldetosum* (Oberdorfer, 1960). El tipo de sustrato donde prospera esta conifera es generalmente profundo, con buen drenaje, y que corresponde a suelos derivados de cenizas volcánicas de tipo andesítico-basáltico (Iren-Corfo, 1978).

Estatus micorrízico: a través de las observaciones microscópicas realizadas, el material radical, que presenta infección, posee un diámetro que fluctúa entre 0.4 - 0.75 mm. Los nódulos radicales son abundantes, distribuidos en 2 y 4 series longitudinales en la raíz (figura 4 A y B). Su forma es esférica, con un diámetro promedio de 0.71 mm (0.51 - 0.86 mm). Sobre la cubierta de los mismos se observan regularmente pelos absorbentes. La zona de infección inicial se observa en la porción basal del nódulo, que desarrolla un abundante micelio extranodular. Las vesículas ovoides, contenidas en el tejido parenquimático, son de 20 x

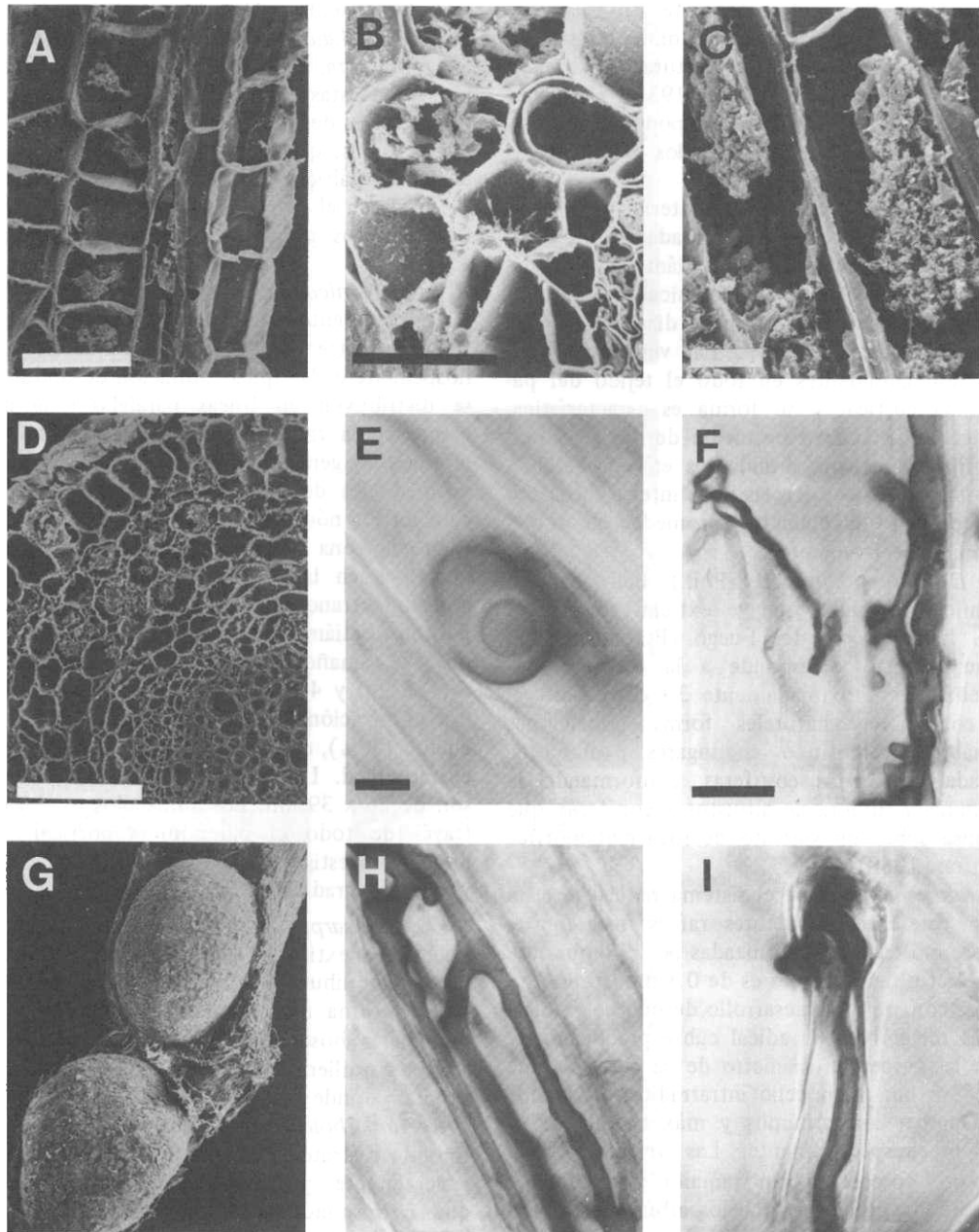


Fig. 3: *Pilgerodendron uviferum*: A = sección longitudinal de la raíz (periferia), arbusculos (M.E.); B = sección transversal de la raíz, arbusculos (M.E.); *Dacrydium fonckii*: C = sección longitudinal de la raíz, con arbusculos (M.E.); D = sección transversal de la raíz, mostrando el parénquima cortical con arbusculos y estela de la raíz (M.E.); E = vesícula en la raíz con gota de lípidos (M.O.); F = hifas intracelulares mostrando diferentes endófitos (M.O.); *Podocarpus nubigena*: G = nodulos radicales (M.E.); H = ramificación lateral de hifas intracelulares (M.O.); I = infección de un pelo radical con micorriza vesículo-arbuscular (M.O.).

(M.O.) = Microscopia Óptica. (M.E.) = Microscopia Electrónica de Barrido .

Pilgerodendron uviferum: A = longitudinal section of a root (periphery), arbuscles (E.M.); B = transverse section of a root, arbuscles (E.M.); *Dacrydium fonckii*: C = longitudinal section of a root with arbuscles (E.M.) D = transverse section of a root, showing the cortical parenchyma with arbuscles and the root stele (E.M.); E = vesicle in the root with lipid droplet (O.M.); F = intracellular hyphae showing "fine endophyte" and "coarse endophyte" (O.M.); *Podocarpus nubigena*: G = root nodules (E.M.); H = broad junctions of hyphae intracellular (O.M.); I = infection of a root-hair with VA-mycorrhiza (O.M.).

(O.M.) = Optic Microscopy. (E M.) = Scanning Electron Microscopy.

35 μm de diámetro. El diámetro de las hifas en el interior del tejido radical es de 4-12 μm (figura 4 C). Se observa un abundante desarrollo de arbusculos. En general, la raíz presenta un denso micelio extraradical, cuyas dimensiones son de 7.8 μm como valor promedio de diámetro (figura 4 A, B y C). El grado de asociación fue estimado con un 60% de frecuencia.

8. *Prumnopitys andina* (Poepp ex Endl.) de Laub. Conifera distribuida principalmente en la Cordillera de los Andes, desde los 35°40' hasta los 41° S, asociada a bosques de mediana altura, ubicados en lugares pedregosos y sobre sustratos de escoria volcánica, pobres en nutrientes y elevada permeabilidad. Esta especie se encuentra en los bosques de *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. y *N. obliqua* (Mirb.) Oerst. en la región norte de su distribución (Donoso, 1982), mientras que al sur forma parte también de los matorrales, e incluso como especie colonizadora de sustratos volcánicos.

Estatus micorrízico: la típica asociación endotrofa se presenta en raíces cuyo tamaño promedio es de 0.87 mm de diámetro. Los nódulos aquí observados son abundantes, con medidas de 1.1 mm de diámetro, y valores máximos de 1.5 mm y mínimos de 0.81 mm, presentando, además, escaso desarrollo de pelos absorbentes (figura 4 D y E). El micelio extranodular alcanza un diámetro promedio de 5.2 μm , las vesículas un tamaño de 35 x 28 μm y los arbusculos son frecuentes en el nódulo (figura 4 F). La frecuencia de colonización con micorriza del tipo vesículo-arbuscular del sistema radical es de 60% con abundantes vesículas y arbusculos. El micelio intra e intercelular posee un diámetro promedio de 3.5 y 9.2 μm , respectivamente.

9. *Saxegothaea conspicua* Lindl. Esta especie se encuentra frecuentemente en el bosque valdiviano, con una distribución geográfica que se extiende desde los 35° hasta los 45° S, en ambas laderas cordilleranas. De acuerdo a Oberdorfer (1960), se incluye en las Ass. *Dombeyo-Eucryphietum* y *Laurelio-Weinmannietum*. El sustrato en general es con buen drenaje y corresponde a suelos derivados de cenizas volcánicas (Peralta, 1975).

Estatus micorrízico: las raíces de esta especie, infectadas con el simbionte, varían en diámetro entre 0.39 - 0.83 mm. Los nódulos radicales se distribuyen en forma paralela y su dimensión promedio es de 0.47 mm. Pelos absorbentes fueron observados frecuentemente e incluso fue detectada la infección a través de los mismos (figura 4 G y H). En general, el grado de colonización de los nódulos es similar al material parental. Las vesículas son de un tamaño promedio de 23 x 34 μm . Los arbusculos se presentan regular-

mente en la muestra. Las hifas poseen un diámetro de 5 μm . La infección en la porción restante del sistema radical posee las típicas estructuras de la micorriza vesículo-arbuscular. Hifas intercelulares tienen un tamaño de 1.8-9.5 μm de diámetro (figura 4 I). Las vesículas representadas en el material radicular son de 23 x 53 μm de diámetro. La frecuencia de la colonización en la muestra fue estimada en un 63%

DISCUSION

Los resultados obtenidos permiten documentar por primera vez la presencia de micorrizas endotróficas del tipo vesículo-arbuscular en las 9 especies de coníferas endémicas del sur de Chile. Coníferas del hemisferio norte registran asociaciones micorrízicas con un marcado dominio del tipo ectomicorriza, aunque algunos taxa presentan ectoendomicorrizas y micorrizas del tipo vesículo-arbuscular (Harley y Smith, 1983; Mikola, 1988).

La caracterización morfoanatómica de los nódulos en los representantes de los géneros: *Araucaria*, *Dacrydium*, *Podocarpus*, *Prumnopitys* y *Saxegothaea* muestran un patrón estructural similar, pero variable en su tamaño, siendo los nódulos los principales centros de colonización por micorriza.

El diferente grado de colonización por el endosimbionte micorrízico en las especies investigadas sería explicable a través de una mayor o menor dependencia del huésped y por los cambios cualitativos que sufre el estatus micotrófico en el tiempo (Godoy, 1989).

Estudios sobre el estatus micorrízico de la flora nativa en Chile continental realizados por Singer (1963, 1964) proponen la existencia de dos áreas geográficas en base a la presencia-ausencia de ectomicorriza, la cual se relaciona directamente con la distribución de los bosques de *Nothofagus* (Singer y Moser, 1965; Singer, 1971). Sin embargo, el presente estudio, que comprende un número equivalente de taxa, no confirma esta aseveración, puesto que la totalidad de las especies presentan una asociación endomicorrízica. Además, recientes investigaciones realizadas por el autor en la flora del sur de Chile indican una dominancia del tipo vesículo-arbuscular.

El tipo micorrízico encontrado en el presente estudio tiene relevancia en el ciclo de nutrientes en aquellos ambientes alterados en forma alogénica frecuentes en nuestro país (Veblen *et al.*, 1983), favoreciendo la agregación del sustrato y la colonización por la vegetación (Harley y Smith, 1983; Godoy, 1989).

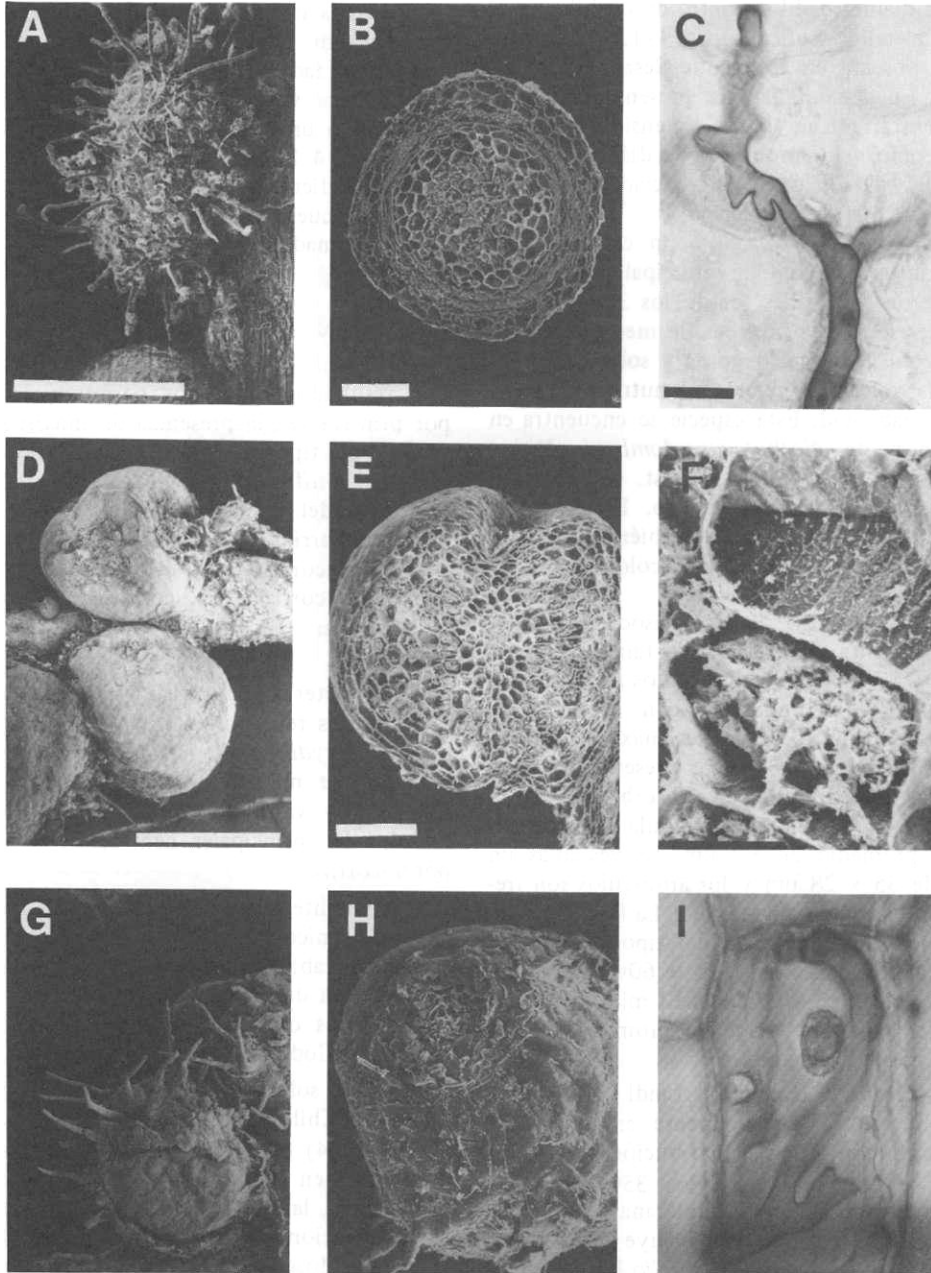


Fig. 4: *Podocarpus salignus*: A = nódulo radical mostrando pelos absorbentes (M.E.); B = sección transversal de nódulo radical de 2 años de edad (M.E.); C = penetraciones intracelulares por hifas a través del parénquima cortical (M.O.); *Prumnopitys andina*: D = nódulos radicales (M.E.); E = sección longitudinal de nódulo radical, arbusculos (M.E.); F = célula parenquimática con infección en nódulo radical (sección longitudinal) (M.E.); *Saxegothea conspicua*: G = nódulos radicales con pelos absorbentes (M.E.); H = base de nódulo radical con infección de micorrizas (M.E.); I = crecimiento intercelular de micorriza vesículo-arbuscular en raíz (M.O.).

(M.O.) = Microscopia Óptica. (M.E.) = Microscopia Electrónica de Barrido.

Podocarpus salignus: A = root nodule showing the absorbent hairs (E.M.); B = transverse section of root nodule 2 years old (E.M.); C = intracellular penetration by hyphae through the cortical parenchyma (E.M.); *Prumnopitys andina*: D = root nodules (E.M.); E = longitudinal section of the root nodule, arbuscules (E.M.); F = infection of a parenchymatic cell of a root nodule (longitudinal section) (E.M.); *Saxegothea conspicua*: G = root nodules with absorbent hairs (E.M.); H = basis root nodule with mycorrhiza infection (E.M.); I = intercellular growing of VA-mycorrhiza in to the root cell (O.M.).

(O.M.) = Optic Microscopy. (E.M.) = Scanning Electron Microscopy.

Por otro lado, en la actualidad uno de los temas relevantes a considerar en programas de restauración ecológica es el estudio de la rizósfera y la aplicación de hongos micorrízicos (Safir, 1987). Frente a la progresiva utilización del bosque nativo en Chile se advierte la necesidad de realizar estudios que contribuyan a un conocimiento integral del estatus micotrófico de la flora nativa. Esto posibilitaría implementar técnicas silviculturales de inoculación micorrízica controlada que lleven a una restauración y aseguren la conservación de aquellas especies amenazadas o en vías de extinción, como es el caso particular de las coníferas nativas chilenas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus agradecimientos al Prof. P. Rivera (Universidad Austral de Chile) y al Dr. U. Richter (Justus Liebig Universität) por la colaboración prestada en terreno y microscopía, respectivamente. El primer autor agradece el apoyo de DID-UACH (S 90-01).

LITERATURA CITADA

- BADER, F. 1960. "Die Südhemisphärische Coniferen als genetisches, geographisches und ökologisches Florenelement", *Erdkunde* 14: 303-308.
- BERNATH, E.L. 1977. "Coniferous forest trees of Chile", *Tropical Woods* 52: 19-26.
- BRUGGEN, J. 1950. *Fundamentos de la Geología de Chile*. Instituto Geográfico Militar, Santiago.
- CONAF. 1985. *Simposio flora nativa y arbustiva de Chile amenazada de extinción*. Rep. de Chile, Min. Agricultura, 80 pp.
- DONOSO, C. 1982. "Reseña ecológica de los bosques mediterráneos de Chile", *Bosque* 4(2): 117-146.
- GARRIDO, N. 1986a. "Survey of ectomycorrhizal fungi associated with exotic forest trees in Chile", *Nova Hedwigia* 43 (3-4): 423-442.
- 1986b. "Index Agaricalium Chilensium". Stuttgart, J. Cramer. *Bibliotheca Mycológica* 99: 139.
- GARRIDO, N. y BRESINSKI A. 1985. "Amanita muelleri (Agaricales) eine neue Art aus Nothofagus-Wäldern Chiles", *Bot. Jahrb. Syst.* 107 (1-4): 521-540.
- GARRIDO, N.; BECERRA, J.; MARTICORENA, G.; OEHRENS, E.; SILVA, M. y HORAK, E. 1982. "Antibiotic properties of ectomycorrhizae and saprophytic fungi growing in *Pinus radiata*", *Mycopathology* 77: 88-93.
- GIOVANETTI, M. y MOSSE, B. 1980. "An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infections in roots", *New Phytol.* 84: 489-500.
- GODOY, R. 1989. *Beeinflussung der mykorrhiza von Repräsentanten der Krautschicht eines Melico-Fagetum durch gasförmige Immissionen*. Verlag Tanja-Maraun, West Germany, 120 pp.
- GOLTE, W. 1974. "Okophysiological and phylogenetische Grundlagen der Verbreitung der Coniferen auf der Erde". *Erdkunde* 28(2): 81-101.
- 1978. Die Südhemisphärischen Coniferen und die Ursachen ihrer Verbreitung ausserhalb und innerhalb der Tropen. En: TROLL, C. y LAUER, W. (eds.). *Geological relations between Southern Temperate zone and the tropical Mountains*: 93-123, Franz Steiner-Verlag GMBH-Wiesbaden, Germany.
- HAJEK, E. y DI CASTRI F. 1975. *Bioclimatología de Chile*. Dirección de Investigación, Vicerrectoría Académica, Universidad Católica de Chile, Santiago, 214 pp.
- HARLEY, J. y SMITH, S. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, New York.
- HAUMAN, L. 1916. Le Forest valdivienne et ses limites. *Inst. Bot. y Farmacología, Fac. de Cs. Médicas de Buenos Aires* 34: 7-83.
- IREN-CORFO. 1978. Estudio de suelos en la provincia de Valdivia. Edic. Instituto de Invest. de Recursos Naturales, Santiago, 1: 22-178.
- KORMANIC, P. y MCGRAW, A. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular Mycorrhizae in plant roots. En: SCHENCK, N. (ed.). *Methods and Principles of mycorrhizal research*. The American Phytopathological Society: 37-45.
- KOSKE, R. y GEMMA, J. 1989. "A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizae", *Mycol. Res.* 92(4): 486-488.
- MARTICORENA, C. y QUEZADA, M. 1985. "Catálogo de la flora vascular de Chile", *Gayana* 42 (1-2): 1-157.
- MARTINEZ, O. 1981. "Flora y fitosociología de un relicto de *Pilgerodendron uviferum* (D. Don.) Florin, en el Fundo San Pablo de Tregua (Valdivia-Chile)", *Bosque* 4(1): 3-11.
- MIKOLA, P. 1988. "Ectendomycorrhiza of conifers", *Silva Fennica* 22(1): 19-27.
- MONTALDO, P. 1974. La bioecología de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch. Mérida, Venezuela. Instituto Forestal Latinoamericano, Bol. 46-48: 3-55.
- MOORE, D. 1983. *Flora of Tierra del Fuego*. Anthony Nelson, England and Missouri Botanical Garden, USA.
- MUÑOZ, C. 1971. *Chile: plantas en extinción*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- 1977. Threatened and endangered species of plants in Chile. En: PRANCE, G. y ELIAS T. (ed.), *Extinction is Forever*, 251-253, New-York Botanical Garden, USA.
- OBERDORFER, E. 1960. *Pflanzensoziologische Studien in Chile*. Ein Vergleich mit Europa. J. Cramer, Weinheim, Germany.
- PERALTA, M. 1975. *Ecología y silvicultura del bosque nativo chileno*. Suelos. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Chile. *Bol. Téc.* 31.
- 1980. *Geomorfología, clima y suelos del tipo forestal Araucaria en Lonquimay*. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Chile, *Bol. Téc.* 57.
- RAMIREZ, C. 1968. Die Vegetation der Moore der Cordillera Pelada, Chile. Bericht der Oberhess. Gess. Für Natur- und Heilkunde, Giessen 36: 95-101.
- RAMIREZ, C. y RIVEROS, M. 1975. "Los alerzales de Cordillera Pelada: flora y fitosociología", *Medio Ambiente* 1(1): 3-11.
- REIMER, L. y PFEFFERKORN, G. 1973. *Rasterelektronenmikroskopie*. Heidelberg-New York.
- SAFIR, G. 1987. VA-Mycorrhizae: An ecophysiological Approach. En: SAFIR, G. (ed.) *Ecophysiology of VA-Mycorrhizal plants*. 1-3, C.R.C. Press, Inc.
- SCHLEGEL, F. 1962. "Hallazgo de un bosque de cipreses cordilleranos en la provincia de Aconcagua", *Bol. Univ. de Chile* 32: 43-46.

- SCHMITHUSEN, J. 1960. "Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. Forschungen in Chile", *Bonner Geographische Abhandlungen* 17: 1-86.
- 1978. Konkurrenz als begrenzender Faktor bei restarealen alter Koniferentaxa mit einen Ausblick auf ökologische Konsequenzen für die Forstwirtschaft. En: TROLL, C. y LAUER, W. (ed.). *Geological relations between the Southern Temperate zone and the Tropical Mountains*. 124-134. Franz Steiner-Verlag, GMBH-Wiesbaden, Germany.
- SINGER, R. 1963. "Der Ektotroph, seine Definition, geographische Verbreitung und Bedeutung in der Forstökologie", *Internat. Mykorrhiza Symposium*. Weimar (1960): 223-231. Jena.
- 1964. "Areal und ökologie des Ektotrophes in Süd-amerika", *Z. Pflzk.* 30: 8-14.
- 1971. "Forest Mycology and forest communities in South America. II Mycorrhiza Sociology and Fungus sucesion... En HACSKAY-LO, R. (ed.). *Mycorrhizae* Mis. Publ. 1189: 204-215, Dep. Agric. Forest. Serv. USA.
- SINGER, R. y MOSER, M. 1965. "Forest Mycology and forest communities in South America. I The Early fall aspect of the Mycoflora of the Cordillera Pelada (Chile), with a mycogeographic Analysis and conclusion regarding the heterogenety of the Valdivian Floral district", *Mycopathol. et. Mycol. Appl.* 24(2-3): 129-191.
- VEBLEN, T.T., SCHLEGEL, F. y OLTREMARI, J. 1983. Temperate broad-leaved evergreen forest of South America. En: OLVINGTON, J.D. (ed.). *Ecosystems of the World. 16 Temperate broad-leaves evergreen forest*. 5-31, Elsevier.
- YOUNG, St. 1972. "Subantartic rain forest of magallanic Chile: Distribution, composition and age and growth rate studies of common forest trees", *Res. Ser.* 20: 307-333.

Anexo 1: Lista de coníferas endémicas del sur de Chile. (Según Marticorena y Quezada, 1985.)

List of endemic conifers from Southern Chile. (According to Marticorena and Quezada, 1985.)

Familia Araucariaceae

1. *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch.

Familia Cupressaceae

2. *Austrocedrus chilensis* (D. Don.) Pic. Ser. et Bizz.
3. *Fitzroya cupressoides* (Mol.) Johnst.
4. *Pilgerodendron uviferum* (D. Don.) Florin.

Familia Podocarpaceae

5. *Dacrydium fonckii* (Phil.) Ball.
6. *Podocarpus nubigena* Lindl.
7. *Podocarpus salignus* D. Don.
8. *Prumnopitys andina* (Poepp. ex End.) de Laub.
9. *Saxegothaea conspicua* Lindl.