

Influencia del clima en el cambio florístico, vegetacional y edáfico de los bosques de “olivillo” (*Aextoxicon punctatum* R. et Pav.) de la Cordillera de la Costa de Chile: implicancias biogeográficas

The influence of climate on the floristic, vegetational and edaphic changes of “olivillo” forest (*Aextoxicon punctatum* R. et Pav.) in the Coastal Range of Chile: biogeographical implications.

CECILIA PEREZ y CAROLINA VILLAGRAN

Laboratorio de Sistemática y Ecología Vegetal, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile.

RESUMEN

La ordenación de los bosques de “olivillo”, considerando la cobertura de las especies arbóreas, muestra la estrecha similitud florística y estructural de los bosques relictos del Norte Chico y los bosques templados del sur de Chile. Este resultado corrobora la distinción hecha por Oberdorfer (1960) de dos asociaciones florísticas dominadas por el “olivillo” en Chile: 1) *Lapagerio-Aextoxiconetum*, asociada a un clima templado-frío, y 2) *Peperomio-Aextoxiconetum* asociada a un clima mediterráneo semiárido y cálido, pero con un mesoclima húmedo, debido al aporte adicional de precipitaciones provenientes de las neblinas costeras regionales interceptadas por la vegetación. Por otra parte, en la zona central-sur de Chile con clima mediterráneo desde subhúmedo hasta perhúmedo, el “olivillo” no forma asociaciones puras sino que se asocia a especies esclerófilas o deciduas conformando variantes de las asociaciones *Boldo-Cryptocaryetum* y *Nothofago-Peersetum* de Oberdorfer (1960). Las principales variables climáticas que están determinando esta ordenación son la temperatura máxima media de verano, y las precipitaciones y temperaturas promedio anual. La ordenación de los bosques de “olivillo” considerando las características químicas de los suelos, muestra concordancia con la ordenación de la vegetación: los bosques relictos del Norte Chico se ordenan junto a los bosques relictos del sur de Chile, a pesar de la diferencia en el sustrato geológico en ambos sectores. En contraste, en la zona central-sur de Chile (33°40'S) se observa una disminución del pH y porcentaje de saturación de bases, con aumento del contenido de carbono total, que se correlaciona con el aumento de las precipitaciones desde el norte hacia el sur. Los resultados son consistentes con la hipótesis que propone de la pre-existencia de una paleocomunidad de “olivillo” distribuída en forma continua a lo largo de la costa de Chile durante el Pleistoceno. El aislamiento geográfico de los extremos norte y sur de la distribución del “olivillo”, que se produjo durante el Holoceno de acuerdo a las evidencias palinológicas y paleoambientales habría retardado la diferenciación florística y edáfica en el Norte Chico e islas del sur en comparación con Chile central-sur.

Palabras claves: Bosque siempreverde, relictos, gradiente climático, ordenación vegetacional, química del suelo.

ABSTRACT

Detrended correspondence analysis of *Aextoxicon punctatum* forests shows a high floristic and structural similarity between the relict forests of the Norte Chico and the south temperate rain forests of Chile. This result supports the early phytosociological analysis made by Oberdorfer (1960) who distinguished two floristic associations dominated by *Aextoxicon punctatum* in Chile: 1) *Lapagerio-Aextoxiconetum* associated with a southern cold-temperate climate and 2) *Peperomio-Aextoxiconetum* associated with a mediterranean, semiarid climate, but presenting a humid local microclimate as a result of frequent cloud-fog precipitation. On the contrary in the south-central zone of Chile *Aextoxicon punctatum* does not form dominant stands but it associates with both sclerophyllous and deciduous species constituting two subassociations: *Boldo-Cryptocaryetum* and *Nothofago-Peersetum*, also defined by Oberdorfer. The major climatic variables which determine this ordination pattern are: the maximum summer average temperature, the average annual temperature, and total precipitation. Moreover, the variation of soil chemical variables among sites shows concordance with the vegetational ordination. With respect to soil properties, the relict forests of Norte Chico lie close to the relict forests of south Chile, in spite of differences in the geological substrates. In contrast, in the central zone and south central zone of Chile (33°-40°) a decrease of both pH and % of base saturation and an increase of total carbon content are observed along with an increase in rainfall from north to south. These results support the hypothesis of a paleocommunity which was distributed continuously along the coast of Chile during the Pleistocene, and which is presently geographically isolated in the northernmost and southernmost sites within the range of *Aextoxicon*. According to the palynological and paleoenvironmental evidences the fragmentation would have occurred during the Holocene, delaying the floristic and edaphic differentiation of the stand of Norte Chico and southern islands in comparison to the forests of south-central Chile.

Key words: Evergreen forests, relicts forests, climatic gradient, ordination, soil-chemistry.

INTRODUCCION

Aextoxicon-punctatum R. et Pav., el "olivillo" o "tique", es el único miembro de una familia endémica chilena, Aextoxicáceas, y una de las especies arbóreas dominantes de los bosques laurifolios siempreverdes de la Cordillera de la Costa de Chile central-sur. Su vasta área de distribución geográfica, entre 30° y 44° de latitud sur, atraviesa distintas zonas climáticas desde subtropicales hasta subantárticas, y desde el nivel del mar hasta los 700 m de altura.

Los estudios florísticos y vegetacionales (Oberdorfer 1960, Villagrán & Armesto 1980, Troncoso *et al.* 1980, Pérez & Villagrán 1985) han demostrado la variación de la flora asociada a los bosques de "olivillo" a lo largo de su distribución. Las especies características de los bosques esclerófilo (30°-33°S), y templado-cálido de *Nothofagus* (34°-39°S), se asocian al "olivillo" en Chile central y centro-sur, mientras que en el sur de Chile (desde los 40°S) las del bosque siempreverde templado-lluvioso.

Los extremos norte y sur de la distribución del "olivillo" en Chile son discontinuos y han sido considerados, en la literatura, como relictos o remanentes de épocas geológicas con climas más cálidos. Su actual aislamiento sería una consecuencia de los cambios climáticos, y de las variaciones del nivel del mar, ocurridos durante los ciclos glacial-interglaciales del Cuaternario.

De acuerdo a la hipótesis más conocida (Looser 1935, Muñoz & Pisano 1947, Skottsberg 1948), el bosque de "olivillo" se habría distribuido en forma continua a lo largo de la costa de Chile central-sur durante el Pleistoceno. Las evidencias palinológicas (Heusser 1983, 1990, D'Antoni 1983), geológicas (Paskoff 1970) y biogeográficas (Troncoso *et al.* 1980, Villagrán & Armesto 1980) son consistentes con esta hipótesis.

Si la comunidad de "olivillo" se extendió en forma continua en la costa de Chile central-sur durante la última edad glacial, es posible que los relictos discontinuos del Norte Chico y extremo sur de Chile man-

tengan hasta la actualidad una flora, vegetación, y características edáficas muy similares. Se podría postular un carácter más conservativo para estas comunidades y sus suelos en base a que: 1) No ha transcurrido el suficiente tiempo para la diferenciación de taxa, 2) Las actuales barreras oceánicas y de habitat dificultarían la colonización de nuevos taxa 3) Ambas regiones mantienen condiciones microclimáticas muy similares (Kummerow 1962).

Por el contrario, en la costa de la zona central y sur de Chile, el gradiente climático actual desde mediterráneo-árido hasta templado-húmedo y la contigüidad geográfica entre distintas zonas vegetacionales determinarían una transformación florística de la comunidad pleistocénica original, con el consecuente cambio en las propiedades químicas del suelo superficial.

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto que ejerce el actual gradiente de precipitaciones y temperaturas, tanto en la composición florística y abundancia de la vegetación como en las características químicas de los suelos de los bosques de "olivillo" de Chile. Se incluye en la zona de estudio el análisis florístico y edáfico de las comunidades relictas de "olivillo" de los extremos norte y sur de distribución. De su comparación se espera obtener datos relevantes para la historia biogeográfica de la comunidad.

MATERIALES Y METODOS

Area de Estudio

Se estudiaron 17 localidades (28 sitios) a lo largo de la distribución del "olivillo" en la Cordillera de la Costa de Chile entre 30°-44°S de latitud (Fig. 1). En la Tabla 1 se presentan las coordenadas geográficas y las características topográficas y climáticas de cada uno de los sitios de estudio.

En la costa semiárida del Norte Chico, entre 30° y 33° S de latitud sur, se estudiaron localidades situadas en el Parque Nacional de Fray Jorge, en el cerro Santa Inés y en la Quebrada El Tigre, de Zapallar. Las localidades se sitúan en la transición entre la zona climática mediterránea, con inter-

valos episódicos de sequía durante el invierno (30°-34°S), y la zona de sequía permanente durante todo el año, desde los 30°S hacia el ecuador (Van Husen 1967). La presencia de bosques de "olivillo" en esta región no está directamente determinada por el régimen climático regional, sino por el mesoclima que generan las neblinas costeras regionales en las cimas de los cerros. Mediciones realizadas por Kummerow en Fray Jorge (1962) indican una precipitación promedio anual al interior del bosque, de 1700 mm, debido a la intercepción de neblinas, en contraste con la precipitación promedio anual de 127 mm registrada en la estación meteorológica más cercana de La Serena. En Fray Jorge, el bosque de "olivillo" se encuentra fragmentado (Tab. 1); se seleccionaron cuatro manchones situados a distintas altitudes, considerando el posible aporte diferencial de humedad determinado por la altura (Pérez & Villagrán 1985).

En la zona mediterránea templado-cálida con humedad suficiente, entre los 33° y 39° de latitud sur, se estudiaron las localidades de Quebrada El Roble, Cerro Cayumanque, Quebrada Rucaraqui e Isla Mocha.

En la zona templado-lluviosa de Chile, al sur de los 39° de latitud sur se seleccionaron 16 sitios (Tab. 1) en las laderas oriental y occidental de la Cordillera de la Costa, considerando el efecto de sombra de laderas de esta montaña.

En el extremo sur del área de estudio, se incluyeron islas situadas al este (isla Alao) y al sur de la Isla Grande de Chiloé (Archipiélago de Guapiquilán e isla Guafo). Las localidades Guapiquilán I y II corresponden a grupos de islas no expuestas y expuestas a los vientos del oeste, respectivamente (Leiva *et al.*, datos no publicados). Isla Guafo corresponde al extremo sur de la distribución geográfica del bosque de "olivillo" en Chile.

Todas las localidades continentales estudiadas se sitúan en la Cordillera de la Cos-

Tabla 1: Características geográficas y climáticas de las localidades y sitios de estudio.

Geographical and climatic characteristics of each locality and site.

Localidades y sitios de estudio	Estación meteorológica más cercana	Latitud (S)	Longitud (W)	Altitud (mam)	Exposición	Pendiente (°)	Precipitación % anual (mm)	Temperatura % anual (°C)
1.1 Fray Jorge I	La Serena	30°40'	71°40'	480	S	19	127	14.4
1.2 Fray Jorge IV A	"	30°40'	71°40'	550	S-SW	12		
1.3 Fray Jorge IV B	"	30°40'	71°40'	500	W	15		
1.4 Fray Jorge V	"	30°40'	71°40'	540	SW	10		
2 Cerro Santa Inés	"	32°10'	71°28'	450	SE	25		
3 Zapallar	Zapallar	32°33'	71°30'	350	E-SE	22	394	14.2
4 Quebrada El Roble	San Antonio	34°18'	71°55'	250	S	45	441	13.3
5.1 Cerro Cayumanque I	Concepción	36°42'	72°32'	500	S	20	1308	14.4
5.2 Cerro Cayumanque II	"	36°42'	72°32'	470	SE	22		
5.3 Cerro Cayumanque III	"	36°42'	72°32'	385	SW	25		
5.4 Cerro Cayumanque IV	"	36°42'	72°32'	400	SE	20		
6.1 Quebrada Rucaraqui I	Lebu	37°46'	73°33'	130	SE	30	1302	13
6.2 Quebrada Rucaraqui II	"	37°46'	73°33'	100	SE	20		
6.3 Quebrada Rucaraqui III	"	37°46'	73°33'	25	NE	20		
7.1 Isla Mocha I	Isla Mocha	38°21'	73°58'	200	plano	0	1260	12.7
7.2 Isla Mocha II	"	38°21'	73°58'	300	"	0		
8.1 Fundo San Martín I	Valdivia	39°00'	73°07'	15	"	0	2348	11.9
8.2 Fundo San Martín II	"	39°00'	73°07'	15	"	0		
9.1 Huelcoña I	Punta Galera	40°08'	73°33'	100	W	8	2077	11.3
9.2 Huelcoña II	"	40°08'	73°33'	80	NW	20		
10 Auculida (Chiloé)	Castro	42°22'	74°49'	180	W	22	1598	11.6
11 Pastahué (Chiloé)	"	42°21'	74°49'	90	NE	20		
12 Abtao (Chiloé)	Punta Corona	42°20'	74°08'	100	W-SW	15	2411	10.7
13 Isla Alao (Chiloé)	Morro Lobos	42°35'	73°16'	40	N-NE	20	2446	9.5
14 Cole-Cole (Chiloé)	"	42°30'	74°11'	70	NE	18		
15 Isla Guapiquilán I	Quellón	43°25'	74°10'	25	SE	0	2048	10.6
16 Isla Guapiquilán II	"	43°25'	74°10'	20	plano	0		
17 Isla Guafo	Guafo	43°37'	74°45'	90	S	10	1408	9.7

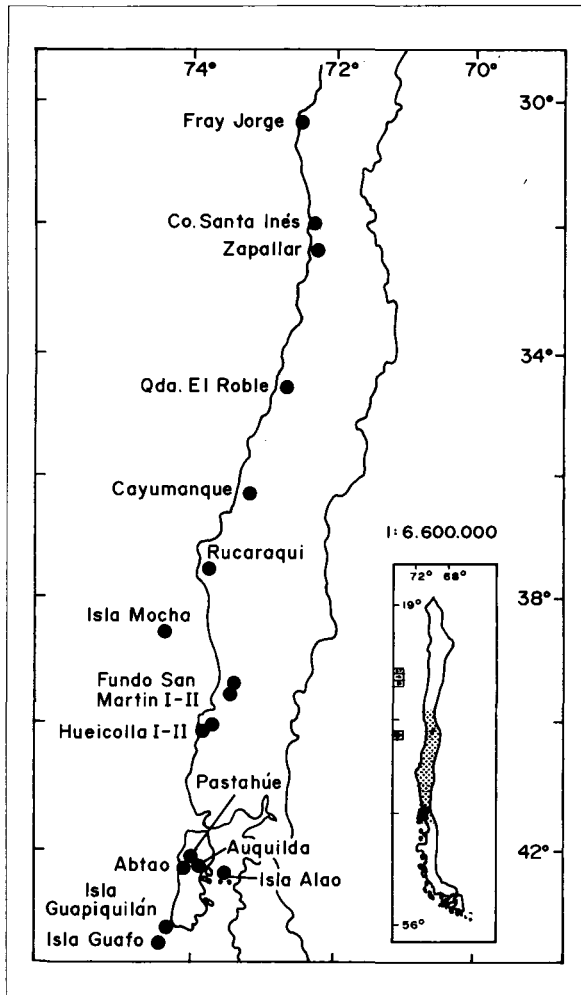


Fig. 1: Sitios de estudio a lo largo de la Cordillera de la Costa entre los 30°-44° de latitud sur.

Study sites along the Coastal Range between 30°-44° south latitude.

ta. El basamento cristalino de esta cordillera está formado por rocas metamórficas paleozoicas e intrusivas de edad pre-Mesozoica. El basamento metamórfico corresponde a pizarras, filitas, esquistos y derivados hornafélsicos (Gonzalez & Aguirre 1970). En la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, entre los 33° y 38°S, el basamento metamórfico está en contacto con el basamento intrusivo Paleozoico consistente principalmente en granitos y granodioritas. La mayoría de las localidades de estudio se sitúan sobre rocas metamórficas, dominadas en toda su extensión por esquistos verdes con una monótona litología caracterizada por piza-

rras, micaesquistos y micacuarcitas. Constituyen excepciones las localidades de Zapallar y Cayumanque, situadas sobre un basamento intrusivo, y Rucaraqui, sobre sedimentos marinos terciarios y cuaternarios (Endlicher & Mäckel 1985).

Las islas del Archipiélago Guapiquilán y Guafo, al sur de la Isla Grande de Chiloé, y la Isla Mocha (40 km al oeste de Tirúa), son de origen volcánico. El sustrato geológico de estas islas es conocido localmente como "cancagua" y corresponde a sedimentos de ceniza volcánica muy cementados. Los análisis químicos de las rocas realizados en la Universidad de Trier (Dr. Wagner, comun. pers.) muestran correspondencia con adensitas de carácter neutro a alcalino.

Método

En cada una de las 17 localidades de estudio se levantaron censos fitosociológicos, a diferentes altitudes y exposiciones (Tabla 1), para establecer la composición florística y las abundancias de las especies (Braun Blanquet 1964). Este método consiste en una estimación visual de la abundancia de especies en un área aproximada de 20 x 30 m, considerando tanto la cobertura como la frecuencia de especies vegetales, utilizando una escala de valores de 1 a 5.

En cada localidad, se tomaron tres muestras de suelo superficial (0-10 cm), bajo agrupaciones mono-específicas de "olivillo", para así mantener invariante la calidad de la hojarasca a lo largo del gradiente latitudinal estudiado. Se analizaron los siguientes parámetros químicos de los suelos, utilizando las metodologías estandarizadas por Schlichting & Blume (1966), Scheffer & Schachtschabel (1984) y Kretschmar (1984),

a) Reacción del suelo (pH), mediante medición electrométrica del pH en solución acuosa y salina (0,01 m CaCl_2), en una relación solución/suelo de 2:1.

b) Contenido total de carbono (Ct), mediante el método de Lichterfeldt. La oxidación de la materia orgánica se realizó con una solución de ácido sulfúrico concentrado y dicromato de potasio y se determinó en forma fotométrica.

c) Contenido total de nitrógeno (Nt) mediante el método Kjeldahl. La extracción del nitrógeno orgánico se realizó con ácido sulfúrico concentrado, luego de ebullición durante media hora en un digestor Kjeldahl. La destilación del extracto, en una solución de hidróxido de sodio al 32%. La determinación del nitrógeno, por titulación con una solución de NaOH (0,1n).

d) Contenidos de fósforo y potasio disponible para las plantas: La extracción se realizó con lactato de calcio y ácido acético (Método CAL). La determinación del fósforo en forma colorimétrica, según el método del molibdeno azul. La determinación del potasio, en el espectrofotómetro de absorción atómica (AAS).

e) Contenido de cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico potencial (CIC), mediante el método de Mehlich. El intercambio de los cationes se realizó con una solución de cloruro de bario a un pH de 8,1. En esta solución se determinaron los iones de Ca, Mg, K y Na en el AAS. Los iones de bario absorbidos en el complejo de intercambio se lavaron con una solución de cloruro de magnesio, y en esta solución, se determinó el contenido de iones en el AAS; así se obtuvo el total de cationes en el complejo de intercambio (CIC). El porcentaje de saturación de bases (%SB), corresponde al porcentaje de cationes básicos absorbidos en el complejo de intercambio.

f) Mineralización potencial del nitrógeno orgánico del suelo: Previa mezcla y homogenización de las tres muestras de suelo superficial, se incubaron humedecidas, a ca. 60% de la capacidad hídrica, a 20°C y durante un periodo de 7 días (Zöttl 1956). La determinación de los contenidos de nitrato y amonio se realizó con una solución al 1% de sulfato de aluminio potásico $KAl(SO_4)_2$ seguida de la destilación fraccionada según Kjeldahl. Bajo condiciones levemente alcalinas se destila primero el amonio y, posteriormente, el nitrato es reducido y destilado como amonio igualmente. La determinación de los contenidos de amonio se realizó por titulación y la del nitrato, con un electrodo de vidrio. La suma de ambos contenidos corresponde al total de nitrógeno mineralizado durante el ensayo.

En el ordenamiento de los sitios considerando las variables vegetacionales y edáficas, se incluyeron los datos climáticos provenientes de las estaciones meteorológicas más cercanas a cada localidad de estudio (Di Castri & Hajek 1976, Tabla 1). Se incluyeron las siguientes variables climáticas: promedio anual de precipitaciones; precipitaciones invernales (julio-agosto) y estivales (diciembre-febrero); temperaturas medias anuales, de verano, y de invierno; temperatura máximas medias de verano y de invierno; temperaturas mínimas medias de verano y de invierno.

El tratamiento estadístico de los datos se realizó utilizando técnicas de análisis multivariado (Decorana; Detrended Correspondence Analysis). La ordenación de las especies y los sitios de estudio se realizó ingresando separadamente los valores de coberturas de las especies arbóreas, y las variables químicas del suelo superficial. Para la interpretación de los ordenamientos de la vegetación y del suelo, se correlacionaron los valores del eje 1 del análisis Decorana con las variables climáticas provenientes de las estaciones meteorológicas más cercanas a cada sitio de estudio.

RESULTADOS

Flora y vegetación

La Fig. 2 muestra la ordenación de las especies arbóreas obtenida en el análisis de correspondencia, considerando los valores de cobertura. Los eje 1 y 2 explican el 45,5% y el 35,1% de la variabilidad de los datos, respectivamente. Se observan las siguientes agrupaciones de especies:

Grupo 1: El extremo superior derecho del gráfico integra las especies características del bosque esclerófilo de la zona central de Chile: *Cryptocarya alba*, *Myrceugenia obtusa*, *Schinus latifolius*, *Senna stipulacea*, *Peumus boldus*, *Citronella mucronata*, *Dasyphyllum excelsum*, *Lithrea caustica*, *Escallonia pulverulenta* y *Kageneckia oblonga*.

Grupo 2: El extremo inferior derecho del eje 1 integra las especies características del bosque templado-cálido de *Nothofagus*:

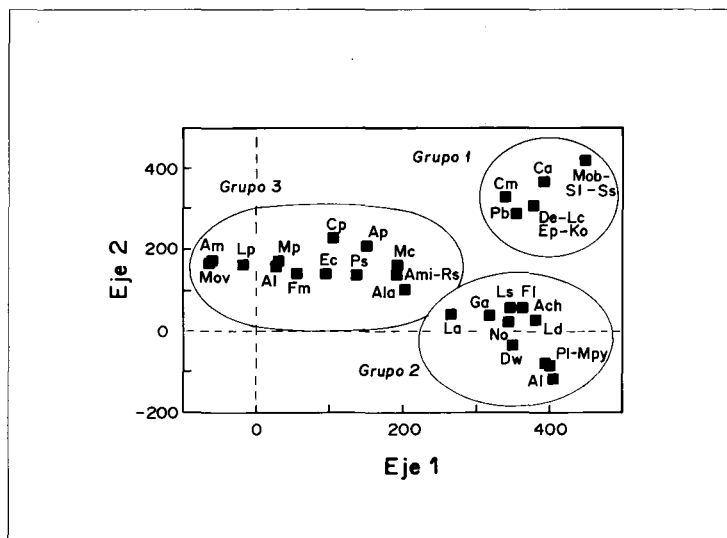


Fig. 2: Ordenación de especies arbóreas según análisis Decorana de sus coberturas. Los códigos para las especies son: Ca: *Cryptocarya alba*, Mob: *Myrceugenia obtusa*, Sl: *Schinus latifolius*, Ss: *Senna stipulacea*, Cm: *Citronella mucronata*, Pb: *Peumus boldus*, De: *Dasyphyllum excelsum*, Lc: *Lithrea caustica*, Ep: *Escallonia pulverulenta*, Ko: *Kageneckia oblonga*, Ala: *Azara lanceolata*, Ami: *Azara microphylla*, Rs: *Rhaphithamnus spinosus*, Mc: *Myrceugenia correifolia*, Ap: *Aextoxicon punctatum*, Ps: *Podocarpus saligna*, Cp: *Caldcluvia paniculata*, Ec: *Eucryphia cordifolia*, Fm: *Fuchsia magellanica*, Mp: *Myrceugenia planipes*, Al: *Azara lanceolata*, Lp: *Laurelia philippiana*, Mov: *Myrceugenia ovata*, Am: *Amomyrtus meli*, Ls: *Laurelia sempervirens*, Fl: *Fuchsia lysiodes*, Ach: *Aristotelia chilensis*, No: *Nothofagus obliqua*, Ga: *Gevuina avellana*, Ld: *Lomatia dentata*, Dw: *Drimys winteri*, Pl: *Persea lingue*, Mpv: *Myrceugenia parviflora*, Ai: *Azara integrifolia*, La: *Luma apiculata*.

Decorana tree-cover ordination. The symbols for each species are: Ca: *Cryptocarya alba*, Mob: *Myrceugenia obtusa*, Sl: *Schinus latifolius*, Ss: *Senna stipulacea*, Cm: *Citronella mucronata*, Pb: *Peumus boldus*, De: *Dasyphyllum excelsum*, Lc: *Lithrea caustica*, Ep: *Escallonia pulverulenta*, Ko: *Kageneckia oblonga*, Ala: *Azara lanceolata*, Ami: *Azara microphylla*, Rs: *Rhaphithamnus spinosus*, Mc: *Myrceugenia correifolia*, Ap: *Aextoxicon punctatum*, Ps: *Podocarpus saligna*, Cp: *Caldcluvia paniculata*, Ec: *Eucryphia cordifolia*, Fm: *Fuchsia magellanica*, Mp: *Myrceugenia planipes*, Al: *Azara lanceolata*, Lp: *Laurelia philippiana*, Mov: *Myrceugenia ovata*, Am: *Amomyrtus meli*, Ls: *Laurelia sempervirens*, Fl: *Fuchsia lysiodes*, Ach: *Aristotelia chilensis*, No: *Nothofagus obliqua*, Ga: *Gevuina avellana*, Ld: *Lomatia dentata*, Dw: *Drimys winteri*, Pl: *Persea lingue*, Mpv: *Myrceugenia parviflora*, Ai: *Azara integrifolia*, La: *Luma apiculata*.

Persea lingue, *Nothofagus obliqua*, *Lomatia dentata*, *Gevuina avellana*, *Laurelia sempervirens*, *Azara integrifolia* y *Myrceugenia parviflora*; y otras especies de amplia distribución en Chile tales como *Fuchsia lysiodes*, *Aristotelia chilensis* y *Drimys winteri*.

Grupo 3: Hacia la izquierda, y a lo largo del eje 1, se observa una secuencia de especies, desde taxa característicos de los relictos de "olivillo" del Norte Chico (*Myrceugenia correifolia*, *Azara microphylla* y *Rhaphithamnus spinosus*) hasta las especies características del bos-

que templado-lluvioso del sur de Chile: *Aextoxicon punctatum*, *Caldcluvia paniculata*, *Eucryphia cordifolia*, *Podocarpus saligna*, *Amomyrtus luma*, *Myrceugenia planipes*, *Laurelia philippiana*, *Myrceugenia ovata* y *Amomyrtus meli*. El ordenamiento de las especies muestra correspondencia con el ordenamiento de los sitios.

Para discriminar qué variables climáticas son determinantes en la ordenación florística de los bosque de "olivillo" se realizó un análisis de correlación. Para cada sitio, se relacionaron los valores obtenidos

Tabla 2

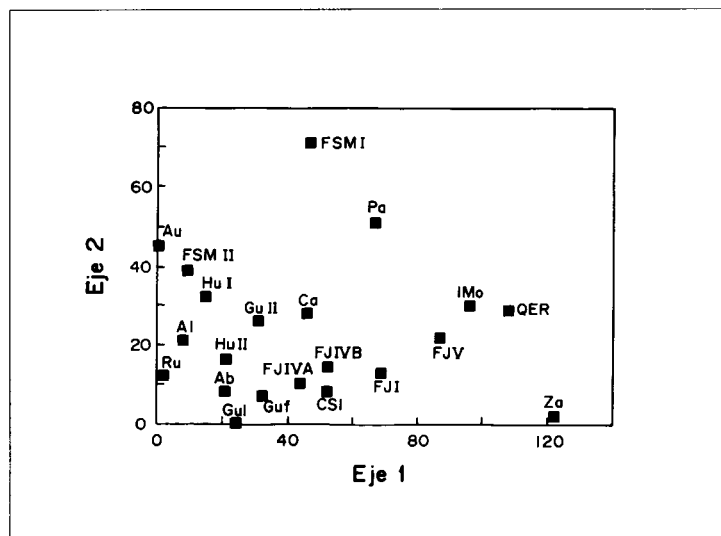
Indices de determinación (R^2) entre los valores del eje 1 del análisis Decorana al ingresar la cobertura de árboles, con las variables climáticas de estaciones meteorológicas más cercanas a los sitios de estudio. 17 grados de libertad.
*= $P < 0,05$; **= $P < 0,01$; ***= $P < 0,001$.

Determination indices (R^2) between axis 1 of Decorana of tree cover with the climatic variables at the nearest meteorological stations. 17 degrees of freedom.
*= $P < 0,05$; **= $P < 0,01$; ***= $P < 0,001$.

Variables	R^2
Precipitación promedio anual	0,39**
% de precipitaciones invernales	0,09n.s
% de precipitaciones estivales	0,05n.s
Temperatura promedio anual	0,36**
Temperatura máxima media de verano	0,54***
Temperatura media de verano	0,29*
Temperatura mínima media de verano	0,28*
Temperatura máxima media de invierno	0,34**
Temperatura media de invierno	0,26*
Temperatura mínima media de invierno	0,16n.s

Fig. 3: Ordenación de los sitios de estudio según análisis Decorana de las variables químicas del suelo. FJI-FJIV: Fray Jorge I-IV, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque I, Ru: Quebrada Rucaraqui I, IMo: Isla Mocha I, FSM I-II: Fundo San Martín I-II, Hu I-II: Hueicolla I-II, Pa: Pastahué, Ab: Abtao, Al: Isla Alao, Gu I-II: Isla Guapiquilán I-II, Guf: Isla Guafo.

Site ordination according to Decorana of the chemical characteristics of soils. The symbols for each site are: FJI-FJIV: Fray Jorge I-IV, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque I, Ru: Quebrada Rucaraqui I, IMo: Isla Mocha I, FSM I-II: Fundo San Martín I-II, Hu I-II: Hueicolla I-II, Pa: Pastahué, Ab: Abtao, Al: Isla Alao, Gu I-II: Isla Guapiquilán I-II, Guf: Isla Guafo.



para el eje 1 del análisis de correspondencia con las variables climáticas (temperatura y precipitaciones).

La Tabla 2 muestra correlaciones estadísticamente significativas entre los valores del eje 1 con prácticamente todas las variables de temperatura y con los montos anuales de precipitaciones, en especial con la temperatura máxima media de verano y las precipitaciones y temperatura promedio anual.

Suelos

La Fig. 3 muestra la ordenación de los sitios de estudio, obtenida con el análisis de correspondencia de las características químicas del suelo superficial. El eje 1 explica 75,4% de la variabilidad de los datos y el eje 2, 16%. Las localidades se disponen a lo largo del eje 1 en la siguiente secuencia. En el extremo derecho, las localidades de la zona central (Zapallar y Quebrada El Roble); hacia el centro, las localidades de isla Mocha y los manchones boscosos más xéricos, Fray Jorge I y Fray Jorge V. Hacia la izquierda las localidades más oceánicas del sur de Chile, Abtao, Guapiquilán I y II y Guafo, el manchón más higrófilo de Fray Jorge (IV) y el bosque relicto del cerro Santa Inés. Al extremo

izquierdo, las localidades de Alao, Auquilda y Rucaraqui. Los bosques del Fundo San Martín I y Pastahué, situados en la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, se disponen en el extremo superior del eje 2.

Para discriminar cuáles variables climáticas afectan primariamente las propiedades químicas del suelo superficial de los sitios estudiados, se realizó un análisis de correlación entre las variables climáticas y los valores del eje 1, obtenidos para cada sitio en el análisis de correspondencia. En la tabla 3 se observan correlaciones estadísticamente significativas entre los valores del eje 1 con la mayoría de las variables climáticas, a excepción de las precipitaciones invernales y estivales y la temperatura máxima media de verano.

En las Figuras 4, 5 y 6 se muestra la variación del pH, el porcentaje de saturación de bases y el contenido de carbono, en relación con el gradiente de precipitaciones. Se observa una tendencia de disminución del pH (Fig. 4) y del % de saturación de bases (Fig. 5) con el aumento de las precipitaciones. Las localidades más boreales de Fray Jorge y Cerro Santa Inés, con precipitaciones de neblinas estimadas en 1.700 mm anuales (Kummerow 1962), muestran valores de pH y de saturación de bases equivalentes a las localidades del extremo sur. En la Fig. 6 se observa una tendencia hacia el aumento en los contenidos de carbono del suelo superficial, con el aumento en las precipitaciones. También

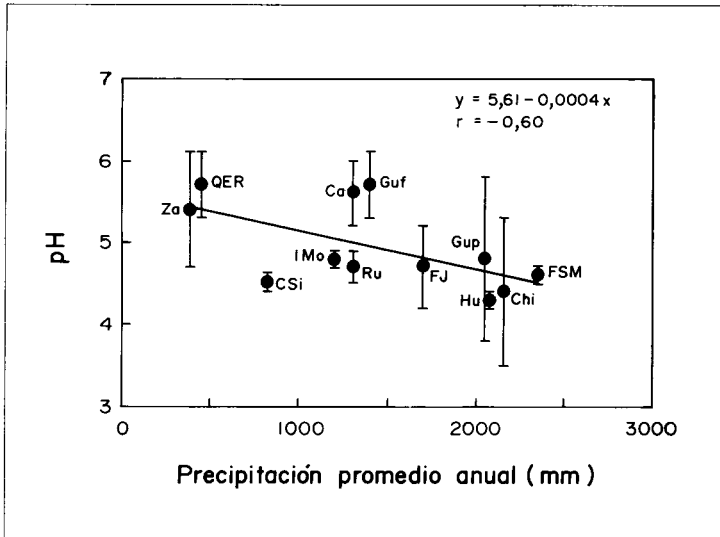


Fig. 4: Relación entre el pH del suelo superficial y la precipitación promedio anual de estaciones meteorológicas cercanas a los bosques de «olivillo». FJ: Promedio de sitios de Fray Jorge, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque I, Ru: Quebrada Rucaraqui I, IMo: Isla Mocha I, Chi: Promedio de sitios de Chiloé, Gup: Promedio de sitios de Guapiquilán, Guf: Isla Guafo.

Correlation between pH of surface soils and average annual precipitation at the nearest meteorological station. The symbols for each site are: FJ: Average for Fray Jorge sites, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque I, Ru: Quebrada Rucaraqui I, IMo: Isla Mocha I, Chi: Average for Chiloé sites, Gup: Average for Guapiquilán sites, Guf: Isla Guafo.

en este caso los relictos del Norte Chico exhiben valores mayores que los correspondientes por latitud.

DISCUSION

Los resultados muestran que, en gran medida, las variables climáticas (precipitación y temperatura) determinan la composición florística, la estructura de la vegetación, y las características químicas de los suelos del bosque de «olivillo».

Florísticamente, en este trabajo se ratifica la existencia de distintas asociaciones con «olivillo» a lo largo del gradiente latitudinal de Chile central-sur. En las localidades del Norte Chico (Fray Jorge y Cerro Santa Inés), con un clima mediterráneo semiárido y cálido, pero con un mesoclima húmedo, se desarrolla la asociación *Peperomio-Aextoxiconetum* (Oberdorfer 1960). De acuerdo al análisis de correspondencia, la vegetación arbórea de estos bosques presenta una similitud muy estrecha con la vegetación de los bosques con «olivillo» al sur de los 39°-40°S, con clima templado-frío y húmedo durante todo el año. Estos bosques han sido incluidos en la asociación *Lapagerio-Aextoxiconetum* por Oberdorfer (1960). La similitud entre ambas asociaciones está

Fig.5: Relación entre el % de saturación de bases del suelo superficial y las precipitaciones promedio anuales de estaciones meteorológicas cercanas a los bosques de «olivillo» estudiados. FJ: Promedio de los sitios de Fray Jorge, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque I, Ru: Quebrada Rucaraqui I, IMo: Isla Mocha I, Chi: Promedio de sitios e Chiloé, Gup: Promedio de sitios de Guapiquilán, Guf: Isla Guafo.

Correlation between % of base saturation of surface soils and the average annual precipitation at the nearest meteorological station. The symbols for each site are: FJ: Average for Fray Jorge sites, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque I, Ru: Quebrada Rucaraqui I, IMo: Isla Mocha I, Chi: Average for Chiloé sites, Gup: Average for Guapiquilán sites, Guf: Isla Guafo.

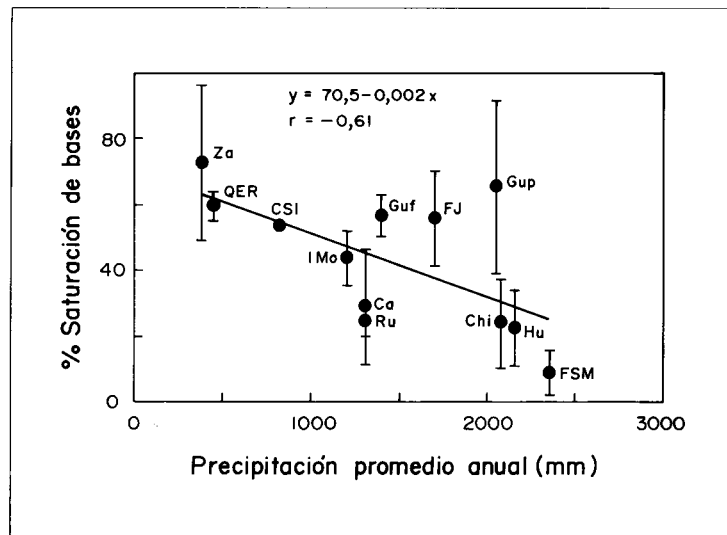


Tabla 3

Indices de determinación (R^2) entre los valores del eje 1 del análisis Decorana al ingresar los parámetros químicos del suelo de los bosques de "olivillo", con las variables climáticas de estaciones meteorológicas más cercanas a los sitios de estudio. 19 grados de libertad.
 *= $P < 0,05$; **= $P < 0,01$; ***= $P < 0,001$.

Determinatiopn indices (R^2) between axis 1 of Decorana of the hemical variables of soils of *Aextoxicon punctatum* forests with the climatic variables at the nearest meteorological stations. 19 degrees of freedom.
 *= $P < 0,05$; **= $P < 0,01$; ***= $P < 0,001$.

Variabes	R^2
Precipitación promedio anual	0,52**
% de precipitaciones invernales	0,01n.s
% de precipitaciones estivales	0,00n.s
Temperatura promedio anual	0,37**
Temperatura máxima media de verano	0,17n.s
Temperatura media de verano	0,22*
Temperatura mínima media de verano	0,29*
Temperatura máxima media de invierno	0,29*
Temperatura media de invierno	0,35**
Temperatura mínima media de invierno	0,20n.s

dada por la presencia común de: *Aextoxicon punctatum*, *Rhaphithamnus spinosus* y *Drimys winteri*. Además las epífitas *Mitraria coccinea*, *Sarmienta repens*, *Nertera granadensis*, *Griselinia scandens* y *Peperomia fernandeziana* (Troncoso *et al.* 1980, Pérez & Villagrán 1985). Por el contrario, las localidades de la zona central de Chile (Zapallar y Quebrada El Roble) y de la zona transicional central-sur, muestran ser asociaciones florísticamente independientes.

En Chile central el "olivillo" se asocia a las especies esclerófilas de la región y el stress hídrico estival impide la presencia de otras especies de distribución más austral. El clima preponderante es mediterráneo subhúmedo-cálido. Por su composición florística, estos bosques podrían ser incluidos en una variante con *Aextoxicon* dentro de la asociación *Boldo-Cryptocaryetum* de Oberdorfer (1960). En la zona transicional, en las localidades de Cayumanque y Rucaraqui, con un clima mediterráneo templado-cálido con humedad suficiente, se asocian al "olivillo" tanto especies esclerófilas (e.g. *Cryptocarya alba*), como especies de distribución más

austral (e.g. *Gevuina avellana*). Por la presencia de "roble", esta asociación correspondería al *Nothofago-Perseetum* de Oberdorfer (1960), que se distribuye en el valle longitudinal de Chile entre los 38°-41°S.

En lo que se refiere a los parámetros químicos del suelo superficial, las tendencias hacia la disminución del pH y del % de saturación de bases, y hacia el aumento del contenido de carbono, con el aumento de las precipitaciones norte-sur, estarían en concordancia con tendencias similares descritas por diversos autores en otros ecosistemas terrestres (Schlesinger 1977, Swift *et al.* 1979, Post *et al.* 1982). La relación positiva entre la reacción del suelo y su contenido de bases con las precipitaciones pueden ser explicadas

por el aumento de la lixiviación de cationes básicos desde el complejo de intercambio de las arcillas del suelo con el aumento de las lluvias.

El análisis de correspondencia para las variables químicas del suelo muestra que las localidades más australes, las isla Guapiquilán y Guafo, tienen una estrecha similitud edáfica con las localidades relictas del Norte Chico, pese a las diferencias en sustrato geológico entre ambas regiones. Esta similitud está dada por el elevado % de saturación de bases y el pH en las islas del sur, con valores que escapan a las tendencias latitudinales norte-sur comentados anteriormente. También el análisis de correspondencia para los suelos muestra un comportamiento distinto entre las localidades de la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa (Fundo San Martín, Pastahué y Auquilda) y las localidades más oceánicas situadas a las mismas latitudes.

En conclusión, los resultados muestran que los relictos del Norte Chico y los sitios de la zona templado-lluviosa del sur de Chile son similares tanto en la composición y abundancia de árboles como en las características químicas de los suelos. Las

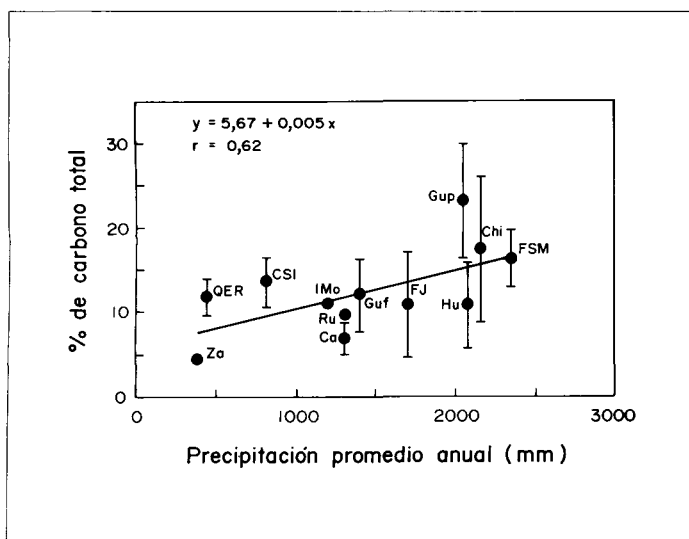


Fig. 6: Relación entre el porcentaje de carbono total del suelo superficial y las precipitaciones promedio anuales de estaciones meteorológicas cercanas a los bosques de «olivillo» estudiados. FJ: Promedio de sitios de Fray Jorge, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque I, Ru: Quebrada Rucaraqui I, IMo: Isla Mocha I, Chi: Promedio de sitios de Chiloé, Gup: Promedio de sitios de Guapiquilán, Guf: Isla Guafo. Correlation between % of total carbon content of surface soils and the average annual precipitation at the nearest meteorological station. The symbols for each site are: FJ: Average for Fray Jorge sites, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque I, Ru: Quebrada Rucaraqui I, IMo: Isla Mocha I, Chi: Average for Chiloé sites, Gup: Average for Guapiquilán sites, Guf: Isla Guafo.

condiciones lluviosas y oceánicas que vinculan los bosques aislados del Norte Chico con los de la zona templada de Chile, a pesar de la distancia geográfica que separan a ambas regiones, sugieren la preexistencia de una comunidad de más amplio rango geográfico asociado a un clima más homogéneo que en la actualidad, a lo largo de la costa central y centro-sur de Chile. En otras palabras, los bosques de neblina del Norte Chico representarían auténticos relictos vegetacionales y edáficos de una paleocomunidad caracterizada por un clima más mésico, como lo postulan todos los autores que se han preocupado de este problema. Las evidencias palinológicas (Heusser 1966, 1990, Villagrán 1990) existentes para la Región de los Lagos y Chile central muestran la existencia de una comunidad de parque con *Nothofagus* y coníferas, alternando con abundantes herbáceas en el valle longitudinal durante la última edad glacial. Esta comunidad ocupó el valle central a lo largo de un extenso rango latitudinal, desde 34°-43°S, asociada a tundras magallánicas en el extremo sur, y no tendría análogos en la actualidad. Los antecedentes paleoambientales (CLIMAP 1981) sugieren temperaturas frías y lluviosas. No existen antecedentes para la Cordillera de la Costa y costa de Chile; probablemente las bajas altitudes en esta región fué el único refugio de las especies que actualmente forman parte de los bosques esclerófilo y templado, que ac-

tualmente ocupan el valle longitudinal en la zona centro y centro-sur del país, ya que la cordillera de los Andes fué glaciada y al este de los Andes el clima fué árido y continental (Garleff *et al.* 1991).

Al norte de 30°S los antecedentes también sugieren persistencia de condiciones áridas durante el Pleistoceno.

La fragmentación del borde norte de distribución del «olivillo» sería una consecuencia del cambio climático, desde húmedo a semiárido ocurrido durante la transición Holoceno-Pleistoceno ca. de 10.000 años A.P. (Villagrán & Varela 1990, Heusser 1990). Las evidencias de polen muestran la desaparición del parque de *Nothofagus* del valle longitudinal de Chile central y de los taxa acuáticos de la costa, y la expansión en esta área del matorral semiárido. Probablemente, desde esta fecha, la comunidad de «olivillo» se refugió en la cima de los cerros con neblinas, adquiriendo su distribución relictiva. En la zona centro-sur habrían expandido desde los refugios costeros hacia el valle central, las especies del bosque templado siempreverde, produciéndose la entremezcla con *Nothofagus* (Villagrán 1992).

En el extremo sur de Chile, el ascenso del nivel del mar durante la deglaciación habría determinado el actual aislamiento geográfico del bosque de «olivillo» en el Archipiélago Guapiquilán e Isla Guafo (Villagrán *et al.* datos no publicados, Clark & Blume 1979, Clapperton & Roberts 1986). El ais-

lamiento geográfico de los relictos del norte por barreras de vegetación semiárida y de los relictos del sur, debido al ascenso del nivel del mar, habrían impedido la entremezcla florística en los extremos norte y sur del bosque de "olivillo" durante el Holoceno.

En resumen se puede concluir que, tanto la composición florística como las características químicas de los suelos del bosque de "olivillo" en Chile, sugieren la existencia de una comunidad ancestral asociada a un ambiente oceánico muy homogéneo durante todo el año y de edad antigua y de amplia extensión en la costa del Norte Chico, Chile central y sur.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos a la Dra. Bárbara Ruthsatz, quién a través del Servicio Alemán de Intercambio Académico permitió los análisis químicos de suelos en la Universidad de Trier, Alemania. También por su valiosa colaboración en el terreno a Alejandro Segura, Juan Capella y los hermanos Aguila. Agradecemos también a Hector Jimenez por su asesoría estadística. Este trabajo es parte de la tesis de Cecilia Pérez financiada parcialmente por FONDECYT 0860. La redacción de este trabajo fue auspiciada por FONDECYT 91-0844.

LITERATURA CITADA

- BRAUN-BLANQUET (1964) *Pflanzensoziologie*. Springer Verlag, New York.
- CLAPPERTON CH & D ROBERTS (1986) Quaternary sea levels changes in the Falkland Islands. J RABASSA (ed). *Quaternary of south America and Antarctic Peninsula* 4:99-117.
- CLARK J & A BLOOM (1979) The effect of patagonian ice sheet on the relative sea levels along the Atlantic coast of south America: A numerical calculation. *Proceeding of "1978 International Symposium of coastal Evolution in the Quaternary"*, San Pablo, Brasil: 61-76.
- CLIMAP Project Members (1981) Seasonal reconstructions of the earth's surface at the last glacial maximum. In: R Cline [ed]: *Map and Chart Series 36*, Geological Society of America, Boulder.
- D' ANTONI H (1983) Polen analysis of Gruta del Indio. *Quaternary of South America and Antarctic Research* 1: 83-104.
- DI CASTRI F & E HAJEK (1976) *Bioclimatología de Chile* Editorial de la Universidad Católica, Santiago.
- ENDLICHER W & R MÄCKEL (1985) Natural resources, land use and degradation in the coastal zone of Arauco and the Nahuelbuta Range, Central Chile. *Geojournal* 11(1): 43-60.
- GARLEFF K, F SCHÄBITZ, H STINGL & H VEIT (1991) Jungquartäre Landschaftsentwicklung und Klimageschichte beiderseits der Ariden Diagonale Südamerikas. *Bamberger geographische Schriften* 11: 359-394.
- GONZALEZ-BONORINO F & L AGUIRRE (1970) Metamorphic facies series of the crystalline basement of Chile. *Geologische Rundschau* 59: 979-994.
- HEUSSER C (1983) Quaternary pollen records from Laguna de Tagua-Tagua. *Science* 219:1929-1431.
- HEUSSER C (1990) Ice vegetation and climate of subtropical Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 80: 107- 127.
- KRETZHMAR R (1984) *Kulturtechnisch-Bodenkundliches Praktikum*. Universität Kiel.
- KUMMEROW J (1962) Quantitative Messungen des Nebelniederschlags im Walde von Fray Jorge an der nordchilenschen Küste. *Die Naturwissenschaften* 49:203-204.
- LOOSER G (1935) Argumentos botánicos a favor de un cambio de clima en Chile central en tiempos geológicos recientes. *Revista Universitaria* 20: 843-857.
- MUÑOZ C & E PISANO (1947) Estudio de la vegetación y flora de los Parques Nacionales de Fray Jorge y Talinay. *Agricultura Técnica* 7: 71-190.
- OBERDORFER E (1960) *Pflanzensoziologische Studien in Chile*. Verlag von J. Cramer, Weinheim.
- PASKOFF R (1970) *Recherches Géomorphologiques dans le Chili semi-Xaride*. Biscaye Frères. Bordeaux.
- PÉREZ C & C VILLAGRAN (1985) Distribución de abundancias de especies en bosques relictos de la zona mediterránea de Chile. *Revista Chilena Historia Natural* 58: 157-170.
- POST WH, WR EMANUEL, PS ZINKE & AG STRANGERBERGER (1982) Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 258:697-698.
- SACHS L (1984) *Angewandte Statistik*. Springer Verlag, Berlin.
- SCHLESINGER WH (1977) Carbon balance in terrestrial detritus. *Annual Review of Ecology and Systematic* 8:51-81.
- SCHLICHTING E & H BLUME (1966) *Bodenkundliches Praktikum*. Hamburg.
- SHEFFER F & P SCHACHTSCAHBEL (1984) *Lehrbuch der Bodenkunde*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SKOTTSBERG C (1948) Apuntes sobre la flora y la vegetación de Fray Jorge (Coquimbo, Chile). *Acta Horti Goburgensis* 8:91-184.
- SWIFT MJ, OW HEAL & JM ANDERSON (1979) *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. University of California Press, Berkeley, California.
- TRONCOSO A, C VILLAGRAN & M MUÑOZ (1980) Una nueva hipótesis acerca del origen y edad del bosque de Fray Jorge (Coquimbo, Chile). *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural (Chile)* 37: 117-152.
- VAN HUSEN, C (1967) Klimagliederung in Chile auf der Basis von Häufigkeitsverteilungen der Niederschlagssummen. *Freiburger Geographische Hefte* 4:1-113.

- VILLAGRAN C & J ARMESTO (1980) Relaciones florísticas entre las comunidades relictuales del Norte Chico y la zona Central con el bosque del sur de Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural (Chile)*, 37:87-101.
- VILLAGRAN C (1990) Glacial climates and their effects on the history of the vegetation of Chile: A synthesis based on palynological evidence from Isla de Chiloé. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 65:17-24.
- VILLAGRAN C & J VARELA (1990) Palynological evidence for increased aridity on the central Chile coast during the Holocene. *Quaternary Research* 34:198-207.
- VILLAGRAN C (1991) Historia de los bosques templados del sur de Chile durante el tardiglacial y postglacial. *Revista Chilena de Historia Natural* 64: 447-460.
- ZÓTTL H (1958) Die Bestimmung der Stickstoffmineralisation in Waldhumus durch Brutversuch. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 81:35-50.