

UCH-FC
DOC-B
P4386

LOS BOSQUES DE "OLIVILLO" (AEXTOXICON PUNCTATUM R. et Pav.)
DE LA CORDILLERA DE LA COSTA DE CHILE:
INTERACCION CLIMA-SUELO-VEGETACION.

Tesis

Entregada a la

Universidad de Chile

en cumplimiento parcial de los requisitos

para optar al grado de

Doctor en Ciencias con Mención en Biología

Facultad de Ciencias



CECILIA ANTONIETA PEREZ BARRIENTOS

Mayo, 1992

Profesor Patrocinante: Doctor Carolina Villagrán M.

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

I N F O R M E D E A P R O B A C I O N
T E S I S D E D O C T O R A D O

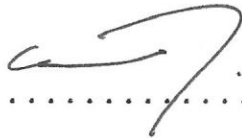
Se informa a la escuela de Post-Grado de la Facultad de Ciencias que la Tesis de Doctorado presentada por la candidata

Cecilia Antonieta Pérez Barrientos

ha sido aprobada por la Comisión Informante de Tesis como requisito de Tesis para el grado de Doctor en Ciencias con Mención en Biología.


Director de Tesis

Dra. Carolina Villagrán


.....

Comisión Informante:

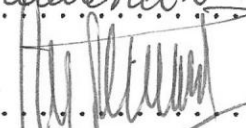
Dr. Juan Armesto


.....

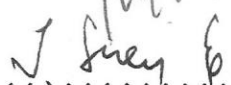
Dra. Miren Alberdi


.....

Dr. Mario Peralta


.....

Dr. Italo Serey


.....

1

A MIS PADRES

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a la tutora de esta tesis Dra. Carolina Villagrán, quien me motivó en el estudio del bosque de "olivillo" y me concedió un espacio en su laboratorio para llevar a cabo esta tesis. También agradezco la ayuda que me brindó en la selección de los sitios de estudio, a través de las múltiples excursiones que realizamos en conjunto. Sus valiosas críticas y sugerencias ayudaron a mejorar las primeras versiones de esta tesis.

Agradezco también a la Dra. Bárbara Ruthsatz, quien me acogió en el Departamento de Geobotánica de la Universidad de Trier en Alemania, en donde llevé a cabo todos los análisis de laboratorio, gracias a una beca por tres años que me otorgó el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD). A través de sus valiosas sugerencias metodológicas y discusiones preliminares de los resultados, pude obtener respuesta a las hipótesis planteadas.

También mis agradecimientos a los miembros de la comisión de tesis: Dr. Juan Armesto, Dr. Italo Serey, Dr. Mario Peralta y Dra. Miren Alberdi por sus valiosas sugerencias y comentarios en la versión final de esta tesis.

Agradezco también:

A la Dra M. Neitzke y la Dra. H. Wey de la Universidad de Trier por sus consejos y apoyo permanentes al llevar a cabo los análisis de laboratorio.

Al doctor G. Parker, quién me orientó en la presentación y enfoque de los resultados. Al Dr. W. Werner, Héctor Jimenez y Reinaldo Avilés por su asesoría en la evaluación estadística de los datos. Al Dr. Wagner por el análisis químico de las rocas, y al Dr. Stephan por el análisis micromorfológico del suelo.

En el terreno colaboraron un gran número de personas, en especial agradezco a Alejandro Segura, ya que gracias a su abnegada labor, pudimos realizar las calicatas y obtener las muestras de suelo y vegetación. También en este aspecto agradezco en particular a Juan Capella y JC. Aravena.

Los guardaparques y guías de la CONAF nos brindaron el libre acceso y apoyo logístico en los Parques Nacionales de Fray Jorge y de Chiloé.

La Familia Aguila nos brindó siempre su caluroso hogar y los hermanos Aguila nos guiaron, ayudaron y enseñaron a sobrevivir en las difíciles condiciones de terreno.

INDICE DE MATERIAS

	Página
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xvi
INDICE DE ANEXOS.....	xix
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
INTRODUCCION.....	5
Planteamiento general del problema.....	5
ANTECEDENTES, HIPOTESIS Y OBJETIVOS GENERALES.....	10
Antecedentes bibliográficos.....	10
Hipótesis general.....	16
Objetivos generales.....	18
HIPOTESIS Y OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	19
Hipótesis específicas.....	19
Objetivos específicos.....	26
AREA DE ESTUDIO.....	28
Localidades de estudio, clima y vegetación.....	28
Geología.....	33
Suelos.....	37

METODOLOGIA.....	40
Muestreo de la vegetación y del suelo.....	40
Análisis químico de los suelos.....	42
Análisis químico de la hojarasca y follaje.....	45
Análisis de distribución espacial.....	45
Tratamiento estadístico de los datos.....	46
RESULTADOS.....	49
1. Interacción vegetación-clima: Efecto de los factores climáticos en la flora y vegetación asociados al "olivillo".....	49
1.1 Análisis fitosociológico.....	49
1.2 Ordenamiento florístico mediante análisis de componentes principales.....	52
1.3 Ordenamiento de las localidades estudiadas según la composición florística y cobertura de la vegetación.....	59
1.4 Relación entre la flora y vegetación de los bosques de "olivillo" con los factores climáticos.....	63
2. Interacción suelo-clima: Efecto de los factores climáticos en los suelos del bosque de "olivillo".....	67
2.1 Análisis de factores.....	67

2.2 Relación entre los parámetros químicos del suelo superficial con el gradiente de temperaturas y precipitaciones.....	73
2.3 Comparación latitudinal del contenido de nutrientes del follaje del "olivillo".....	78
2.4 Variación de los parámetros químicos en los distintos horizontes del suelo del bosque de "olivillo".....	78
2.5 Ordenamiento de los bosques estudiados según las propiedades químicas del suelo superficial y su relación con las variables climáticas	85
3. Interacción vegetación-suelo: Efectos de la calidad del follaje, hojarasca y distribución espacial de los árboles en las características químicas del suelo superficial del bosque de "olivillo".....	89
3.1 Comparación del grado de esclerofilia de las especies arbóreas (contenido de fósforo e índices C/N y Ca/K de sus hojas).....	89
3.2 Relación entre la esclerofilia y el grado de mineralización potencial del nitrógeno del suelo superficial.....	91
3.3 Relación entre la calidad de la hojarasca y el grado de mineralización potencial del nitrógeno del suelo superficial.....	96

3.4 Relación entre el contenido de nutrientes del follaje y los contenidos totales y disponibles de la hojarasca y del suelo superficial.	101
3.5 Distribución espacial de las especies y heterogeneidad química del suelo.....	104
3.6 Relación entre la composición florística y los parámetros químicos del suelo.....	106
DISCUSION Y CONCLUSIONES.....	108
1. Interacción clima-suelo-vegetación: Macroescala espacial.....	108
1.1 Interacción clima-vegetación.....	108
1.2 Interacción clima-suelo.....	109
1.3 Interacción suelo-vegetación.....	113
2. Interacción vegetación-suelo a nivel intracomunitario: Microescala espacial.....	115
3. Implicancias biogeográficas y comunitarias.....	120
BIBLIOGRAFIA.....	124

INDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1: Modelo básico de interacción clima-suelo-vegetación.....	11
FIGURA 2 : Localidades de estudio y zonas climáticas principales.....	29
FIGURA 3 : Distribución de las neblinas regionales del litoral del Norte Chico mostrando su influencia sobre la vegetación de las localidades de estudio (Modificado de SCHMITHÖSEN, 1956). El achurado del área de neblinas indica donde son interceptadas por vegetación.....	30
FIGURA 4 : Sustrato geológico del área de estudio. Punteado: basamento metamórfico Paleozoico; líneas oblicuas: roca intrusiva Paleozoica; granulado: roca intrusiva Mesozica y del Terciario inferior. (MUÑOZ CRISTI, 1972)....	36
FIGURA 5 : Ordenamiento de especies arbóreas según análisis Decorana de sus coberturas. En la Tabla Fitosociológica (Anexo 1) se entregan los códigos de las especies.....	53

FIGURA 6 : Ordenamiento de hierbas (A) y lianas y epífitas (B) según análisis Decorana de coberturas de todos los estratos. En la Tabla Fitosociológica (Anexo 1) se entregan los códigos de las especies..... 55

FIGURA 7 : Ordenamiento de árboles (A) y arbustos (B) según análisis Decorana de coberturas de todos los estratos. En la Tabla Fitosociológica (Anexo 1) se entregan los códigos de las especies..... 57

FIGURA 8 : Ordenamiento de las localidades de estudio según análisis Decorana considerando la cobertura de especies de todos los estratos. En la Tabla Fitosociológica (Anexo 1) se entregan los códigos de las localidades.... 60

FIGURA 9 : Ordenamiento de las localidades de estudio según análisis Decorana considerando la cobertura de árboles. En la Tabla Fitosociológica (Anexo 1) se entregan los códigos de las localidades..... 62

FIGURA 10: Análisis de factores al ingresar variables climáticas y variables químicas del suelo y del follaje del "olivillo". Las variables utilizadas y sus códigos se entregan en la Tabla 4..... 69

FIGURA 11: Relación entre el porcentaje de saturación de bases del suelo superficial y la precipitación promedio anual de estaciones meteorológicas cercanas a los bosques de "olivillo" estudiados. FJ: Fray Jorge, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque, Ru: Quebrada Rucaraqui, IMo: Isla Mocha, FSM: Fundo San Martín, Hu: Hueicolla, Chi: Chiloé, Gup: Guapiquilán, Guf: Isla Guafo..... 74

FIGURA 12: Relación entre el porcentaje de carbono total del suelo superficial y la precipitación promedio anual de estaciones meteorológicas cercanas a los bosques de "olivillo" estudiados. FJ: Fray Jorge, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque, Ru: Quebrada Rucaraqui, IMo: Isla Mocha, FSM: Fundo San Martín, Hu: Hueicolla, Chi: Chiloé, Gup: Guapiquilán, Guf: Isla Guafo..... 75

FIGURA 13: Relación entre el pH del suelo superficial y la precipitación promedio anual de estaciones meteorológicas cercanas a los bosques de "olivillo" estudiados. FJ: Fray Jorge, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar,

QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque,
 Ru: Quebrada Rucaraqui, IMo: Isla Mocha, FSM:
 Fundo San Martín, Hu: Hueicolla, Chi: Chiloé,
 Gup: Guapiquilán, Guf: Isla Guafo..... 77

FIGURA 14: Valores promedio y desviación standard del
 contenido de nitrógeno total del follaje (A)
 y hojarasca (B) del bosque de "olivillo" a
 lo largo del gradiente latitudinal. FJ: Fray
 Jorge, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble,
 Ca: Cerro Cayumanque, Ru: Quebrada Rucaraqui,
 IMo: Isla Mocha, FSM: Fundo San Martín, Chi:
 Chiloé, Guf: Isla Guafo..... 79

FIGURA 15: Valores promedio y desviación standard del
 contenido de fósforo total del follaje (A)
 y hojarasca (B) del bosque de "olivillo" a lo
 largo del gradiente latitudinal. FJ: Fray
 Jorge, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble,
 Ca: Cerro Cayumanque, Ru: Quebrada Rucaraqui,
 IMo: Isla Mocha, FSM: Fundo San Martín, Chi:
 Chiloé, Guf: Isla Guafo..... 80

FIGURA 16: Valores promedio y desviación standard del
 contenido de fósforo disponible para las
 plantas (método CAL), del suelo superficial
 del bosque de "olivillo" a lo largo del
 gradiente latitudinal. FJ: Fray Jorge, CSI:

Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada
 El Roble, Ca: Cerro Cayumanque, Ru: Quebrada
 Rucaraqui, IMo: Isla Mocha, FSM: Fundo San
 Martín, Hu: Hueicolla, Chi: Chiloé, Gup:
 Guapiquilán, Guf: Isla Guafo..... 81

FIGURA 17: Ordenamiento de las localidades de estudio
 según análisis Decorana de las variables
 químicas edáficas. En la Tabla Fitosocioló-
 gica (Anexo 1) se entregan los códigos de las
 localidades..... 86

FIGURA 18: Mineralización potencial del nitrógeno en
 ensayos de incubación del suelo superficial
 bajo agrupaciones monoespecíficas de las
 localidades de Fray Jorge y Zapallar. Ap:
Aextoxicon punctatum, Mc: Myrceugenia
correifolia, Rs: Rhaphithamnus spinosus,
 Dw: Drimys winteri, Ca: Cryptocarya alba,
 Mob: Myrceugenia obtusa..... 92

FIGURA 19: Mineralización potencial del nitrógeno en
 ensayos de incubación del suelo superficial
 bajo agrupaciones monoespecíficas de las
 localidades; Quebrada El Roble, Isla Mocha
 Fundo San Martín y Auquilda. Ap: Aextoxicon
punctatum, Ca: Cryptocarya alba, Rs:

Rhaphithamnus spinosus, Mp: Myrceugenia planipes, Lp: Laurelia philippiana, Ec: Eucryphia cordifolia, Ga: Gevuina avellana... 93

FIGURA 20: Mineralización potencial del nitrógeno en ensayos de incubación del suelo superficial bajo agrupaciones monoespecíficas de las localidades; Abtao, Isla Alao e Isla Guafo.

Lp: Laurelia philippiana, Ap: Aextoxicon punctatum, Mov: Myrceugenia ovata, Mp: Myrceugenia planipes, Rs: Rhaphithamnus spinosus..... 94

FIGURA 21: Porcentaje de fósforo de la hojarasca bajo agrupaciones monoespecíficas en las localidades de Fray Jorge y Zapalllar. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) según el test de Tukey. Rs:

Rhaphithamnus spinosus, Dw: Drimys winteri, Ap: Aextoxicon punctatum, Mc: Myrceugenia correifolia, Mob: Myrceugenia obtusa, Ca: Cryptocarya alba..... 97

FIGURA 22: Relación C/N y porcentaje de fósforo de la hojarasca bajo agrupaciones monoespecíficas en las localidades; Quebrada El Roble, Cayumanque, Isla Mocha y Auquilda. Letras

distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) según el test de Tukey. Ca:

Cryptocarya alba, Ap: Aextoxicon punctatum,
 La: Luma apiculata, Dw: Drimys winteri, Rs:
Rhaphithamnus spinosus, Mp: Myrceugenia planipes, Ga: Gevuina avellana, Ec:
Eucryphia cordifolia..... 98

FIGURA 23: Relación C/N y porcentaje de fósforo de la hojarasca bajo agrupaciones monoespecíficas en las localidades; Abatao, Isla Alao e Isla Guafo. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) según el test de Tukey. Ap: Aextoxicon punctatum, Lp: Laurelia philippiana, Mov: Myrceugenia ovata, Mp: Myrceugenia planipes, Rs: Rhaphithamnus spinosus..... 99

FIGURA 24: Modelo de interacción clima-suelo-vegetación postulado para los bosques de "olivillo". Las variables señaladas junto a las flechas son las que están afectando un proceso particular en el suelo, o a los parámetros que caracterizan la vegetación (al interior de los cuadros). El tamaño de las letras está indicando la importancia relativa de las variables en el control de los procesos... 118

INDICE DE TABLAS

	Página
TABLA 1 : Ubicación y características geográficas de las localidades de estudio.....	31
TABLA 2 : Registros climáticos de precipitaciones (mm) y temperaturas (°C) para las estaciones meteorológicas más cercanas a las localidades de estudio. Datos extraídos de DI CASTRI & HAJEK (1976).....	34
TABLA 3 : Indices de correlación (r^2) entre los valores de los eje 1 y 2 del análisis Decorana al ingresar la cobertura de la vegetación, con las variables climáticas de estaciones meteorológicas más cercanas a los sitios de estudio (17 grados de libertad). A: Valores de los ejes del análisis Decorana al ingresar la cobertura de todos los estratos. B: Valores de los ejes del análisis Decorana al ingresar la cobertura de árboles. *= $P < 0,05$; **= $P < 0,01$; ***= $P < 0,001$	64

TABLA 4 : Variables utilizadas en el análisis de Factores	68
TABLA 5 : Características químicas de los perfiles de suelo de las localidades de estudio. CIC= Capacidad de intercambio catiónico según Mehlich. %SB= % de saturación de bases.....	82
TABLA 6 : Indices de correlación (r^2) entre los valores de los ejes 1 y 2 del 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). *= $P < 0,05$; **= $P < 0,01$; ***= $P < 0,001$	88
TABLA 7 : Valores promedio de los índices de esclerofilia de las hojas de las especies más frecuentes del bosque de "olivillo". (Pares de especies con letras iguales, indican diferencias significativas entre los valores de los índices con un nivel de significancia del 5%, según el test de Tukey. Para el %P no se obtuvo diferencias significativas. Entre paréntesis se indican las desviaciones standard).....	90
TABLA 8 : Indices de correlación entre las variables químicas de los horizontes superficiales (Ah y Ol) y del follaje del "olivillo".....	102

TABLA 9 : Indices de distribución espacial de las especies más frecuentes del bosque de "olivillo". P= Probabilidad de que la distribución observada difiera de la esperada si los individuos se distribuyen al azar. Índice alfa= $A=l*w$; en donde, l= densidad de un círculo de radio l, w= media de las distancias elevadas al cuadrado. Si $A < 1$, la distribución es regular; si $A > 1$, la distribución es agrupada. % de diferenciación= proporción de las variables químicas en que se diferencian las especies..... 105

TABLA 10 : Indices de correlación entre los valores de los ejes 1 y 2 del análisis Decorana, al ingresar la cobertura de la vegetación (A) y de las especies arbóreas (B) con las variables químicas del suelo superficial de los bosques de "olivillo" (17 grados de libertad).
 *= $P < 0,05$; **= $P < 0,01$; ***= $P < 0,001$ 107

INDICE DE ANEXOS

	Página
ANEXO 1 : Tabla Fitosociológica de las localidades estudiadas.....	134
ANEXO 2 : Descripción de los perfiles de suelo de los bosques de "olivillo" estudiados.....	138
ANEXO 3 : Parámetros químicos de las hojas de las especies más frecuentes de los bosques de "olivillo" estudiados. Bajo cada valor se indica la desviación standard.....	149
ANEXO 4 : Indices de esclerofilia de las hojas (%P, C/N, Ca/K) y grado de mineralización potencial del nitrógeno (Nmin, mg N/Kg suelo/semana) del suelo superficial bajo agrupaciones monoespecíficas.....	151
ANEXO 5 : Indices de esclerofilia de la hojarasca (%P, C/N, Ca/K) y grado de mineralización potencial del nitrógeno (Nmin, mg N/Kg suelo/semana) del suelo superficial bajo agrupaciones monoespecíficas.....	153

- ANEXO 6 : pH (CaCl_2), contenidos de Ca, Mg, K y Na (según Mehlich), contenidos de P y K disponibles (Método CAL) y mineralización potencial del nitrógeno (N_{min} , mg N/Kg suelo/semana) del suelo superficial bajo agrupaciones monoespecíficas de las especies más frecuentes del bosque de "olivillo". Los valores con letras distintas indican donde existen diferencias significativas ($P < 0,05$), según test de Tukey..... 155
- ANEXO 7 : Valores de las variables químicas del suelo superficial con las cuales se realizó la correlación con el eje 1 para la ordenación de localidades a través del Decorana..... 157

RESUMEN

Aetoxicon punctatum R. et Pav. ("olivillo"), único representante de la Familia Aetoxicaceae, monotípica y endémica de Chile, se distribuye preferentemente a lo largo de la Cordillera de la Costa entre 30° y 43°S. En esta tesis se evaluaron los efectos que ejerce el clima sobre la vegetación y las características químicas del suelo de los bosques de "olivillo" en 17 sitios en todo su rango distribucional. En forma conjunta se analizó la interacción entre las características químicas edáficas, el contenido de nutrientes del follaje y la composición florística del bosque de "olivillo".

Con el fin de separar los efectos individuales del clima y de la vegetación sobre el suelo superficial, se consideraron dos niveles jerárquicos: una escala latitudinal y una escala intracomunitaria. El análisis de los datos se realizó mediante dos métodos: el análisis de componentes principales (escala latitudinal) y el análisis de varianza (escala intracomunitaria). A una escala latitudinal, las variables climáticas que se asocian a la composición florística y cobertura de especies del bosque de "olivillo" son las precipitaciones promedio anuales, la temperatura máxima de

invierno y el porcentaje de precipitaciones invernales. Las características químicas del suelo superficial del bosque de "olivillo" están asociados a las precipitaciones y a la temperatura promedio anual y temperatura promedio de invierno. A su vez, la composición florística y cobertura de especies del bosque de "olivillo" se relaciona directamente con los siguientes parámetros químicos del suelo superficial: porcentaje de saturación de bases, contenido de calcio intercambiable, pH y la relación C/N.

Por otra parte, a una escala intracomunitaria, los resultados muestran que la mineralización potencial del nitrógeno del suelo superficial es dependiente de las características químicas del follaje y de la hojarasca que a su vez dependen del grado de esclerofilia, como por ejemplo; sus relaciones C/N y Ca/K y su contenido total de fósforo.

A partir de la alta similitud florística y edáfica obtenida en esta tesis, se confirma la hipótesis de una comunidad que se extendió en forma continua a lo largo de la costa de Chile central-sur durante el Pleistoceno, y que expandió en el valle central en la zona central-sur durante el Holoceno. La ausencia de Nothofagus en los bosques de "olivillo" de las islas y los antecedentes palinológicos sugieren que este elemento se refugió en el valle central durante el máximo glacial y que el aislamiento geográfico habría impedido expansión postglacial a estos sitios.

ABSTRACT

Aextoxicon punctatum R. et Pav. ("olivillo"), sole representative of the Aextoxicaceae Family, monotypic and endemic of Chile, is found mainly along the Chilean Coastal Range from 30° to 43° S. Considering this broad range, this thesis evaluates the effect that climate, and the chemical nature of the soil at each site, exert over vegetation. The interaction between the edaphic chemistry and foliage chemistry, plus the floristic composition of "olivillo" forest, were also evaluated along the 17 study sites, all throughout this species' latitudinal range along the Chilean Coastal Range. Two hierarchical levels: latitudinal macroscale and intra-community microscale, were considered in order to discern the individual effects of climate and vegetation on the soils. Data were evaluated by PCA, at the spatial macroscale, and by ANOVA, at the spatial microscale. Climatic variables which are associated to the floristic composition and species cover in "olivillo" forest are: mean annual precipitation, maximum winter temperature, and percentage of winter rainfall. The chemical nature of soils in "olivillo" forests is linked to mean annual rainfall, mean annual temperature, and mean winter temperature.

Floristic composition and species cover in "olivillo" forests are also linked to the following surface soil chemical parameters: percentage of base saturation, exchangeable Ca content, pH value, and C/N ratio.

At a microscale: results show that the potential nitrogen mineralization depends on the chemical nature of both living foliage and leaf-litter, which in turn is related to their degree of sclerophylly, such as C/N and Ca/K ratios, and their total P content.

On the basis of these findings, and previous palynological evidence, it is possible to describe the floristic and edaphic changes which may occur in "olivillo" forests in Chile.

The high floristic and edaphic similarities obtained by this thesis seem to confirm the hypothesis of a community which extended continuously along the coast of central and southern Chile during the Pleistocene, and which expanded along the central valley in the south-central zone during the Holocene. The absence of Nothofagus in the "olivillo" forests in the islands, and the palynological data suggest that this taxa might have found a refuge in the central valley during the last glacial maximum; and that geographic isolation might have prevented any postglacial recolonization.

INTRODUCCION

Planteamiento general del problema

Aextoxicon punctatum R. et Pav., el "olivillo" o "tique", único miembro de la familia endémica chilena Aetoxicaceae, es una de las especies arbóreas dominantes de los bosques laurifolios siempreverdes de la Cordillera de la Costa de Chile sur-central, entre 30° y 44° S, y desde el nivel del mar hasta los 700 m de altura. Su distribución abarca climas desde subtropicales hasta subantárticos.

Estudios florísticos y vegetacionales (OBERDORFER, 1969; VILLAGRAN & ARMESTO, 1980; TRONCOSO et al., 1980; PEREZ Y VILLAGRAN, 1985) han mostrado que la flora asociada a los bosques de "olivillo" varía considerablemente a lo largo de su distribución en Chile, aún cuando esta especie es la dominante. En el gradiente latitudinal especies arbóreas características de distintos tipos de bosques se asocian al "olivillo", tales como las de los bosques Esclerófilo y Caducifolio Maulino de Nothofagus, en Chile central, y las de la pluviselva Valdiviana y Nordpatagónica, en el sur de Chile (OBERDORFER, 1960). La composición florística del bosque de "olivillo" en el norte Chico, Zona Central y

Región de los Lagos ha sido descrita por varios autores (MUÑOZ & PISANO, 1947; OBERDORFER, 1960; VILLAGRAN, 1980; PEREZ & VILLAGRAN, 1985). Sin embargo existen escasos antecedentes para otras regiones como la Araucanía (OBERDORFER, 1960; SCHULMEYER, 1978), Archipiélagos de Chiloé (VILLAGRAN 1985, 1990) y Guapiquilán (LEIVA et al., sin publicar) e isla Guafo (SKOTTSBERG, 1910), que poseen extensos bosques de "olivillo" que nunca han estado sometidos a intervención antrópica.

En la Cordillera de la Costa el bosque de "olivillo" está distribuido sobre un sustrato geológico relativamente homogéneo, constituido por esquistos micásicos Paleozoicos. Atributos de estos suelos de la Cordillera de la Costa, en las laderas con pendientes moderadas y fuertes, son su buen drenaje y caracter ácido (PERALTA, 1975; DONOSO, 1981). Al sur de 37°S, en el Valle Central y la Cordillera de los Andes, comienza a ejercer su influencia la ceniza volcánica en los procesos pedogenéticos, que se han depositado principalmente en forma eólica y en parte también por transporte fluvioglacial (BESOAIN, 1969).

El bosque de "olivillo" es una comunidad de extraordinario interés para la investigación biogeográfica-ecológica, por el posible caracter "relictivo" de sus extremos distribucionales norte y sur. En efecto, tanto en el límite

norte de su distribución, en el Parque Nacional Fray Jorge, en la zona semiárida de Chile (30°S), como en su límite sur, en el Archipiélago Guapiquilán e isla Guafo (43°-44°S), el "olivillo" conforma bosques discontinuos. Estos manchones de bosque son muy homogéneos florísticamente y se caracterizan por la co-dominancia del "olivillo" con Mirtáceas en el estrato arbóreo. Una serie de epífitas, comunes al sotobosque de las localidades de los extremos norte y sur del "olivillo", están ausentes en la región intermedia de Chile central (e.g. Peperomia fernandeziana, Mitraria coccinea, Sarmienta repens, Asplenium dareoides y Nertera granadensis). Estas disyunciones distribucionales sugieren un estado florísticamente más conservativo para las áreas actualmente aisladas del "olivillo" (MAC ARTHUR & WILSON, 1967) y un probable origen vicariante (sensu NELSON & PLATNIK, 1980) de ambas comunidades.

En la literatura, los extremos discontinuos de la distribución del "olivillo" en Chile han sido considerados como "relictos" o remanentes de épocas geológicas con climas más húmedos. Su actual fragmentación sería una consecuencia de los cambios climáticos y de las variaciones del nivel del mar ocurridos durante el último ciclo Glacial-Interglacial. 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 la última glaciación. Las evidencias palinológicas (HEUSSER, 1983, 1990; D'ANTONI, 1983), geológicas (PASKOFF, 1970) y biogeográficas (TRONCOSO et al., 1980; VILLAGRAN & ARMESTO, 1980) son consistentes con esta hipótesis. La fragmentación del borde norte de la distribución del "olivillo" sería una consecuencia del cambio de clima desde húmedo a semiárido ocurrido durante la transición Pleistoceno-Holoceno ca. de 10.000 años A.P. (VILLAGRAN & VARELA, 1990; HEUSSER, 1990a). En el extremo sur, el ascenso del nivel del mar ocurrido durante la última glaciación habría determinado el actual aislamiento geográfico del bosque de "olivillo" en el Archipiélago de Guapiquilán e isla Guafo (VILLAGRAN et al., datos no publicados; CLARK & BLOOM, 1979; CLAPPERTON & ROBERTS, 1986).

La hipótesis de que la comunidad de "olivillo" se extendió en forma continua en la costa de Chile durante la última glaciación, permite también suponer que los relictos post-glaciales del Norte Chico y extremo sur de Chile presentan en la actualidad una flora y vegetación similar y por lo tanto, características edáficas y procesos de descomposición de materia orgánica muy similares entre sí. Esto se debería principalmente a dos factores: Primero, no ha transcurrido el suficiente tiempo para la diferenciación florística de ambos extremos distribucionales y, segundo, el aislamiento

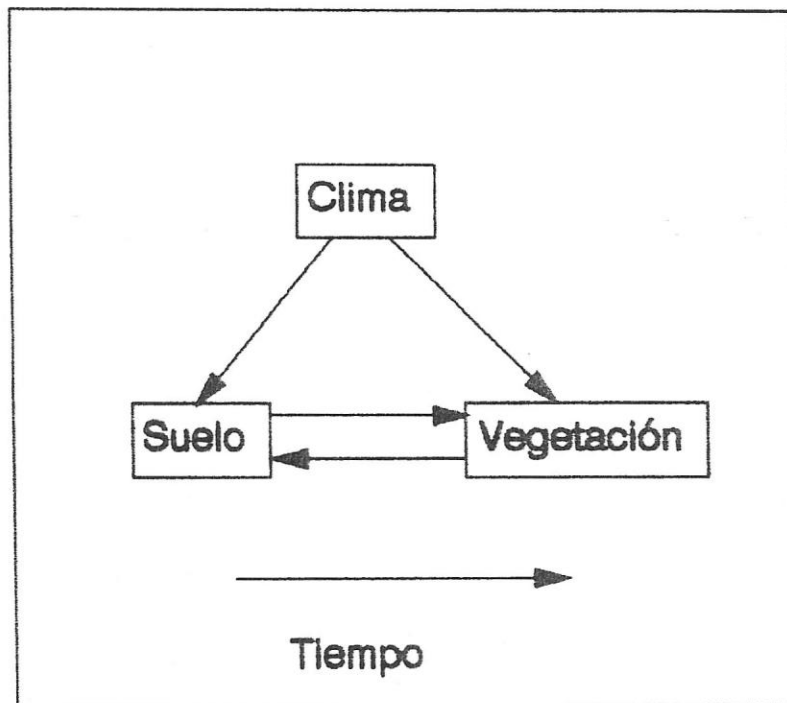
geográfico de los relictos ha impedido la invasión de nuevos elementos fitogeográficos a la comunidad original. Por el contrario, en la zona central y sur de Chile, el gradiente climático más pronunciado a partir del Holoceno, y la continuidad geográfica de estas zonas provocaría una desestructuración de la comunidad original, con el consecuente cambio en los parámetros químicos del suelo superficial y de los procesos de descomposición de la materia orgánica.

ANTECEDENTES, HIPOTESIS Y OBJETIVOS GENERALES

Antecedentes bibliográficos

Los principales factores que determinan la distribución y abundancia de las plantas son las condiciones climáticas del sitio y el sustrato sobre el cual crecen (e.g. tipo de suelo). El clima y la vegetación afectan el desarrollo del suelo, el cual a su vez es influido por el tipo de sustrato geológico y la topografía del lugar (Fig. 1). El suelo y la vegetación no afectan el clima de una región, pero si su microclima. Este constituye uno de los enunciados fundamentales de la Geobotánica. Uno de los mayores representantes de esta ciencia, WALTER (1970), clasifica la cubierta vegetal en zonas vegetacionales basándose principalmente en las relaciones hídricas y térmicas en la superficie de la tierra, lo cual está determinado en gran parte por el clima. LARCHER (1973) describe los mecanismos fisiológicos de respuesta de las plantas a los cambios físicos del medio, que habían sido enunciados por Walter como los factores fundamentales en el desarrollo de las plantas. Estos son: a) relaciones térmicas, b) relaciones hídricas, c) intensidad de la luz y

Figura 1: Modelo básico de interacción clima-suelo-vegetación.



longitud del día, d) diferentes factores químicos y e) diferentes factores mecánicos.

Los efectos de la temperatura y precipitación en los procesos de mineralización y descomposición de la materia orgánica han sido ampliamente documentados. POST et al. (1985) estudiaron los patrones globales de almacenamiento de nitrógeno y de carbono en diferentes zonas climáticas estableciendo que: (1) En las zonas tropicales húmedas, las altas proporciones de nitrógeno total del suelo superficial se asocian a un humus de rápida descomposición, resultando así una relación carbono/nitrógeno (C/N) baja, (2) en las zonas templadas, con fluctaciones estacionales de temperaturas y concentraciones moderadas de nitrógeno y carbono totales en la hojarasca, los aportes de hojarasca de variables calidades, debido a la mezcla de especies deciduas y coníferas, resultan en relaciones C/N también moderadamente bajas en los suelos, y (3) en las zonas frías (e.g. tundras) la acumulación de materia orgánica, asociada a una tasa de descomposición lenta, se expresa en valores elevados de la relación C/N en los suelos.

A lo largo de Chile (26°-53°S), ZAMBRANO & URRUTIA (1965) y DONOSO (1981) han mostrado una disminución del contenido de nutrientes y del pH del suelo con el aumento de las precipitaciones. Estos estudios han considerado distintos tipos de suelo (e.g. aridisoles, cambisoles, spodosoles)

desarrollados sobre diferentes sustratos geológicos.

Los tipos de vegetación estudiados por estos autores han sido también diversos (e.g. matorral, bosques siempreverdes y caducifolios). Por esta razón los resultados de estas comparaciones en Chile no permiten discriminar los efectos particulares del tipo de suelo, del sustrato geológico y de la vegetación sobre las características químicas de los suelos superficiales. Para otras regiones del mundo se ha demostrado que el gradiente climático, de aumento de las precipitaciones y temperatura desde los polos hacia el ecuador, afecta significativamente el contenido de nutrientes y los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica de los suelos (JENNY et al, 1949; JORDAN, 1975; SWIFTT et al, 1979; POST et al., 1985).

Como la fuente principal de muchos nutrientes del suelo superficial es el proceso de descomposición de la hojarasca (SCHEFFER & SCHACHSCHABEL, 1984), las características morfofisiológicas y las características químicas del follaje que origina esta hojarasca, desempeñarían un rol fundamental en el aporte de nutrientes a los suelos, en especial de nitrógeno (BERENDSE et al., 1989). En Chile, son conocidas las características morfofisiológicas foliares de un gran número de especies arbóreas y arbustivas de los bosques siempreverdes templados. Distintos autores (WEINBERGER et al., 1973, 1974, 1978; STEUBING et al., 1983; KUBITZKI,

1964) han estudiado la relación entre la distribución geográfica de las especies del bosque templado de Chile, los factores climáticos, y las características morfofisiológicas foliares. Estos resultados han permitido clasificar las especies de acuerdo a índices de adaptación al frío, termofilia, continentalidad y ombrofilia. WEINBERGER et al. (1973) encontraron un mayor grado de esclerofilia en los grupos de especies termófilas y en las resistentes al frío (e.g. Ugni molinae y Myrceugenia chrysocarpa), mientras que las especies de sombra presentaban en general hojas mesofíticas (e.g. Myrceugenia planipes y Luma apiculata). Estos autores definieron la esclerofilia como una medida de la "resistencia estructural" de la hoja. La esclerofilia aumentaría en especies con: menores áreas foliares, menores relaciones área foliar/volumen, mayores relaciones peso seco/área foliar y mayor resistencia a la difusión de agua de la superficie de la hoja.

Se ha demostrado que la velocidad de los procesos de descomposición depende no sólo de los factores abióticos como la humedad y la temperatura, sino que también de la calidad química de la hojarasca. Así por ejemplo, el contenido de lignina es el factor más importante que determina las tasas de descomposición en los diferentes tipos de hojarasca (FOGEL & CROMACK, 1977; MEENTEMEYER, 1978). Los

compuestos fenólicos retardan también la descomposición (BENOIT & STARKEY, 1968; HARRISON, 1971). MELILLO et al. (1982) mostraron que la tasa de descomposición es inversamente proporcional a la relación lignina/nitrógeno inicial de la hojarasca. En los bosques de Europa se ha mostrado que la hojarasca rica en nitrógeno es más fácil de mineralizar por los microorganismos que la hojarasca pobre en este elemento (WITTICH, 1961; SEZCHNITZ, 1968; FIEDLER et al., 1973; PASTOR et al., 1984; PYMALE et al., 1987). ALBERDI et al. (1974, 1977) mostraron para 53 especies leñosas siempreverdes del Bosque Valdiviano que menores concentraciones de fósforo foliar se correlacionaban significativamente con un mayor índice de esclerofilia (% de fibra/% proteína) y menores porcentajes de proteína cruda.

Considerando la heterogenidad florística del bosque de "olivillo" en su amplio rango de distribución, esta comunidad constituye un modelo natural para el estudio conjunto de los efectos de los factores climáticos (a una escala latitudinal), como de los efectos de la vegetación (a una escala intracomunitaria) en las propiedades químicas y en los procesos de descomposición de los suelos de una comunidad que se desarrolla sobre un mismo sustrato geológico. Asimismo, el carácter "relictivo" de los extremos distribucionales del bosque de "olivillo", nos permite evaluar los patrones de cambio florístico y edáfico que ha

experimentado esta comunidad a través de su historia geológica y sucesional.

Hipótesis general

De acuerdo a DI CASTRI & HAJEK (1976), la diferencia en las temperaturas anuales promedio entre las latitudes 30° y 44°S, es de 5,5°C; y en las precipitaciones anuales promedio es de 1.275 mm. Sin embargo, para el relicto de Fray Jorge (a 30°S) se ha estimado un promedio anual de precipitación 1.700 mm al interior del bosque, debido a la intercepción de neblinas por el follaje de los árboles (KUMMEROW, 1961). Esta registro es similar a la precipitación anual de la Isla Guafo, con 1.409 mm, a los 43°S (Tabla 2).

Dado el origen histórico común de los relictos del Norte Chico y extremo sur de las comunidades de "olivillo", se espera obtener similitud florística y vegetacional alta y, por lo tanto, los parámetros químicos del suelo superficial serían similares, a pesar de sus diferencias en el sustrato geológico. Una composición de especies parecida determinaría que una misma calidad de hojarasca ingrese al suelo en ambas comunidades relictas. La similitud en el microclima determinaría a su vez procesos de descomposición de la materia orgánica y mineralización de nutrientes relativamente similares. Es decir, los relictos boreales y

septentrionales presentarían un carácter más conservativo de la comunidad original en cuanto a la vegetación, y a los parámetros químicos y procesos de descomposición del suelo superficial. Por el contrario, en el rango distribucional más continuo del bosque de "olivillo" bajo el efecto del gradiente climático centro-sur, la desestructuración florística debería manifestarse en una clara diferenciación de asociaciones vegetacionales, y por lo tanto en cambios en los parámetros químicos y procesos de descomposición del suelo superficial, a pesar del origen común de estas comunidades.

A un nivel intracomunitario, se espera que la heterogenidad florística del bosque de "olivillo" especialmente en la zona centro-sur, se manifieste en diferencias en calidad de la hojarasca de sus suelos, afectando así también las características químicas del suelo superficial.

Objetivos generales

1. Evaluar los efectos de las variables temperatura y precipitación sobre la flora, vegetación y parámetros químicos del suelo superficial (contenido de macronutrientes, pH, contenido de materia orgánica y tipo de humus), a lo largo del ámbito de distribución del bosque de "olivillo" en la Cordillera de la Costa de Chile (38°-44°S).
2. Establecer en cada comunidad la relación entre la calidad del follaje y de la hojarasca (principales fuentes de la materia orgánica del suelo) y los parámetros químicos del suelo superficial del bosque de "olivillo". En relación con este objetivo, se determinarán:
 - 2.1 La calidad química del follaje y de la hojarasca (e.g relaciones C/N y Ca/K y contenido de fósforo total) de las especies arbóreas dominantes.
 - 2.2 El grado de mineralización potencial del nitrógeno del suelo superficial.
 - 2.3 El efecto del patrón de distribución espacial de las especies sobre la heterogeneidad en los contenidos de nutrientes del suelo superficial en los bosques estudiados.

HIPOTESIS Y OBJETIVOS ESPECIFICOS

Hipótesis específicas

Considerando la amplia distribución latitudinal del bosque de "olivillo" en Chile, su desarrollo sobre un sustrato geológico común, y su historia, se presentan a continuación una serie de predicciones acerca de los efectos del clima sobre la vegetación, y del clima y la calidad de la hojarasca sobre los suelos superficiales del bosque.

Con el propósito de separar en lo posible los efectos de las variables climáticas y vegetacionales sobre los suelos, se proponen dos conjuntos de hipótesis, asociadas a escalas espaciales distintas. La primera familia de hipótesis se basa en la comparación de muestras de suelo con hojarasca formada exclusivamente por "olivillo" a lo largo de todo el gradiente climático. Manteniendo constante la calidad de la hojarasca, se espera conocer los efectos directos del clima sobre los parámetros químicos del suelo a una escala latitudinal. El segundo grupo de hipótesis se basa en la comparación de muestras provenientes de suelos con hojarasca de distintas especies arbóreas dentro de una misma localidad. Esta comparación permitirá evaluar la

importancia de la calidad de la hojarasca, fuente principal del componente orgánico del suelo, sobre los parámetros químicos del suelo superficial del bosque.

1. Hipótesis sobre los efectos del clima en los parámetros químicos del suelo superficial del bosque de "olivillo".

1.1 ¿Cómo se relacionan los parámetros químicos del suelo superficial del bosque de "olivillo" (contenido de macronutrientes, pH, contenido de materia orgánica, grado de diferenciación de los horizontes orgánicos) con la variación de temperaturas y precipitaciones?

a) Con mayores precipitaciones medias anuales se espera un aumento de la lixiviación de nutrientes básicos en el complejo de intercambio (Ca, Mg, K y Na). Por lo tanto se espera obtener un menor porcentaje de saturación de bases en el suelo superficial de los bosques de "olivillo" en aquellas localidades con mayor precipitación.

b) En las localidades con bajas temperaturas medias anuales se espera obtener una mayor acumulación de materia orgánica en el suelo y una mayor relación C/N en los suelos superficiales del bosque de "olivillo" en comparación con aquellas localidades con temperaturas medias anuales mayores.

c) Mayores precipitaciones y menores temperaturas determinarían un menor pH en el suelo superficial del bosque de "olivillo", debido a una mayor acumulación de materia orgánica que trae como consecuencia la liberación de ácidos orgánicos, y a la lixiviación de cationes básicos.

d) Los suelos con mayor acumulación de materia orgánica deberían presentar una mayor mineralización potencial del nitrógeno. En ensayos de incubación del suelo superficial, las localidades con menores temperaturas promedios anuales deberían presentar un mayor mineralización potencial del nitrógeno.

e) Como consecuencia de la lenta descomposición de la materia orgánica con menores temperaturas (PEREZ et al. en prensa; PEREZ, datos no publicados), aquellas localidades con menores temperaturas promedios anuales deberían presentar una mayor diferenciación de los horizontes orgánicos (Ol, Of, Oh), que las localidades sujetas a mayores temperaturas promedios anuales.

1.2 ¿Disminuye el contenido de nutrientes del follaje del "olivillo" como consecuencia de la menor disponibilidad de nutrientes en el suelo superficial hacia las localidades del sur?

Se espera que las localidades del sur de Chile, con menores temperaturas que las del norte y centro de Chile, presenten menores contenidos de nitrógeno foliar. Esto porque la disminución de las temperaturas produce un retardo en los procesos de descomposición (PEREZ et al., en prensa; PEREZ, datos no publicados), y una menor disponibilidad de nutrientes en el suelo superficial.

Con respecto al contenido de fósforo en los suelos, se espera que en las localidades situadas hacia el sur, la disponibilidad de fósforo sea menor debido a la capacidad de los alófanos de fijar fósforo (GALINDO et al., 1971). Se esperaría entonces que el follaje del "olivillo" presente mayores contenidos de fósforo en el norte y centro que en el sur de Chile. Alternativamente, si no se detectan diferencias en estos parámetros significaría que la absorción de estos nutrientes por las plantas es independiente del tipo de suelo. Esto podría suceder esto si las especies han desarrollado mecanismos fisiológicos de conservación de nutrientes u otro tipo de mecanismos que les permite absorber selectivamente, reteniendo aquellos

nutrientes precariamente disponibles en el suelo.

2. Hipótesis sobre los efectos de la calidad del follaje y hojarasca y distribución espacial de las especies arbóreas en los parámetros químicos del suelo superficial del bosque de "olivillo".

2.1 ¿Difieren significativamente las distintas especies arbóreas del bosque de "olivillo" en las características químicas de sus hojas y hojarasca?.

El mayor grado de esclerofilia de las hojas ha sido relacionada con deficiencias de fósforo foliar (LOVELESS 1961, 1962) y con altos valores de la relación Ca/K (HASS & KAUSCH 1966) y C/N (WITTICH, 1961). Se espera que aquellas especies que han sido clasificadas como esclerófilas (ALBERDI et al., 1974), tales como Aextoxicon punctatum, Myrceugenia planipes y Crptocarya alba, presenten mayores relaciones C/N y Ca/K en sus hojas y menores contenidos de fósforo foliar, en comparación con las restantes especies del bosque de "olivillo", tales como Rhaphithamnus spinosus, Laurelia philippiana y Drimys winteri.

2.2 Si estas diferencias entre especies existiesen, ¿se relacionan con una diferenciación en el grado de mineralización potencial del nitrógeno del suelo superficial bajo agrupaciones monoespecíficas?. Se espera por lo tanto:

a) Una correlación positiva entre la concentración del fósforo foliar de una especie y el grado de mineralización de nitrógeno orgánico del suelo formado por la hojarasca de dicha especie; b) una correlación negativa entre los valores de los índices Ca/K y C/N del follaje de una especie y el grado de mineralización potencial del nitrógeno del suelo derivado de su hojarasca.

2.3 ¿Qué relación existe entre los contenidos totales de nitrógeno y otros macronutrientes en el follaje del "olivillo" y los correspondientes valores totales y disponibles de nutrientes del suelo superficial?. Si existe una relación entre los parámetros químicos del suelo y del follaje, ¿cuáles son los mecanismos que la explicarían?

Suelos forestales pobres se relacionan generalmente con contenidos bajos de nitrógeno y fósforo foliar de las especies dominantes (BOERNER, 1984; VITOUSEK, 1984), en comparación con suelos forestales ricos en nutrientes. La relocalización de nutrientes en suelos forestales más pobres es también proporcionalmente mayor. Es decir, en suelos

forestales pobres, se suma al menor contenido de nutrientes del follaje, una exportación de nutrientes desde las hojas hacia tejidos parenquimáticos de reserva dentro del floema y xilema del tronco, previa a la caída del follaje (VITOUSEK, 1982). Por lo tanto, el retorno de nutrientes a través de la hojarasca en suelos pobres es también más bajo que en suelos ricos en nutrientes. PASTOR et al. (1984) han establecido en ensayos de incubación en terreno, que en bosques donde la hojarasca presenta altos contenidos totales de nitrógeno y fósforo existe un alto grado de mineralización de la materia orgánica en el suelo, asociado a una baja fijación de nitrógeno por parte de los microorganismos. Si en los bosques de "olivillo" existe una tendencia similar a la obtenida en estos estudios, ello debería expresarse en una correlación negativa entre el porcentaje de nitrógeno en la hoja y los valores de la relación C/N en el suelo superficial: el mayor aporte de nitrógeno desde el follaje determinaría un tipo de hojarasca de más fácil descomposición por parte de los microorganismos resultando en un mayor aporte de nitrógeno total y, probablemente, del resto de los macronutrientes al suelo.

2.4 ¿Cómo se relaciona la distribución espacial de los árboles con la heterogeneidad química del suelo superficial del bosque?.

Se espera obtener las siguientes relaciones entre los patrones de distribución espacial de las especies y el grado de diferenciación de los parámetros químicos del suelo en el interior del bosque:

- a) En aquellas localidades en que dos especies se encuentren segregadas espacialmente dentro del sitio, se espera encontrar diferenciación en los parámetros químicos del suelo superficial bajo ambas especies.
- b) En localidades en que no hay segregación sino una mezcla de especies se espera obtener menor diferenciación en los parámetros químicos del suelo superficial por la mayor entremezcla de la hojarasca.

Objetivos específicos

1. Analizar la composición florística de los bosques de "olivillo" a lo largo de su distribución latitudinal y describir las asociaciones características.
2. Establecer los patrones de abundancia y de distribución espacial de las especies arbóreas más frecuentes.

3. Describir los perfiles de suelo y analizar los siguientes parámetros químicos del suelo de los bosques de "olivillo" en cada una de las localidades de estudio: a) pH, b) capacidad de intercambio catiónico potencial (CIC), c) porcentaje de saturación de bases (% SB), d) grado de mineralización potencial de nitrógeno (N min) e) grado de descomposición de la materia orgánica (relación C/N), f) contenidos totales de carbono y nitrógeno y g) contenidos de fósforo y potasio disponibles para las plantas.
4. Determinar el grado de mineralización potencial del nitrógeno del suelo formado por hojarasca de las distintas especies arbóreas dominantes del bosque de "olivillo".
5. Analizar y comparar estadísticamente los índices de esclerofilia (C/N, Ca/K y %P) en las hojas y en la hojarasca de las distintas especies arbóreas dominantes de los bosques de "olivillo".
6. Evaluar la interacción clima-suelo-vegetación en los bosques de "olivillo" utilizando técnicas multivariadas para el ordenamiento y clasificación de las variables microclimáticas, químicas y vegetacionales.

AREA DE ESTUDIO

Localidades de estudio, clima y vegetación

La Figura 2 muestra la situación geográfica de los 17 sitios con bosque de "olivillo" estudiados, entre 30° y 44°S.

En la costa semiárida del Norte Chico entre 30° y 33° S, se estudiaron localidades situadas en el Parque Nacional Fray Jorge, en el Cerro Santa Inés y en Zapallar. Climáticamente, el área en que se encuentran estos tres sitios corresponde a la transición entre las zonas climáticas mediterránea y de sequía permanente (VAN HUSEN, 1967). La presencia del bosque 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. Estas neblinas ejercen su influencia en una franja altitudinal entre los 400 y 600 msm (Fig. 3). En Fray Jorge, el bosque de "olivillo" se encuentra fragmentado en manchones. Se seleccionaron cuatro manchones boscosos situados a distintas altitudes (Tabla 1), considerando un posible aporte diferencial de humedad determinado por la altura. La

Fig. 2: Localidades de estudio y zonas climáticas principales.

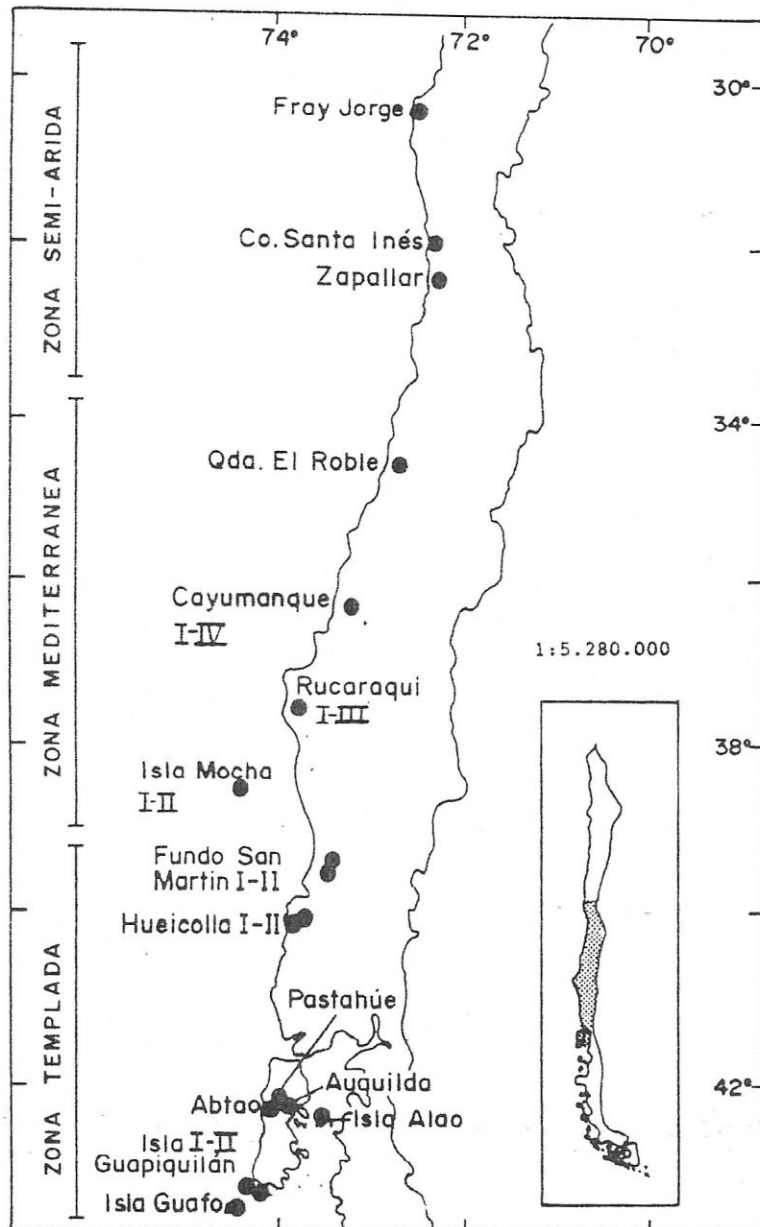


Figura 3: Distribución de las neblinas regionales del litoral del Norte Chico mostrando su influencia sobre la vegetación de las localidades de estudio. (Modificado de SCHMITHÜSEN, 1956). El achurado del área de neblinas indica donde son interceptadas por vegetación.

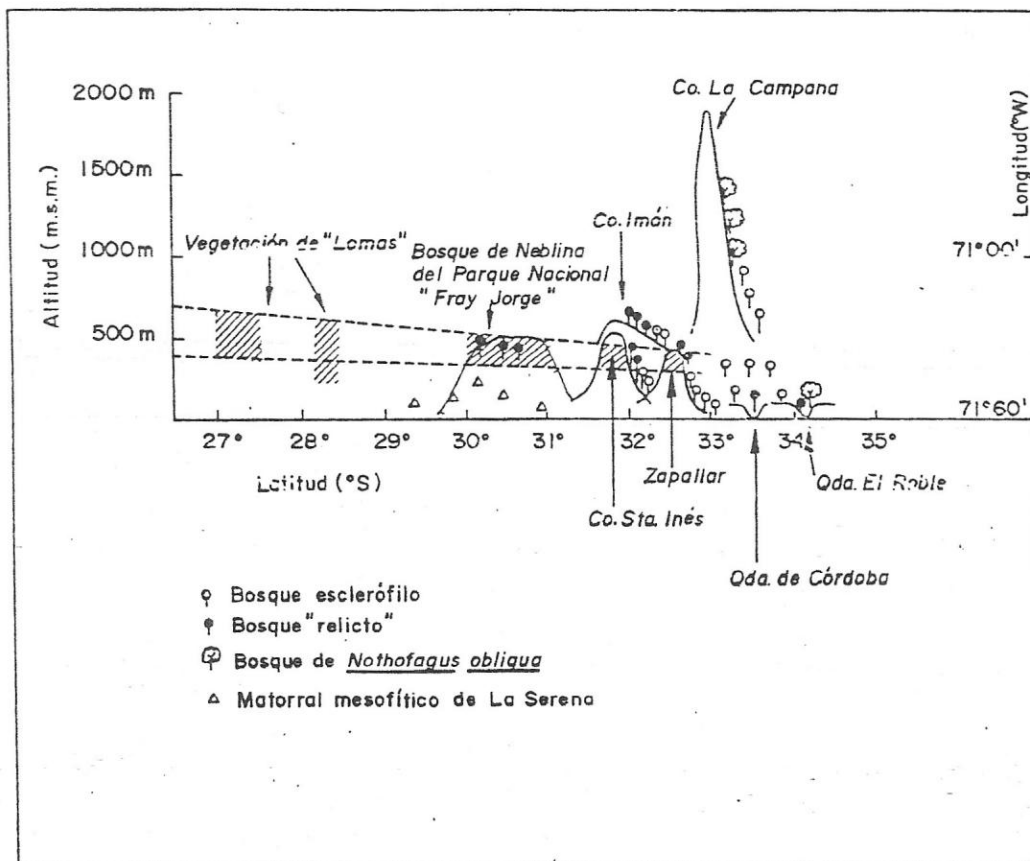


Tabla 1: Ubicación y características geográficas de las localidades de estudio.

Número	Localidad	Latitud (S)	Longitud (W)	Tamaño (m ²)	Altitud (msm)	Exposición	Pendiente (°)
1.1	Fray Jorge I	30°40'	71°40'	-	480	S	19
1.2	Fray Jorge IV A	30°40'	71°40'	1200	550	S-SW	12
1.3	Fray Jorge IV B	30°40'	71°40'	900	500	W	15
1.4	Fray Jorge V	30°40'	71°40'	900	540	SW	10
2	Cerro Santa Inés	32°10'	71°29'	3000	450	SE	25
3	Zapallar	32°33'	71°30'	1500	350	E-SE	22
4	Quebrada El Roble	34°19'	71°55'	750	250	S	45
5.1	Cerro Cayumanque I	36°42'	72°32'	3000	500	S	20
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	37°46'	73°33'	3000	130	SE	30
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	38°21'	73°58'	3000	200	-	0
7.2	Isla Mocha II	38°21'	73°58'	-	300	-	0
8.1	Fundo San Martín I	39°	73°07'	3000	15	-	0
8.2	Fundo San Martín II	39°	73°07'	-	15	-	0
9.1	Hueicolla I	40°09'	73°33'	3000	100	W	8
9.2	Hueicolla II	40°09'	73°33'	-	80	NW	20
10	Auquilda (Chiloé)	42°22'	74°49'	2400	160	W	22
11	Pastahué (Chiloé)	42°21'	74°49'	2250	90	NE	20
12	Abtao (Chiloé)	42°20'	74°08'	3000	100	W-SW	15
13	Isla Aíao (Chiloé)	42°35'	73°16'	3000	40	N-NE	20
14	Cole-Cole (Chiloé)	42°30'	74°11'	-	70	NE	16
15	Isla Guapiquillán I	43°25'	74°10'	-	25	SE	0
16	Isla Guapiquillán II	43°25'	74°10'	-	20	-	0
17	Isla Guafo	43°37'	74°45'	3000	90	S	10

vegetación de estas localidades ha sido descrita por MUÑOZ & PISANO (1948), TRONCOSO et al. (1980), PEREZ & VILLAGRAN (1985). Las especies dominantes en el dosel arbóreo son el "olivillo" y la petra (Myrceugenia correifolia); en el sotobosque, crecen preferencialmente Rhaphithamnus spinosus y Azara microphylla.

En la zona de clima mediterráneo entre 33° y 39° S (Fig. 2), el "olivillo" se asocia a las especies del bosque esclerófilo y del bosque decíduo de Nothofagus, principalmente restringido a quebradas y laderas de cerros costeros. Se estudiaron las localidades de quebrada El Roble, situada a 12 km al norte de Pichilemu, Cerro Cayumanque, Quebrada Rucaraqui e Isla Mocha, ubicadas a diferentes altitudes sobre el nivel del mar.

En la zona templada de Chile, al sur de los 39°S (Fig.2), bajo la influencia de un clima lluvioso todo el año, el "olivillo" se asocia a las especies del bosque Valdiviano. Considerando que la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa recibe más humedad que la oriental, debido al efecto de sombra de lluvias que ejerce esta cadena de montañas a los vientos prevalentes del oeste (DI CASTRI & HAJEK, 1976), se eligieron sitios de estudio en ambas situaciones, tanto a la latitud de Valdivia, en la Región de los Lagos, como a la latitud de Castro, en la Isla Grande de Chiloé (Tabla 1). En el Archipiélago de Chiloé se incluyeron

los bosques de "olivillo" de algunas islas situadas tanto al este (isla Alao) como al sur de la isla Grande (islas Guapiquilán). Las localidades Guapiquilán I y II representan grupos de islas no expuestas y expuestas a los vientos del oeste, respectivamente. La isla Guafo corresponde al extremo sur de distribución geográfica del bosque de "olivillo" en Chile.

En la Tabla 2 se presentan los datos de precipitaciones y temperaturas de las estaciones meteorológicas más cercanas a las localidades de estudio.

Geología

Salvo las situaciones insulares, todas las localidades estudiadas se sitúan a lo largo de la Cordillera de la Costa.

El basamento cristalino de la Cordillera de la Costa está formado por rocas metamórficas Paleozoicas e intrusivas de edad pre-Mesozoica (Mapa Geológico de Chile, 1972). El basamento metamórfico corresponde a pizarras semipiléticas, filitas, esquistos y derivados hornafélsicos (GONZALEZ & AGUIRRE, 1970). En la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa del centro-sur de Chile, entre los 33° y 38°S, el basamento metamórfico está en contacto con el basamento intrusivo Paleozoico consistente principalmente en granitos

Tabla 2: Registros climáticos de precipitaciones (mm) y temperaturas (°C) para las estaciones meteorológicas más cercanas a las localidades de estudio. Datos extraídos de DI CASTRI & HAJEK (1976).

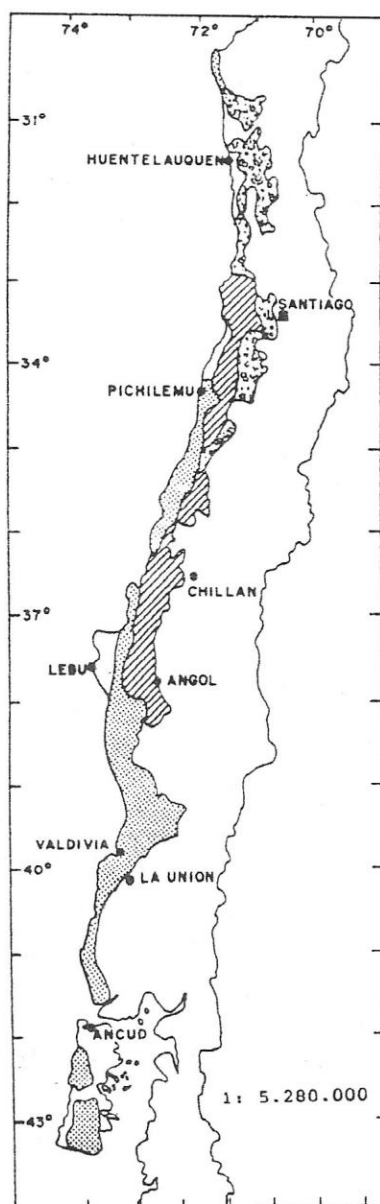
Localidad de estudio	Estación meteorológica más cercana	Precipitaciones			Temperaturas						
		\bar{x} anual	% lluvia invernal	% lluvia estival	\bar{x} anual	máx.x ver.	\bar{x} ver.	mín. \bar{x} ver.	máx. \bar{x} inv.	\bar{x} inv.	mín. \bar{x} inv.
Fray Jorge	La Serena 29°54'S 32 msm	127	21	26	14,4	21,3	17,0	13,4	16,1	12,0	7,9
Zapallar	Zapallar 32°33'S 30 msm	384	65	1	14,2	22,1	17,3	13,6	14,5	11,5	8,7
Qda. El Roble	San Antonio 33°34'S 5 msm	441	-	-	13,2	-	-	-	-	-	-
Co. Cayumanque	Concepción 36°50'S 15 msm	1308	50	6	12,4	24,0	16,4	9,7	14,0	8,7	4,8
Qda. Rucaraquí	Lebu 37°37'S 20 msm	1302	47	7	13,0	21,2	16,6	12,7	14,0	10,4	7,4
Isla Mocha	Isla Mocha 38°29'S 20 msm	1260	46	8	12,7	19,1	15,7	11,4	12,7	10,2	7,4
Fundo San Martín	Valdivia 39°48'S 9 msm	2348	76	17	11,9	22,4	16,2	10,4	11,5	8,0	4,9
Hueicolla	Punta Galera 40°01'S 40 msm	2077	42	10	11,3	16,2	13,5	10,4	11,3	9,3	6,8
Auquilda y Pastahué	Castro 42°28'S 80 msm	1598	43	12	11,6	16,8	15,8	7,6	11,1	7,4	2,2
Abtao	Punta Corona 41°47'S 56 msm	2411	38	13	10,7	16,2	13,2	10,1	10,4	8,4	5,8
Isla Aiso	Morro Lobos 42°04'S 70 msm	2446	-	-	9,5	-	-	-	-	-	-
Isla Guapiquillán	Quellón 43°10'S 4 msm	2048	-	-	10,6	-	-	-	-	-	-
Isla Guafo	Isla Guafo 43°37'S 140 msm	1409	34	17	9,7	14,2	12,0	9,8	9,3	7,6	5,8

y granodioritas (Fig. 4). 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 pizarras, micaesquistos y micacuartzitas. La excepción la constituyen las localidades de Zapallar y Cayumanque, situadas sobre el basamento intrusivo y Rucaraqui, sobre sedimentos marinos pleistocénicos y terciarios (ENDLICHER & MÄCKEL, 1985).

El Archipiélago Guapiquilán e isla Guafo, ubicados al sur de la Isla Grande de Chiloé, y la isla Mocha, a 40 km de Tirúa, tienen origen volcánico. El sustrato geológico es conocido localmente como "cancagua" y consiste en un sedimento de ceniza volcánica muy cementado. Según análisis químicos de las rocas realizadas en la Universidad de Trier (Dr. Wagner, comun. pers.) todas ellas corresponden a andesitas de carácter neutro a alcalino. Todas estas islas son montañosas y con un relieve escarpado. Lagunas situadas en las cimas sugieren antiguos conos de eyección ("Kratersee", ILLIES; 1969). No existen antecedentes bibliográficos sobre el origen del sustrato geológico en la isla de Alao.

La costa de Chile, especialmente la zona centro-norte, ha estado sometida a múltiples fluctuaciones del nivel del mar asociadas a levantamiento tectónico del basamento geológico y al fenómeno glacial. Una serie de terrazas marinas de

Figura 4: Sustrato geológico del área de estudio.
Punteado: basamento metamórfico Paleozoico;
líneas oblicuas: roca intrusiva Paleozoica;
granulado: roca intrusiva Mesozoica y del
Terciario Inferior. (MUÑOZ CRISTI, 1972).



diferentes alturas evidencian el grado de las variaciones glacio-eustáticas y tectonismo. Para el Norte Chico, en las Alturas de Talinay donde se ubica el Parque Nacional Fray Jorge, PASKOFF (1970) postula que durante el Plioceno superior las transgresiones marinas alcanzaron su apogeo, y recién durante el Cuaternario inferior el océano retrocede y se levanta el macizo costero que en la actualidad corresponden a los Altos de Talinay.

Para el sur de Chile, Weischet (en FUENZALIDA et al., 1965) documenta que durante el Plioceno las transgresiones marinas habrían alcanzado una altura de 170 m en la localidad de Hueicolla y 200 m en Valdivia. Durante el Pleistoceno, terrazas a elevaciones 150-240 m, 80-130 m, 30-40 m; evidencian variaciones glacio-eustáticas en las costas del sur de Chile (CLAPPERTON & ROBERTS, 1986).

Suelos

En la Región de los Lagos se han descrito diferentes tipos de suelos volcánicos, cuyo desarrollo está determinado por la distancia a la fuente de la ceniza volcánica y por su medio de transporte. WEINBERGER & BINSAK (1970) reconocen 5 tipos de suelos volcánicos: los "trumao" propiamente tales, suelos recientes y desarrollados en las cercanías de la fuente; los "trumaos en lomaje", desarrollados a partir del

polvo volcánico depositado sobre morrenas; los "trumaos planos", desarrollados sobre sedimentos fluvioglaciales de las dos últimas glaciaciones; los "trumaos de ñadi", que corresponden a suelos volcánicos de carácter hidromórfico; y los "rojos arcillosos" o "andosoles rojo-pardos" (según GREZ, 1977), que corresponden a suelos volcánicos desarrollados sobre antiguas morrenas del segundo interglacial bajo la influencia de un clima húmedo y cálido. Debido a su mayor antigüedad, en este último tipo de suelos el contenido de arcillas es mayor que la de los "trumaos" y se distribuyen en el sector oriental de la Cordillera de la Costa, en la Región de los Lagos. De los suelos estudiados, el del Fundo San Martín corresponde a este tipo de suelo. De acuerdo al test de NaF para suelos volcánicos (STEPHAN, 1984), suelos de este origen se encontraron en las siguientes localidades estudiadas: Cayumanque, Fundo San Martín, Pastahué, Auquilda, Abtao e islas Mocha, Alao, Guapiquilán y Guafo. No mostraron una respuesta positiva a la ceniza volcánica las localidades situadas en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa de la Región de los Lagos: (quebrada Rucaraqui y Hueicolla) y todas las localidades situadas al norte de los 37°S.

Estudios glaciales en la Región de los Lagos del sur de Chile evidencian al menos tres grandes glaciaciones cuaternarias (LAUER, 1968; PORTER, 1981; JOISTEN, 1982;

MERCER, 1976, 1984; HEUSSER 1990b), las cuales han ejercido una marcada influencia en los procesos formadores del suelo. Al parecer el avance más intenso de glaciares se extendió hasta los faldeos de la Cordillera de la Costa y correspondió a la glaciación más antigua. En la isla de Chiloé también es posible reconocer tres periodos glaciales y el más antiguo tampoco sobrepasó el límite de los faldeos de la Cordillera de la Costa (HEUSSER & FLINT, 1977; HEUSSER, 1990b). De estos antecedentes se desprende que los únicos suelos del área de estudio que probablemente se desarrollaron sobre depósitos glaciales son los del Fundo San Martín en la Región de los Lagos, y las localidades de Pastahué y Auquilda, en la isla Grande de Chiloé.

METODOLOGIA

Muestreo de la vegetación y del suelo

En todas las localidades se realizó un mapeo de la vegetación utilizando parcelas cuyos tamaños fluctuaron entre 3.000 y 750 m², dependiendo del área total del bosque y del grado de intervención humana de la vegetación circundante.

En cada parcela se anotaron las coordenadas de todos los árboles de más de 2 m de altura para obtener su posición exacta y realizar el análisis de la distribución espacial. Adicionalmente, se midió el diámetro a la altura del pecho (dap) de todos los árboles > 2 m de altura. Las frecuencias relativas de plántulas y juveniles (individuos < 2 m de altura) se obtuvieron en 1 subparcela de 100 m y alternativamente en transectos de 30 m de largo y 1 m de ancho, realizados dentro de cada parcela de 30x100 m. En cada sitio de estudio se realizó además un censo para establecer la composición florística y determinar las abundancias de especies, de acuerdo al método fitosociológico (BRAUN-BLANQUET, 1964).

Para la obtención de muestras de suelos, en cada localidad

se realizó una calicata y se describió el perfil del suelo en el terreno. La clasificación de los tipos de suelo se basó en el sistema alemán de Kubienas, modificado por Mückenhausen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1984). La clasificación de los tipos de humus se basó en un criterio morfológico, en base a la presencia o ausencia de los diferentes horizontes orgánicos (O), y de la profundidad de cada uno de ellos (ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENKUNDE, 1971). De cada horizonte se obtuvo una muestra en forma separada y tres muestras del suelo superficial (horizonte Ah). Bajo las agrupaciones monoespecíficas de las especies más frecuentes, se tomaron tres muestras del suelo superficial (entre 0-10 cm) y tres de hojarasca (horizonte Ol).

Se colectaron además hojas maduras del follaje de tres individuos adultos de las especies arbóreas dominantes que formaban agrupaciones monoespecíficas dentro de la parcela. Todas las muestras se secaron al aire libre. Las muestras de suelo fueron tamizadas a 2 mm, las hojas y hojarasca fueron pulverizadas en un molino.

Análisis químico de los suelos

Se determinaron los siguientes parámetros químicos de los suelos utilizando las metodologías estandarizadas por SCHLICHTING & BLUME (1966), SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1984) y KRETSCHMAR (1984).

-Reacción del suelo: Medición electrométrica del pH en solución acuosa y salina ($0,01$ m CaCl_2), en una relación agua/suelo de 2:1.

-Contenido total de carbono (Ct): Método de Lichterfelder. Oxidación de la materia orgánica con una solución de ácido sulfúrico concentrado y dicromato de potasio. Determinación fotométrica.

-Contenido total de nitrógeno (Nt): Método de Kjeldahl. Extracción del nitrógeno orgánico con ácido sulfúrico concentrado luego de la ebullición durante media hora en un calentador para matraces Kjeldhal. Destilación del extracto (en donde el nitrógeno orgánico se ha convertido en sulfato de amonio) en una solución de hidróxido de sodio al 32%. Determinación del nitrógeno, que se ha convertido en hidróxido de amonio, por medio de titulación con NaOH $0,1$ n.

-Contenidos de fósforo y potasio disponibles para las plantas: Extracción con lactato de calcio, acetato de calcio y ácido acético (Método CAL). Determinación del fósforo en forma colorimétrica según el método del molibdeno azul.

Determinación del potasio en el espectrofotómetro de absorción atómica (AAS).

-Contenido de cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico potencial (CIC): Según el método de Mehlich. Intercambio de los cationes con una solución de cloruro de bario a un pH de 8,1. En esta solución se determinó los iones de Ca, Mg, K y Na en el AAS. Los iones de bario adsorvidos al complejo de intercambio se lavaron con una solución de cloruro de magnesio. En esta solución se determinó el contenido de iones de bario en el AAS, y 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 adsorvidos en el complejo de intercambio.

-Grado de descomposición de la materia orgánica: La relación C/N fue utilizada como indicadora del grado de descomposición de la materia orgánica. Valores bajos de la relación C/N indican un alto grado de descomposición de la materia orgánica.

-Grado de mineralización potencial del nitrógeno orgánico: Mezcla y homogenización de las tres muestras de suelo superficial. Incubación de las muestras humedecidas a ca. 60% de la capacidad hídrica y a 20°C durante un periodo de 7

días (ZÖTTL 1956) (*). Determinación de los contenidos de nitrato y amonio antes y después de la incubación. Extracción de los contenidos de nitrato y amonio con una solución al 1 % de sulfato de aluminio potásico $KAl(SO_4)_2$. Destilación fraccionada del filtrado según Kjeldahl. Bajo condiciones levemente alcalinas se destila primero el amonio y posteriormente el nitrato es reducido y destilado como amonio. Determinación de los contenidos de amonio y nitrato por titulación. La suma de ambos contenidos corresponde al total de nitrógeno mineralizado durante el ensayo.

(*) Es necesario destacar aquí que los ensayos preliminares muestran que al aumentar la temperatura de incubación de 15°, a 20° y a 25°C, aumenta el grado de mineralización del nitrógeno orgánico tanto en muestras del Norte Chico como del sur de Chile. Es decir, tanto los microorganismos de los suelos provenientes de ambiente cálido como los de ambiente frío aumentan su actividad al aumentar las temperaturas. No se detectaron adaptaciones de los microorganismos del suelo a rangos específicos de temperaturas diferentes para cada localidad.

Análisis químico de la hojarasca y del follaje

Se analizaron los siguientes parámetros químicos:

- Contenidos totales de nitrógeno y carbono: Con la misma metodología descrita para los suelos (STEUBING, 1965).
- Contenidos totales de P, Ca, Mg, K y Na: Extracción con ácido nítrico concentrado, en el aparato de alta presión de Bergerhof. Determinación colorimétrica del fósforo con el método del molibdeno azul. Determinación de los cationes en el AAS.

Análisis de distribución espacial

El análisis de la distribución espacial se realizó con el propósito de establecer una posible relación entre la distribución espacial de las especies más frecuentes y el grado de heterogenidad del contenido de nutrientes del suelo superficial. No se usó por ello el análisis tradicional en un contexto de dinámica poblacional denso-dependiente. De acuerdo a la metodología propuesta por PIELOU (1974), se analizó la distribución espacial de la siguiente forma: Para determinar si las plantas se distribuyen al azar, se comparó la distribución de frecuencias de las distancias punto (elegido al azar)-planta observadas con la distribución de Poisson. Las frecuencias observadas y esperadas se compararon con un test del Chi-cuadrado. Para determinar si

los individuos de una población se apartan del azar, se distribuyen en forma agrupada o en forma uniforme, se utilizó el índice alfa (A). El índice alfa (A) se define como:

$$A = l \times w, \text{ donde}$$

l = densidad por círculo de radio l ,

w = media de las distancias punto-planta elevadas al cuadrado

"A" < 1 indica que los individuos tienden a disponerse en forma regular; "A" > 1 los individuos se distribuyen en forma agregada. Los datos fueron procesados con un paquete estadístico para distribución espacial diseñado por Serey (1989, no publicado).

Tratamiento estadístico de los datos

Los datos climáticos se obtuvieron de registros provenientes de las estaciones meteorológicas más cercanas a cada localidad de estudio (Tabla 2; DI CASTRI & HAJEK, 1976). En el análisis se consideraron las siguientes variables: promedio anual de precipitaciones; precipitaciones en el invierno y verano; temperaturas medias anuales de verano y de invierno; temperaturas máximas medias de verano y de invierno; temperaturas mínimas medias de verano y de invierno. Estos datos se ordenaron en rangos para así poder estimar e ingresar valores conocidos en los

análisis estadísticos, en aquellas localidades en donde no se disponen de registros climáticos. Este es el caso de los distintos manchones boscosos de Fray Jorge, Cerro Santa Inés y el grupo de islas del Archipiélago de Guapiquilán.

La interacción clima-suelo-vegetación se evaluó en primer término mediante los análisis de correspondencias (componentes principales) y de factores (GAUCH 1982, PIELOU 1984), y posteriormente, mediante simple correlación entre factores y variables, tanto climáticas como edáficas.

El análisis de correspondencia es un método de ordenación y consiste en un procedimiento para adaptar una nube de datos de tal manera de que al ser proyectados en un espacio bidimensional (como es el caso de hoja de papel), cualquier patrón intrínscico que pueda poseer la nube, se hace evidente (PIELOU, 1984). A través de éste método, se asignan simultáneamente ponderaciones tanto a las especies como a las localidades, de tal manera de obtener los registros para la ordenación de las localidades y de las especies, respectivamente.

Los datos se procesaron con el programa "Cornell Ecology Programs" (MOHLER, 1987) Se consideró:

-Ordenamiento de las localidades y especies de acuerdo a su composición florística y las frecuencias de las especies mediante un análisis de correspondencia de las especies (DECORANA).

-Ordenamiento de las localidades de acuerdo a las variables químicas edáficas mediante un análisis de correspondencia (DECORANA).

-Discriminación de las variables edáficas, vegetacionales y climáticas que explican la mayor variabilidad de los datos, mediante un análisis de factores (SPSS), que es un tipo de análisis de correspondencia.

-Los índices de esclerofilia (C/N, Ca/K y %P) del follaje y de la hojarasca, se compararon las especies por localidad a través de un análisis de varianza de doble vía (ANOVA:SACHS 1984).

RESULTADOS

1. Interacción vegetación-clima: Efecto de los factores climáticos en la flora y vegetación asociadas al "olivillo".

1.1 Análisis fitosociológico

La Tabla fitosociológica (Anexo 1) muestra que una serie de especies asociadas al "olivillo" tienen un extenso rango latitudinal, caracterizando así a la comunidad. Ellas son: Rhaphithamnus spinosus y Drimys winteri en el estrato arbóreo y arbustivo, Blechnum hastatum, Uncinia phleoides, Nertera granadensis, Asplenium dareoides y Dysopsis glechomoides en el estrato herbáceo y Polypodium feullei, Mitraria coccinea y Asplenium dareoides entre las epífitas. Otras especies están restringidas a una zona climática determinada. Considerando estas últimas especies, es posible distinguir tres unidades florísticas a lo largo del gradiente latitudinal estudiado. Ellas corresponden a tres de las asociaciones descritas por OBERDORFER (1960) dentro de la alianza Nothofago-Eucryphion.

a) Peperomia-Aextoxiconetum (OBERDORFER, 1960).

En esta asociación quedan incluidas los bosques "relictos" de Fray Jorge y Cerro Santa Inés, a los 30° y 32°S, respectivamente. Entre las especies características de la asociación en estas localidades se encuentran: Myrceugenia correifolia, Azara microphylla y Griselinia scandens en el estrato arbóreo y arbustivo. En el estrato herbáceo: Griselinia scandens, Peperomia coquimbensis, Peperomia fernandeziana y Loasa sclareifolia. Entre las lianas y epífitas: Peperomia coquimbensis y Griselinia scandens.

b) Nothofago-Perseetum (OBERDORFER, 1960).

En esta asociación se incluyen las localidades estudiadas al sur de los 36°S, en el Cerro Cayumanque hasta los 38°S, en la Isla Mocha. Los bosques de Quebrada El Roble y Zapallar también pueden ser incluidos dentro de esta asociación, porque a pesar de no estar presentes las especies arbóreas características, se encuentran especies características del sotobosque, tales como Bomarea salsilla, Sanicula crassicaulis y Lardizabala biternata. Entre las especies arbóreas características de la asociación destacan: Nothofagus obliqua, Persea lingue, Cryptocarya alba, Peumus boldus y Lomatia dentata.

En el estrato herbáceo, Bomarea salsilla, Sanicula crassicaulis, Lardizabala biternata, Proustia pyrifolia y

Dioscorea humifusa. Entre las lianas y epífitas: Proustia pyrifolia, Boquila trifoliolata, Lardizabala biternata y Bomarea salsilla.

c) Lapaqerio-Aextoxiconetum (OBERDORFER, 1960; SCHMITHÜSEN, 1960).

En esta asociación quedan incluidas todas las localidades de la Región de los Lagos, Chiloé y el extremo sur de la distribución del "olivillo" (isla Guafo). Se distribuye a partir del Fundo San Martín a los 39°S. Entre las especies características se encuentran; Luma apiculata, Laurelia philippiana, Myrceugenia planipes, Gevuina avellana, Eucryphia cordifolia y Amomyrtus meli en el estrato arbóreo y arbustivo. En el estrato herbáceo; Luzuriaga radicans, Elytropus chilensis, Uncinea erinacea, Cissus striata; Mitraria coccinea, Ctenitis spectabilis y Blechnum mochaenum. Entre las lianas y epífitas: Luzuriaga radicans, Hymenophyllum caudiculatum, Hymenoglossum cruentum, Sarmienta repens, Fascicularia bicolor, Hymenophyllum plicatum, Hymenophyllum krauseanum, Hydrangea serratifolia, Asplenium trilobum, Pseudopanax valdiviense, Lapaqeria roseae, Cissus striata, Hymenophyllum pectinatum, Hymenophyllum dicranotrichum y Luzuriaga polyphylla.

1.2 Ordenamiento florístico mediante análisis de componentes principales.

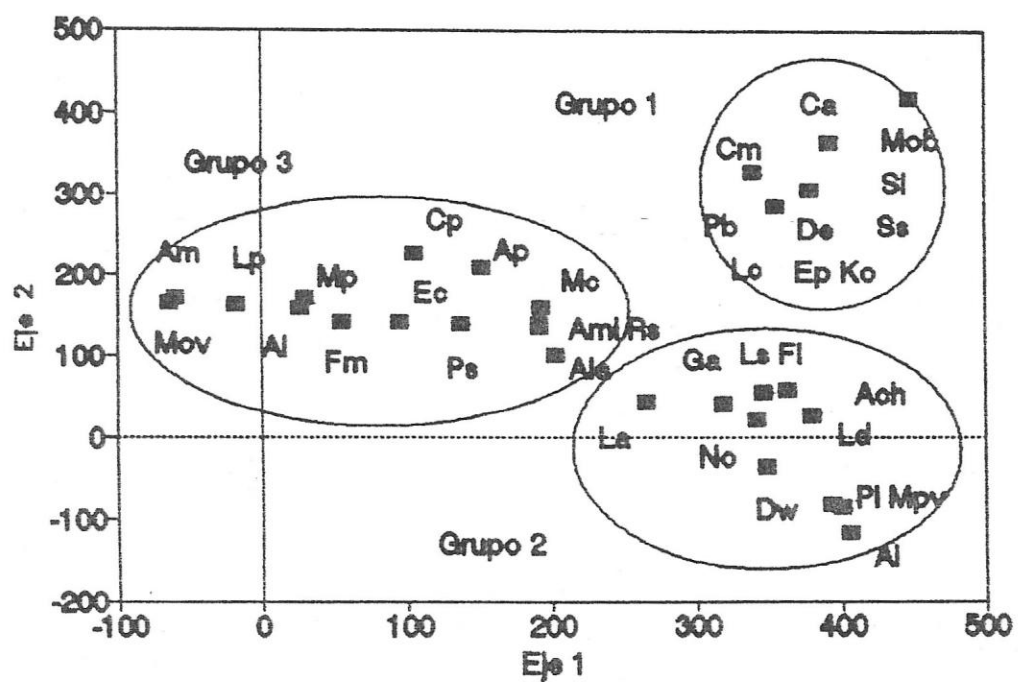
La Fig. 5 muestra el ordenamiento de las especies arbóreas considerando sus valores de cobertura en el análisis de componentes principales. Los eje 1 y 2 dan cuenta de un 45,5% y de un 35,1% de la variabilidad de los datos, respectivamente. Se observan tres agrupaciones:

Grupo 1: El grupo del extremo superior derecho del gráfico integra las especies características del bosque esclerófilo de la Zona Central de Chile: Cryptocarya alba (Ca), Myrceugenia obtusa (Mo), Senna stipulacea (Ss), Peumus boldus (Pb), Citronella mucronata (Cm), Schinus latifolius (Sl), Dasyphyllum excelsum (De), Escallonia pulverulenta (Ep), Kageneckia oblonga (Ko) y Lithrea caustica (Lc).

Grupo 2: El grupo del extremo inferior derecho del eje 1 agrupa especies típicas del bosque Caducifolio Maulino tales como: Persea linque (Pl), Nothofagus obliqua (No), Lomatia dentata(Ld), Gevuina avellana (Ga), Laurelia sempervirens (Ls), Azara integrifolia (Ai), Myrceugenia parviflora (Mpv); y otras especies de amplia distribución en Chile tales como Fuchsia lycioides (Fl), Aristotelia chilensis (Ach) y Drimys winteri (Dw).

Grupo 3: El tercer grupo, desplazado hacia la izquierda del gráfico, exhibe una secuencia a lo largo del eje 1,

Figura 5: Ordenamiento de las especies arbóreas según análisis Decorana de sus coberturas. En la Tabla Fitosociológica (Anexo 1) se entregan los códigos de las especies.



situándose en su extremo derecho las especies típicas del bosque de "olivillo" de Fray Jorge (Myrceugenia correaefolia (Mc) y Azara microphylla (Ami)), seguidas hacia el extremo izquierdo del eje 1 por las especies típicas del bosque de "olivillo" del sur de Chile: Aextoxicon punctatum (Ap), Caldcluvia paniculata (Cp), Eucryphia cordifolia (Ec), Podocarpus saligna (Ps), Amomyrtus luma (Al), Myrceugenia planipes (Mp), Laurelia philippiana (Lp), Myrceugenia ovata (Mov) y Amomyrtus meli (Am).

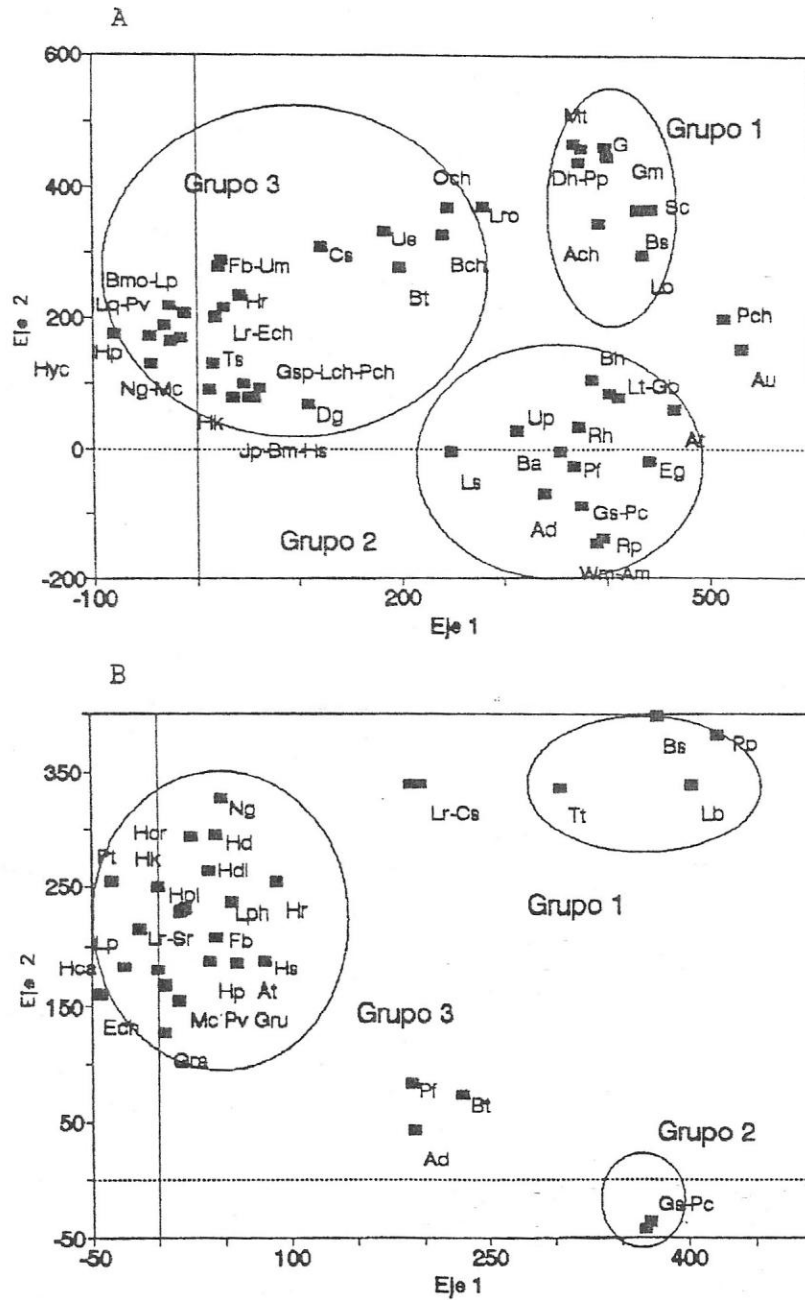
Para conocer el efecto de incluir la vegetación del sotobosque en el ordenamiento de las especies, se realizó un análisis de componentes principales considerando todos los estratos.

En la Fig. 6 se ordenan las especies del sotobosque de acuerdo a la cobertura de especies. El eje 1 explica un 44,8% y el eje 2 un 25,2% de la variabilidad total de los datos. Nuevamente se observan tres grupos de especies, tanto para las herbáceas (Fig. 6A) como para las lianas y epífitas (Fig. 6B).

Grupo 1: Incluye las especies características del bosque Caducifolio Maulino, tales como Bomarea salsilla (Bs), Sanicula crassicaulis (Sc), Lardizabala biternata (Lb) y Proustia pyrifolia (Pp).

Grupo 2: Incluye las especies características del bosque "relictivo" del Norte Chico, como Peperomia coquimbensis (Pc),

Figura 6: Ordenamiento de hierbas (A) y lianas y epífitas (B) según análisis Decorana de cobertura de todos los estratos. En la Tabla Fitosociológica se entregan los códigos de las especies.

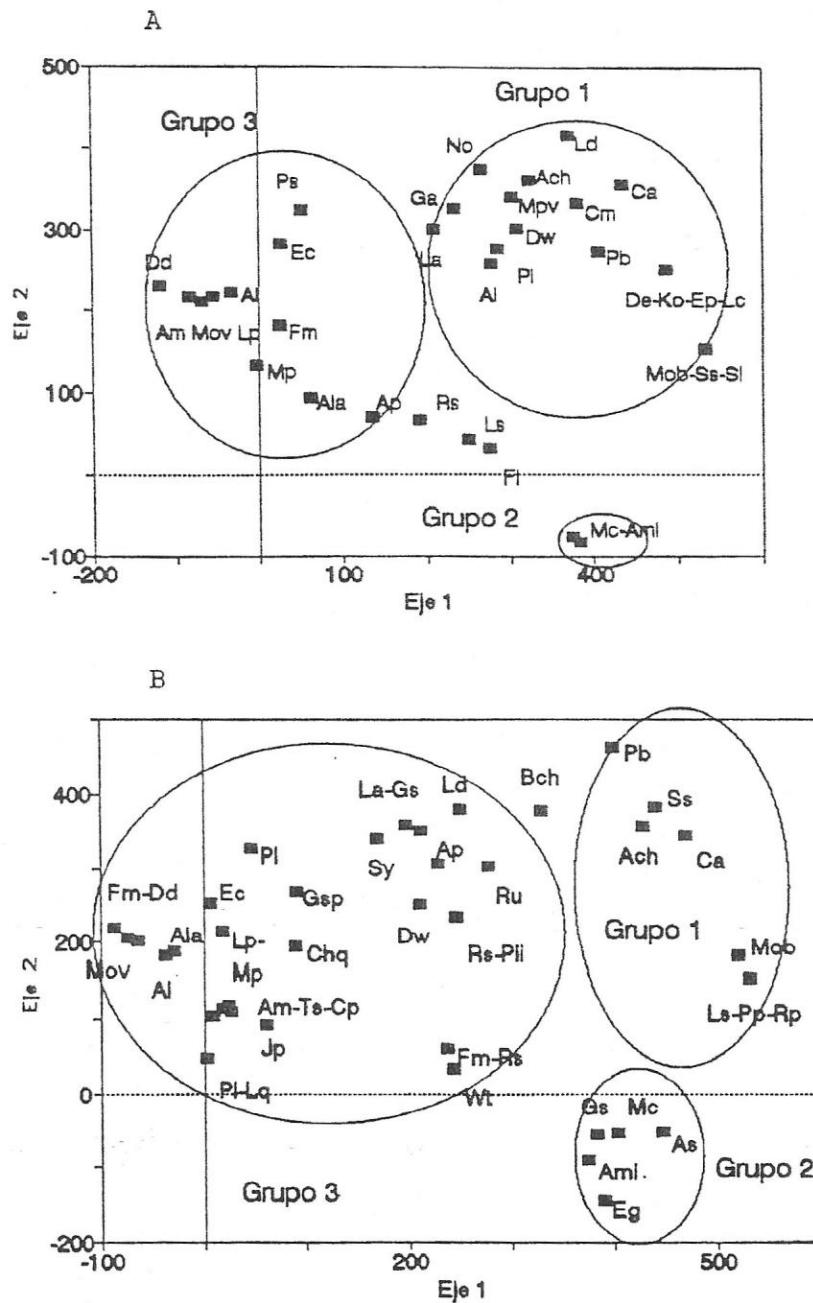


Peperomia fernandeziana (Pf) y Griselinia scandens (Gs) junto con especies asociadas al bosque de "olivillo" en toda su distribución latitudinal, tales como: Uncinia phleoides (Up), Blechnum hastatum (Bh), Relbunium hypocarpium (Rh) y Asplenium dareoides (Ad).

Grupo 3: Incluye las especies características del bosque Valdiviano con Lapageria rosea (Lro), Luzuriaga radicans (Lr), Hydrangea serratifolia (Hs), Elytropus chilensis (Ech), Mitraria coccinea (Mc), Ctenitis spectabilis (Ts); y varias especies de Hymenophyllum (Hk, Hp, Hyc, Hca, Hpl, etc.).

Para conocer ahora el efecto de incluir el sotobosque en el ordenamiento de los árboles, en la Fig. 7 se ordenan las especies de los estratos arbóreo, arbustivo y plántulas de acuerdo a la cobertura de todos los estratos. Se registran nuevamente tres grupos: Grupo 1: Incluye a las especies del bosque caducifolio Maulino tales como Nothofagus obliqua (No), Persea lingue (Pl), Lomatia dentata (Ld), Gevuina avellana (Ga) y Azara integrifolia (Ai); Este grupo también incluye a las especies esclerófilas de la Alianza más mélica (Alianza Cryptocaryon; OBERDORFER, 1960) como Cryptocarya alba (Ca), Peumus boldus (Pb), Citronella mucronata (Cm) y las especies esclerófilas características de la Alianza más xérica (Alianza Lithreion, OBERDORFER, 1960), como Lithrea caustica (Lc), Escallonia pulverulenta (Ep), Kageneckia

Figura 7: Ordenamiento de árboles (A) y arbustos (B) según análisis Decorana de cobertura de todos los estratos. En la Tabla Fitosociológica (Anexo 1) se entregan los códigos de las especies.



oblonga (Ko), Dasyphyllum excelsum (De), Myrceugenia obtusa (Mob), Senna stipulacea (Ss), Ribes punctatum (Rp), Schinus latifolius (Sl) y Proustia pyrifolia (Pp). Grupo 2: Incluye las especies del bosque relicto del Norte Chico como Myrceugenia correifolia (Mc), Azara microphylla (Ami), Griselinia scandens (Gs), Adenopeltis serrata (As) y Eupatorium glechonophyllum (Eg).

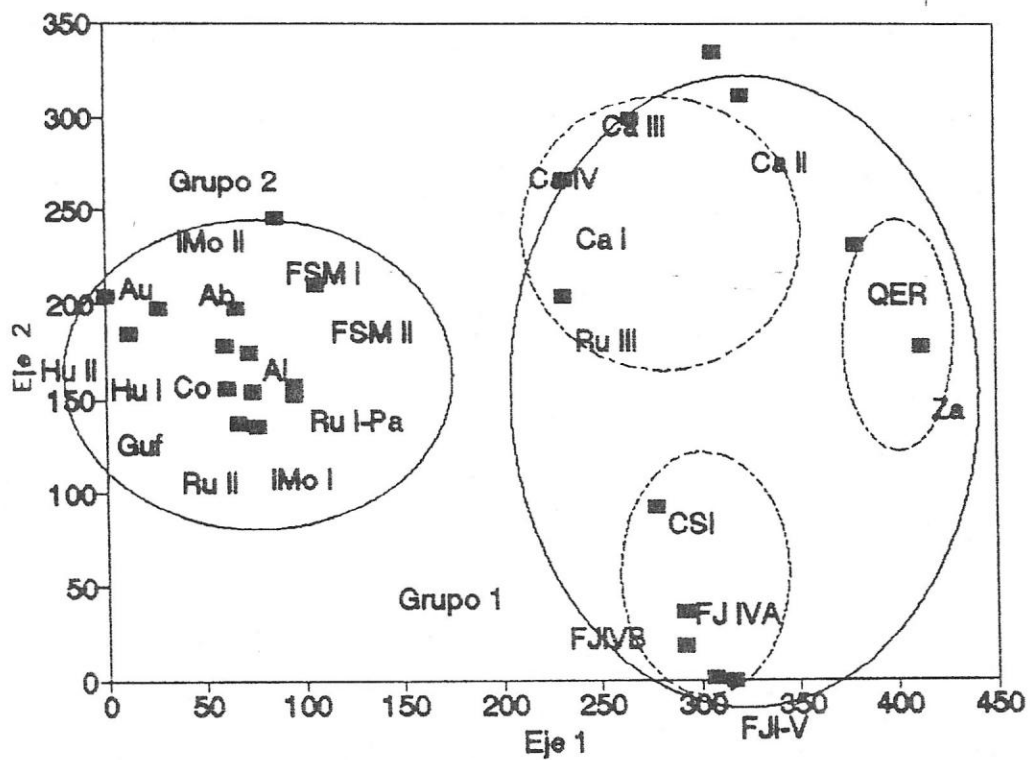
Grupo 3: Incluye las especies de bosque Valdiviano, como Aextoxicon punctatum, Eucryphia cordifolia (Ec), Myrceugenia planipes (Mp), Myrceugenia ovata (Mov), Amomyrtus luma (Al), Amomyrtus meli (Am), Laurelia philippiana (Lp), Podocarpus saligna (Ps), Dasyphyllum diacanthoides (Dd), Caldcluvia paniculata (Cp) y Fuchsia magellanica (Fm). El ordenamiento de la flora del bosque de "olivillo" es coincidente, en términos generales, con el obtenido utilizando técnicas fitosociológicas. Una serie de especies leñosas y herbáceas caracterizan tanto al bosque de "olivillo" de los relictos boreales, como los bosques de Chile central y Región de los Lagos. En todos los casos, el eje 1 se puede interpretar como un gradiente desde xérico a méxico. El eje 2, que separa las especies del bosque esclerófilo costero con "olivillo", de las del bosque maulino, podría interpretarse como un gradiente de estacionalidad en las precipitaciones, entendiéndose como una mayor estacionalidad en las precipitaciones a un mayor porcentaje de lluvias, del monto

total, que caen en el invierno, característico de un clima mediterráneo.

1.3 Ordenamiento de las localidades estudiadas según la composición florística y cobertura de la vegetación.

En la Fig. 8 se ordenan las localidades mediante el análisis de componentes principales, de acuerdo a la cobertura de especies de la flora total. En el eje 1, que explica un 44,9% de la variabilidad de los datos, se observa que las localidades se separan en dos grandes grupos. Un grupo de localidades al norte de los 38°S que incluye: Fray Jorge, Cerro Santa Inés, Zapallar, Quebrada El Roble, Cerro Cayumanque y Quebrada Rucaraqui III de exposición NE más xérica. Un segundo grupo de localidades, al sur de los 38°S que incluye: Quebrada Rucaraqui I-II, Isla Mocha, Fundo San Martín, Hueicolla, Archipiélagos de Chiloé y Guapiquilán, e Isla Guafo. Dentro del grupo de localidades del norte, a lo largo del eje 2 (que explica un 25,2% de la variabilidad de los datos), se distinguen tres subgrupos: Fray Jorge y Cerro Santa Inés en el extremo inferior del eje; luego Zapallar y Quebrada El Roble, el grupo central; y Cayumanque y Rucaraqui III, el grupo superior.

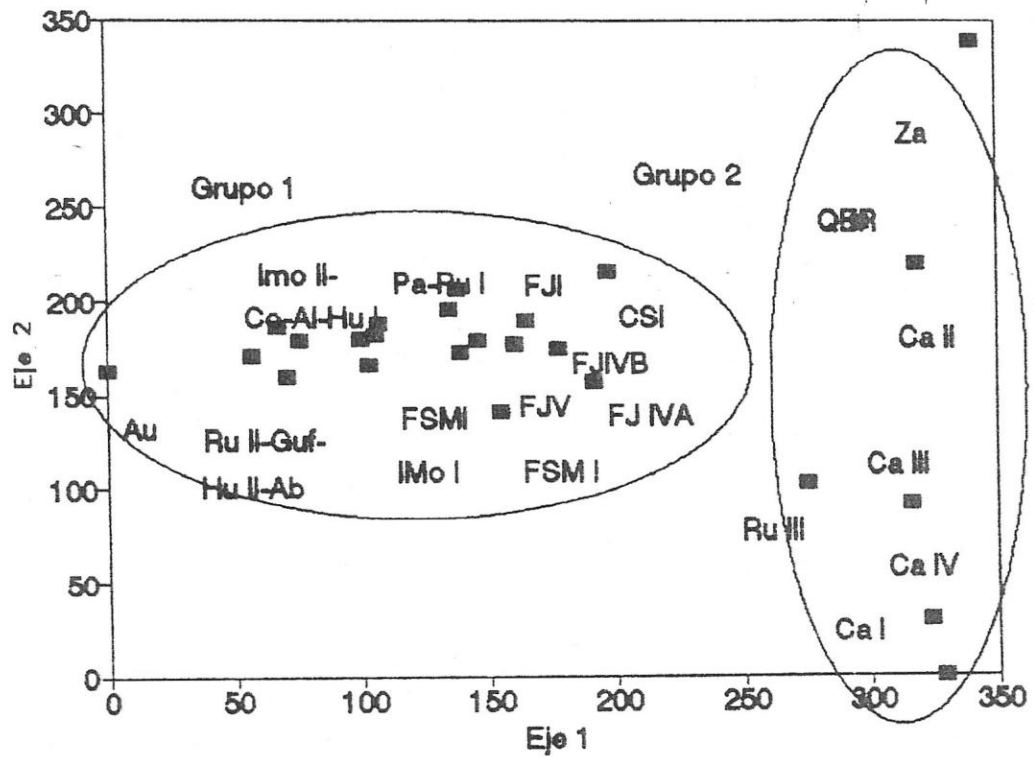
Figura 8: Ordenamiento de las localidades de estudio según análisis Decorana considerando la cobertura de especies de todos los estratos. En la Tabla Fitosociológica (Anexo 1) se entregan los códigos de las localidades.



La Fig. 9 muestra el ordenamiento de las localidades incluyendo solamente la cobertura de las especies arbóreas. El eje 1 explica un 45,5% de la variabilidad de los datos y el eje 2 un 35,1%. Se obtuvieron 2 grandes agrupaciones de localidades: En el extremo izquierdo del eje 1 se agrupan las localidades al sur de los 38°S, pero integrando los "relictos" del Norte Chico, Fray Jorge y Cerro Santa Inés; hacia el extremo derecho del eje 1 se agrupa un segundo grupo de localidades que incluye a los bosques de Zapallar, Quebrada El Roble, Cayumanque y Rucaraqui III de la zona mediterránea.

El análisis de las localidades exhibe resultados concordantes al del análisis florístico. Nuevamente el ordenamiento a lo largo del eje 1 podría ser interpretado como un gradiente desde xérico a méxico; el ordenamiento de localidades a lo largo del eje 2, que separa las localidades de la zona mediterránea de las localidades relictas del Norte Chico, se podría interpretar como un gradiente de estacionalidad de las precipitaciones. La inclusión de las localidades relictas del norte en el grupo de localidades más méxico del sur de Chile es comprensible si se considera la homogeneidad hídrica de los relictos con un aporte de neblinas durante todo el año, e incluso más intensa durante el verano. Una posible explicación a la separación de los bosques "relictos" del Norte Chico del grupo de localidades

Figura 9: Ordenamiento de las localidades de estudio según análisis Decorana considerando cobertura de árboles. En la Tabla Fitosociológica (Anexo 1) se entregan los códigos de las localidades.



del sur de Chile al considerar todos los estratos reside probablemente en la existencia de especies endémicas en el sotobosque de los relictos tales como: Griselinia scandens (Gs), Peperomia coquimbensis (Pc) y Peperomia fernandeziana (Pf), todas ellas importantes en la cobertura del sotobosque. Las especies epífitas y herbáceas comunes a los bosques "relictos" del Norte Chico y los bosques del sur de Chile, tales como: Nertera granadensis, Asplenium dareoides y Dysopsis glechomoides, no tienen los valores de cobertura altos que presentan las especies endémicas.

1.4 Relación entre la flora y la vegetación de los bosques de "olivillo" con los factores climáticos.

Para discriminar qué variables climáticas son determinantes en el ordenamiento florístico de los bosques de "olivillo" se llevó a cabo un análisis de correlación. Se correlacionaron los valores de los ejes 1 y 2 del análisis de componentes principales para cada sitio con las variables climáticas (temperatura y precipitaciones) registradas en las estaciones meteorológicas más cercanas a los sitios de estudio. La Tabla 3 muestra la correlación estadísticamente significativa obtenida entre los valores del eje 1 para los sitios con todas las variables climáticas, a excepción de los montos de lluvias invernales y estivales. Tampoco existe

Tabla 3: Índices de correlación (r^2) entre los valores de los ejes 1 y 2 del análisis Decorana al ingresar la cobertura de la vegetación, con las variables climáticas de estaciones meteorológicas más cercanas a los sitios de estudio (17 grados de libertad).

A: Valores de los ejes del análisis Decorana al ingresar la cobertura de todos los estratos

B: Valores de los ejes del análisis Decorana al ingresar la cobertura de árboles

* = $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

	A Eje 1	B Eje 1	A Eje 2	B Eje 2
Precipitación promedio anual	0.62***	0.39**	0.18n.s	0.16n.s
% de precipitaciones invernales	0.00n.s	0.09n.s	0.59***	0.02n.s
% de precipitaciones estivales	0.03n.s	0.05n.s	0.56***	0.01n.s
Temperatura promedio anual	0.45**	0.38**	0.07n.s	0.30*
Temperatura máxima media de verano	0.34**	0.54***	0.00n.s	0.02n.s
Temperatura media de verano	0.38**	0.29*	0.13n.s	0.01n.s
Temperatura mínima media de verano	0.58**	0.28*	0.33**	0.17n.s
Temperatura máxima media de invierno	0.62**	0.34**	0.40**	0.13n.s
Temperatura media de invierno	0.61**	0.26*	0.47**	0.17n.s
Temperatura mínima media de invierno	0.27*	0.16n.s	0.17n.s	0.14n.s

correlación significativa de los valores del eje 1 considerando la cobertura de árboles con la temperatura mínima media de invierno. Los valores del eje 2 para los sitios se correlacionan estadísticamente con el porcentaje de lluvias invernales y estivales. De estos resultados se desprende que el gradiente climático de temperatura y precipitaciones determina la composición de la flora asociada al bosque de "olivillo" a lo largo de Chile. Los grupos de especies asociados a un clima particular son coincidentes con las unidades de vegetación descritas mediante el análisis fitosociológico. Las localidades de estudio se agruparían de la siguiente manera considerando su flora:

a) En Fray Jorge y Cerro Santa Inés se encuentra un grupo de especies asociadas a un clima húmedo-cálido, con una distribución homogénea de las neblinas e incluso más frecuentes durante el verano, las especies presentes son las características de la asociación Peperomio-Aextoxiconetum (OBERDORFER, 1960).

b) En las localidades de Zapallar y Quebrada El Roble, con un clima subhúmedo-cálido, con una estacionalidad marcada en las precipitaciones, característico de un clima mediterráneo, ha permitido la incorporación del elemento esclerófilo en gran parte y el stress hídrico estival ha impedido la permanencia de otras especies de distribución más austral. La

flora corresponde a la asociación Nothofago-Perseetum (OBERDORFER, 1960).

c) En las localidades de Cerro Cayumanque, Quebrada Rucaraqui e Isla Mocha, con un clima subhúmedo-cálido, pero sólo con leve estacionalidad en las precipitaciones (las lluvias se hacen más homogéneas durante todo el año), presenta tanto especies esclerófilas como especies termófilas de distribución más austral, tales como Eucryphia cordifolia y Gevuina avellana. Corresponde también a la asociación Nothofago-Peersetum (OBERDORFER, 1960), pero con una mayor riqueza en especies que en el caso anterior.

d) A partir de la latitud 39°S en el Fundo San Martín hasta el extremo sur de distribución del bosque de "olivillo", con clima húmedo-frío, las especies presentes en estas localidades son las características de la asociación Lapaqerio-Aextoxiconetum (OBERDORFER, 1960).

2. Interacción suelo-clima: Efecto de los factores climáticos en los suelos del bosque de "olivillo".

2.1 Análisis de factores.

Para analizar variación de los parámetros climáticos y químicos del suelo, hojarasca y follaje se realizó un análisis de factores. En la Tabla 4 se listan las 40 variables que se utilizaron para este análisis. Se indican separadamente los grupos de variables: a) parámetros químicos del suelo, horizonte Ah (V2-V14); b) parámetros químicos del suelo, horizonte Bv (V15-V25); c) parámetros químicos de la hojarasca (V26-V28); d) parámetros químicos del follaje (V29-V31), y e) parámetros climáticos (V31-V41).

El resultado del análisis de factores se muestra en la Fig. 10. Los ejes 1 y 2 explican conjuntamente el 50,3% de la variabilidad de los datos. El primer factor explica el 31,3% de la variabilidad total de los datos. Las variables que contribuyen en mayor porcentaje (más de 60%,) a este factor son: temperatura media de invierno, temperatura máxima de verano, temperatura media mínima de invierno, temperatura media mínima de verano. De las variables de precipitaciones, la que más contribuye al factor 1 es el promedio anual de precipitaciones, con 67%. De las variables químicas del suelo, las que más contribuyen al factor 1

Tabla 4: Variables utilizadas en el análisis de Factores.

a) Variables de características químicas del suelo superficial (Ah):

- V2: pH
- V3: % carbono total (Ct)
- V4: % nitrógeno total (Nt)
- V5: Relación C/N
- V6: Mineralización potencial del nitrógeno (Nmin)
- V7: % de saturación de bases (%SB)
- V8: Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- V9: Fósforo disponible (Pdis.)
- V10: Potasio disponible (Kdis.)
- V11: Calcio intercambiable (Ca int.)
- V12: Magnesio intercambiable (Mg int.)
- V13: Potasio intercambiable (K int.)
- V14: Sodio intercambiable (Na int.)

b) Variables de características químicas del suelo mineral (Bv)

- V15: pH
- V16: % de carbono total (Ct)
- V17: % de nitrógeno total (%Nt)
- V18: % de saturación de bases (%SB)
- V19: Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- V20: Fósforo disponible (Pdis.)
- V21: Potasio disponible (Kdis.)
- V22: Calcio intercambiable (Ca int.)
- V23: Magnesio intercambiable (Mg int.)
- V24: Potasio intercambiable (K int.)
- V25: Sodio intercambiable (Na int.)

c) Variables químicas de la hojarasca (O)

- V26: % de carbono total (%Ct)
- V27: % de nitrógeno total (Nt)
- V28: Relación C/N

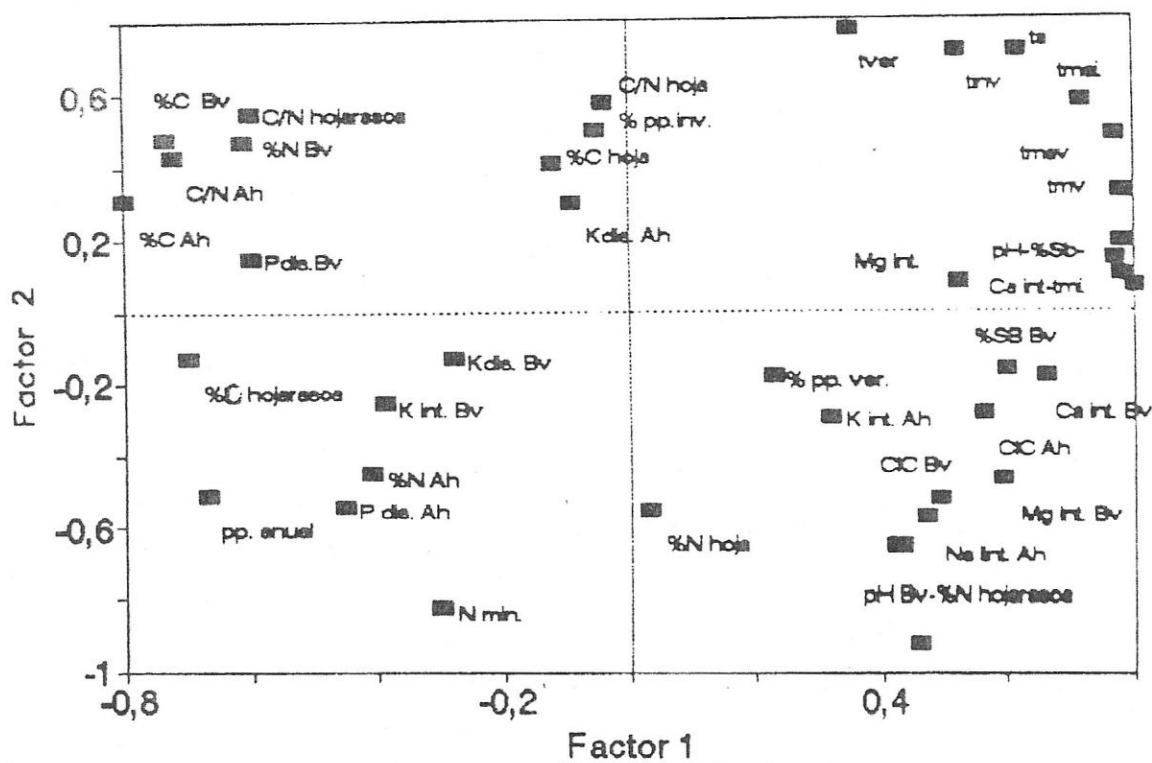
d) Variables químicas de las hojas

- V29: % de carbono total
- V30: % de nitrógeno total
- V31: relación C/N

e) Variables climáticas

- V32: Precipitación media anual (pp. anual)
- V33: % de lluvia invernal (pp.inv.)
- V34: % de lluvia estival (pp.ver.)
- V35: Temperatura media anual (ta)
- V36: Temperatura máxima media de verano (tmav): Dic.-Feb.
- V37: Temperatura media de verano (tver): Dic.-Feb.
- V38: Temperatura mínima media de verano (tmv): Dic.-Feb.
- V39: Temperatura máxima media de invierno (tma): Jul.-Ago.
- V40: Temperatura media de invierno (timv): Jul.-Ago.
- V41: Temperatura mínima media de invierno (tmi): Jul.-Ago.

Figura 10: Análisis de factores al ingresar variables climáticas y variables químicas del suelo y del follaje del "olivillo". Las variables utilizadas y sus códigos se entregan en la Tabla 4.



(más de 50%) son las siguientes: pH, porcentaje de carbono de los horizontes Ah y Bv y relación C/N de los Ah y Ol.

El segundo factor explica un 19% la variabilidad total de los datos. Las variables que contribuyen en mayor porcentaje (más de 60%) a este factor son: mineralización potencial de nitrógeno, porcentaje de nitrógeno en la hojarasca, relación C/N del follaje, y porcentaje de precipitaciones invernales. En el extremo derecho del eje horizontal 1 (Fig. 10) se agrupan las variables: pH, porcentaje de saturación de bases y contenido de calcio intercambiable del suelo superficial. También en este grupo se incluyen las siguientes variables de temperatura: temperatura media mínima de invierno y verano, temperatura media de invierno y temperatura anual. Según la matriz de correlación todas estas variables están correlacionadas positivamente. En el extremo izquierdo del eje 1 se agrupan las variables que se correlacionan negativamente con las temperaturas y el pH. Estas son: porcentaje de carbono de los horizontes Ah y Bv, relación C/N de los horizontes Ah y Ol y porcentaje de nitrógeno de los horizontes Bv y Ol, precipitación promedio anual, a su vez correlacionadas positivamente entre sí.

La interpretación de los resultados del análisis de factores permite explicar determinados procesos químicos que están ocurriendo en los suelos y su interacción con las

variables climáticas, que son importantes en la pedogénesis del bosque de "olivillo" y que no han sido descritos en la literatura. No se discuten las correlaciones que se explican matemáticamente, tales como %C vs. C/N y %N vs. C/N, tampoco las correlaciones entre las distintas variables de temperatura.

La correlación negativa que se observa entre las variables de temperatura y precipitaciones es concordante con el comportamiento opuesto de estos parámetros a lo largo de las latitudes subtropicales y templadas de Chile.

Resulta interesante la correlación negativa entre el pH y las precipitaciones y el porcentaje de carbono en el horizonte Ah (Fig. 10). Como se esperaba, el proceso de acidificación de los suelos, resultante de las mayores precipitaciones y menores temperaturas, se intensifica por acumulación de materia orgánica en el suelo. Esto se debe a la capacidad de los grupos fenólicos de la materia orgánica de actuar como un ácido débil.

La correlación negativa que se observa entre las variables de temperatura con el porcentaje de carbono de los horizontes Ah y Bv, la relación C/N de los horizontes O1 y Ah y el porcentaje de nitrógeno total del horizonte Bv, se debería a que los descensos de las temperaturas inhiben los procesos de descomposición de la materia orgánica en el suelo (e.g. porcentaje de nitrógeno total), permitiendo así

su acumulación.

El eje vertical (Factor 2) mostrado en la Fig. 10 explica el 19% de la variabilidad de los datos. En su extremo superior se ordenan las variables relación C/N de la hoja y porcentaje de precipitaciones invernales. En el extremo inferior opuesto se agrupan las variables que se correlacionan negativamente con el grupo anterior. Ellas son: porcentaje de nitrógeno en la hoja y hojarasca, mineralización potencial del nitrógeno y pH del horizonte Bv. Esta agrupación de variables a lo largo del eje 2 se podría explicar de la siguiente manera: una mayor relación C/N de la hoja (un mayor grado de esclerofilia), se asocia con mayores precipitaciones invernales, es decir, a la estacionalidad en las precipitaciones característica del clima mediterráneo. Mayores grados de esclerofilia en las hojas (mayores relaciones C/N) determinarían una hojarasca con menores contenidos de nitrógeno y, por lo tanto, menores grados de mineralización potencial del nitrógeno en el suelo.

2.2 Relación entre los parámetros químicos del suelo superficial con el gradiente de temperaturas y precipitaciones.

Para evaluar los efectos de la temperatura y precipitación sobre los parámetros químicos del suelo superficial, se realizaron correlaciones individuales entre ambas variables climáticas y las variables químicas que más dan cuenta de la variabilidad de los datos como: porcentaje de saturación de bases, porcentaje de carbono, relación C/N, pH y mineralización potencial del nitrógeno del suelo superficial.

En la Fig. 11 se muestra la relación negativa entre precipitaciones medias y porcentaje de saturación de bases ($r = -0,61$; $P < 0,05$). Se observa una tendencia a la disminución del porcentaje de saturación de bases con el aumento de las precipitaciones.

En la Fig. 12 se muestra la relación positiva entre precipitaciones y porcentaje de carbono total ($r = 0,62$; $P < 0,05$). De la buena correlación obtenida se desprende que las precipitaciones son un buen predictor del contenido de carbono del suelo superficial del bosque de "olivillo". Un aumento de 500 mm de las precipitaciones promedio anuales determina un aumento de alrededor de 3% en la acumulación de carbono en el suelo superficial.

Fig. 11: Relación entre el porcentaje de saturación de bases del suelo superficial y las precipitaciones promedio anuales de estaciones meteorológicas cercanas a los bosques de "olivillo" estudiados.

FJ: Fray Jorge, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque, Ru: Quebrada Rucaraqui, IMo: Isla Mocha, FSM: Fundo San Martín, Hu: Hueicolla, Chi:Chiloé, Gup: Guapiquilán, Guf: Isla Guafo.

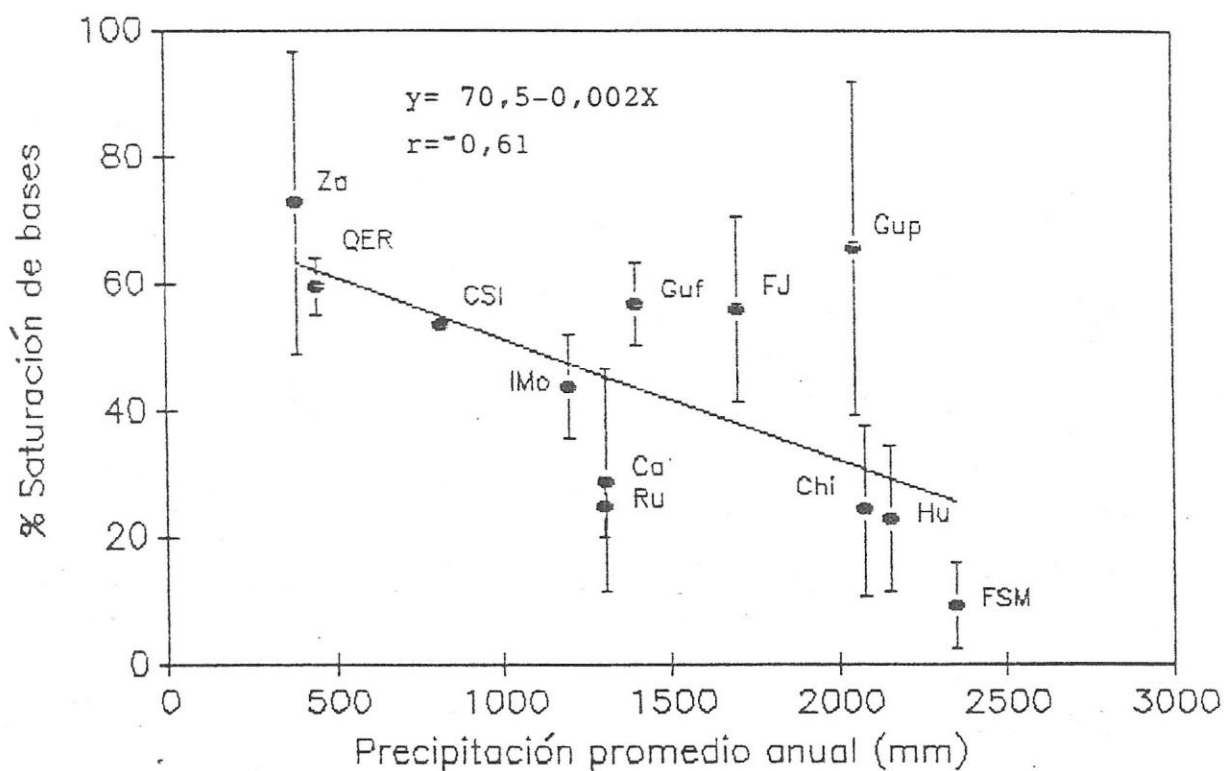
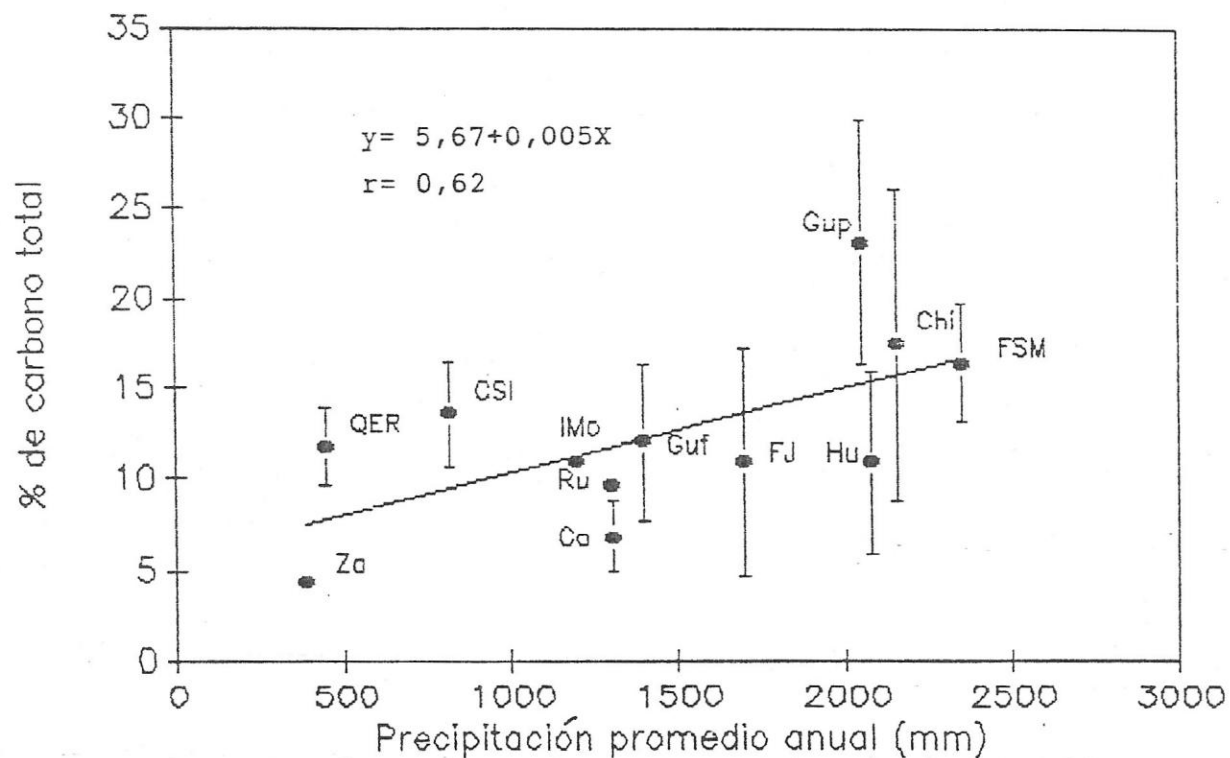


Fig. 12: Relación entre el porcentaje de carbono total del suelo superficial y las precipitaciones promedio anuales de estaciones meteorológicas cercanas a los bosques de "olivillo" estudiados.

FJ: Fray Jorge, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque, Ru: Quebrada Rucaraqui, IMo: Isla Mocha, FSM: Fundo San Martín, Hu: Hueicolla, Chi: Chiloé, Gup: Cuapiquilán, Guf: Isla Guafo.



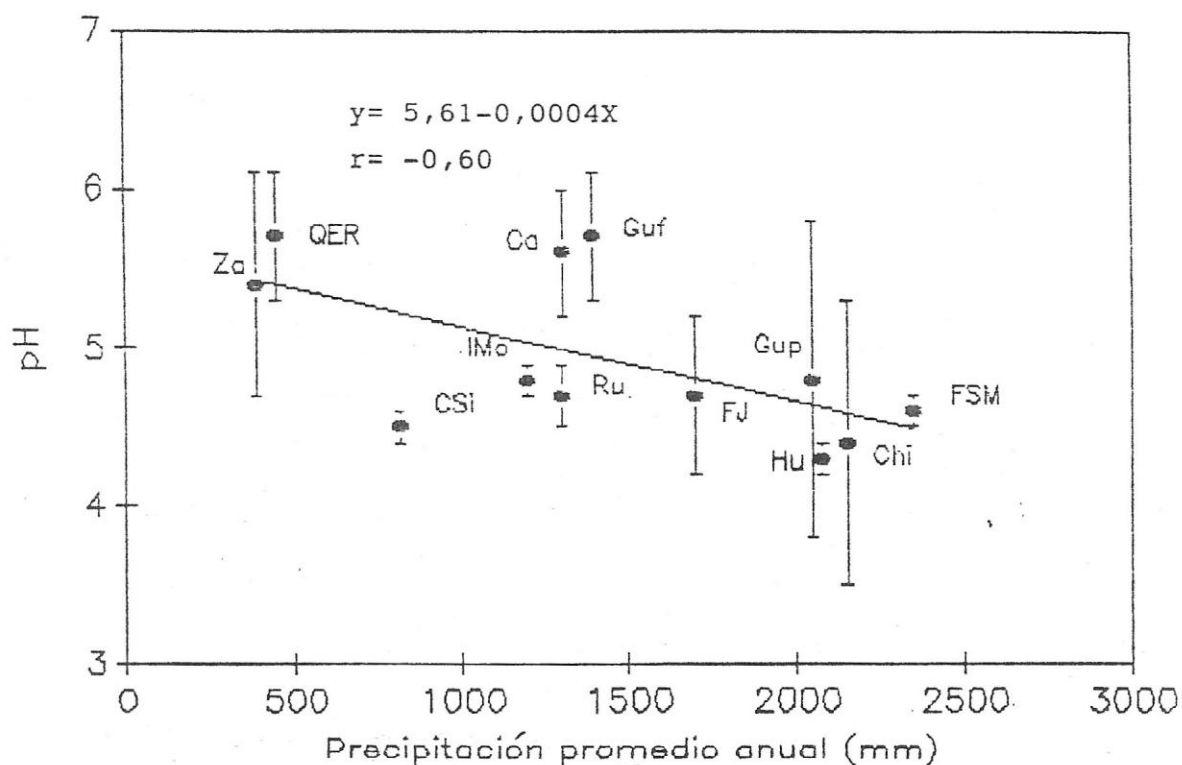
En la Fig. 13 se muestra la relación negativa entre precipitaciones y pH ($r = 0,60$; $P < 0,05$). Nuevamente se observa que las precipitaciones promedio anual son un buen predictor del pH del suelo superficial en el bosque de "olivillo". Cada 500 mm de aumento de las precipitaciones determina un descenso de 0,2 unidades en el pH.

En contraste, los resultados muestran que la mineralización potencial del nitrógeno y la relación C/N del suelo superficial del bosque de "olivillo" no se correlacionan con las precipitaciones promedio anuales. La temperatura promedio anual no resultó ser un buen predictor de ninguno de los parámetros químicos del suelo superficial; esto probablemente por la menor variabilidad que muestran las temperaturas en el gradiente climático en comparación con las precipitaciones.

De la descripción de los perfiles de suelo reseñada en el Anexo 2 se desprende que, en algunas localidades del norte Chico (Fray Jorge IVA y IVB) y del sur de Chile, (Cayumanque, Fundo San Martín, Auquilda, Abtao e Isla Alao), existe una mayor diferenciación de los horizontes orgánicos Oh y Of. Este atributo sugiere un retardo en los procesos de descomposición de la materia orgánica en estas localidades.

Fig. 13: Relación entre el pH del suelo superficial y las precipitaciones promedio anuales de estaciones meteorológicas cercanas a los bosques de "olivillo" estudiados.

FJ: Fray Jorge, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque, Ru: Quebrada Rucaraqui, IMo: Isla Mocha, FSM: Fundo San Martín, Hu: Hueicolla, Chi: Chiloé, Gup: Guapiquilán, Guf: Isla Guafo.



2.3. Comparación latitudinal del contenido de nutrientes del follaje del "olivillo"

En la Figura 14 se muestra que los contenidos de nitrógeno foliar y de la hojarasca se mantienen constantes en todo el gradiente latitudinal.

En lo que se refiere al contenido de fósforo (Fig. 15) del follaje y hojarasca, tampoco se observa variación de este parámetro con la latitud. Esto sucede a pesar de que en las localidades del sur de Chile (Cayumanque, Isla Mocha, Fundo San Martín y Hueicolla) los contenidos de fósforo disponible en el suelo superficial son significativamente más bajos a los del Norte Chico y zona central (Fig. 16).

2.4 Variación de los parámetros químicos en los distintos horizontes de los suelos del bosque de "olivillo".

En la Tabla 5 se muestran los resultados del análisis químico de los distintos horizontes del suelo en cada una de las localidades. En todas las localidades se obtuvo una disminución de los porcentajes de carbono y nitrógeno totales con la profundidad. En otras palabras, el contenido de materia orgánica disminuye con la profundidad. También disminuye hacia los horizontes inferiores del suelo la capacidad de intercambio catiónico; una excepción la

Figura 14: valores promedio y desviación standard del contenido de nitrógeno total de follaje (A) y hojarasca (B) del bosque de "olivillo" a lo largo del gradiente latitudinal. FJ: Fray Jorge, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: cerro Cayu-manque, Ru: Quebrada Rucaraqui, IMo: Isla Mocha, FSM: Fundo San Martín, Chi: Chiloé, Guf: Isla Guafo.

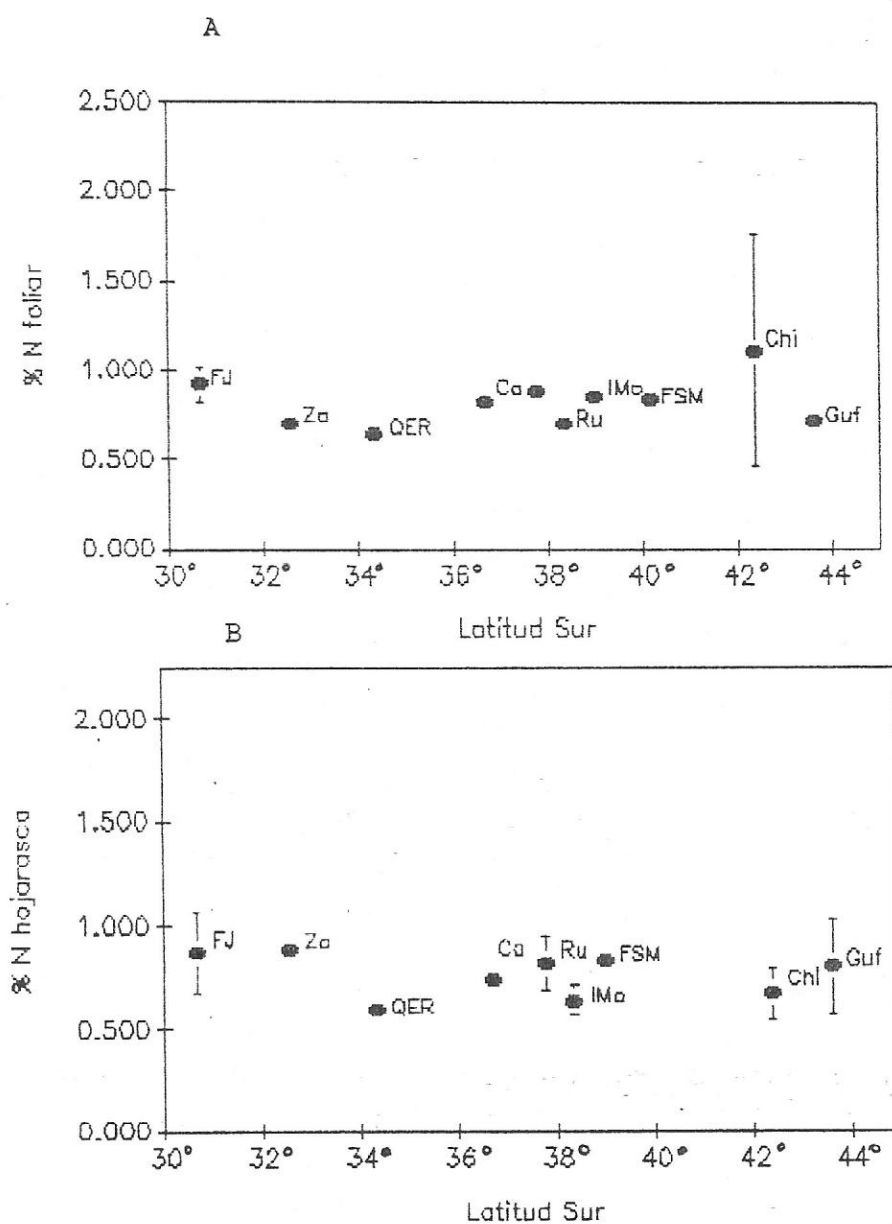


Figura 15: Valores promedio y desviación standard del contenido de fósforo total del follaje (A) y hojarasca (B) del bosque de "olivillo" a lo largo del gradiente latitudinal. FJ: Fray Jorge, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cayumanque, Ru: Quebrada Rucaraqui, IMo: Isla Mocha, FSM: Fundo San Martín, Chi: Chiloé, Guf: Isla Guafo.

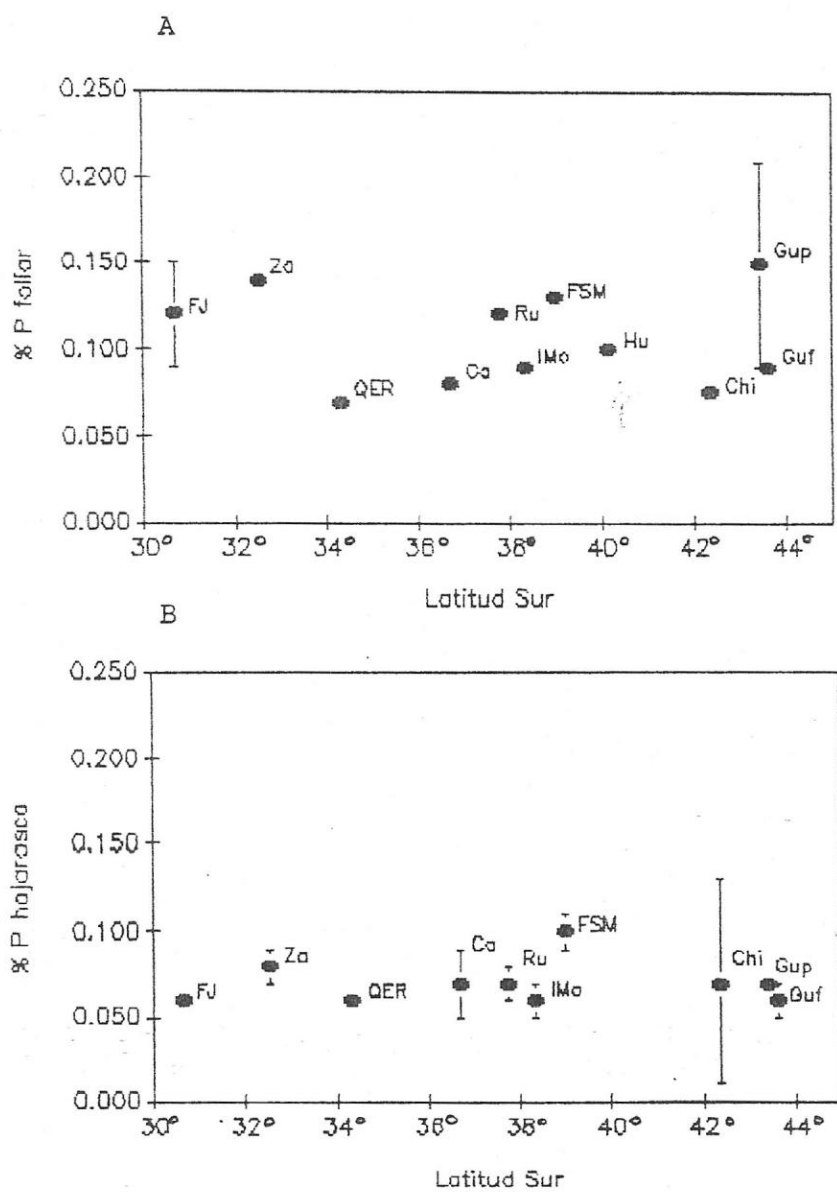


Fig. 16: Valores promedio y desviación standard del contenido de fósforo disponible para las plantas (método CAL), del suelo superficial del bosque de "olivillo" a lo largo del gradiente latitudinal.

FJ: Fray Jorge, CSI: Cerro Santa Inés, Za: Zapallar, QER: Quebrada El Roble, Ca: Cerro Cayumanque, Ru: Quebrada Rucaraqui, IMo: Isla Mocha, FSM: Fundo San Martín, Hu: Hueicolla, Chi: Chiloé, Gup: Guapiquilán, Guf: Isla Guafo.

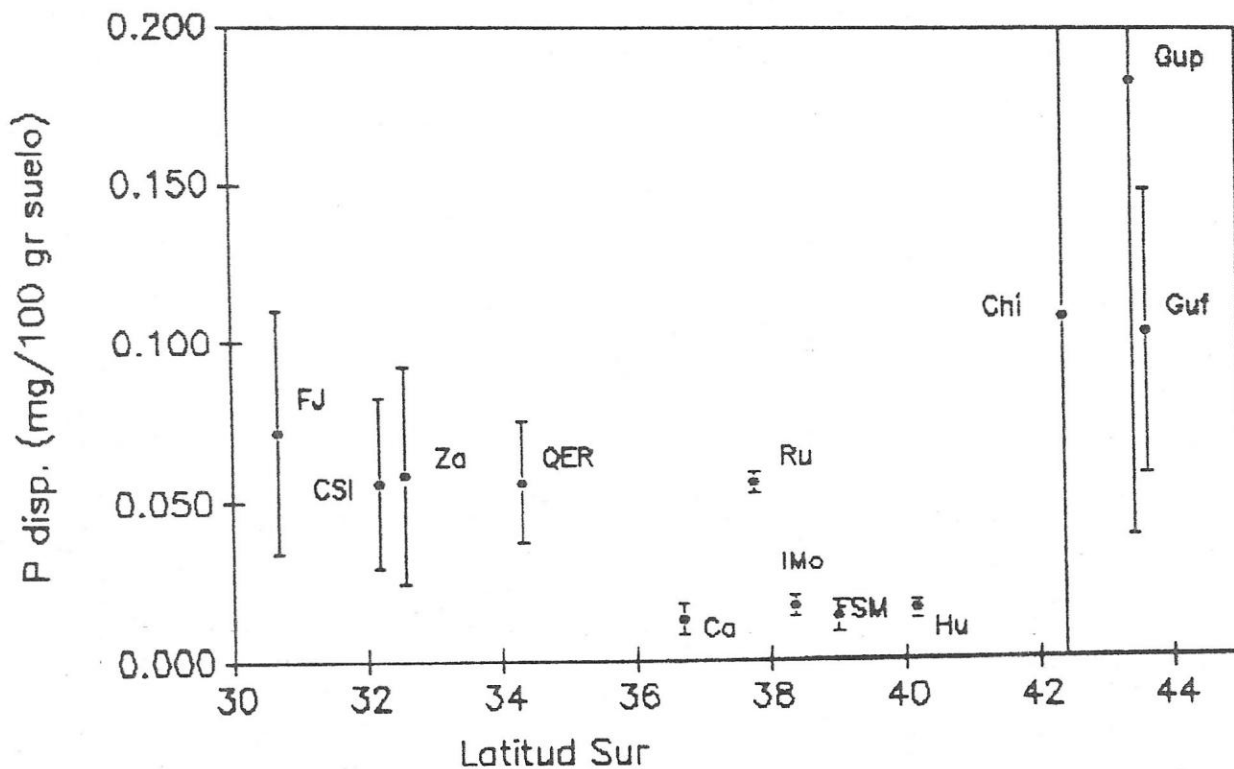


Tabla 5: Características químicas de los perfiles de suelo de las localidades de estudio.

CIC= Capacidad de intercambio catiónico según Mehlich. %SB= % de saturación de bases.

Localidad	Profundidad (cm)	pH (Ca Cl ₂)	% C	% N	CIC meq/100g suelo	% SB	P (mg/100g suelo)	K
Fray Jorge I	0-10	4,8	5,75	0,47	49,15	57,44	0,030	26,03
Fray Jorge IV A	0-10	4,7	16,61	1,07	90,63	57,10	0,111	27,70
	10-25	4,2	3,93	0,30	29,44	23,71	0,125	4,40
	25-35	4,5	3,14	0,20	30,31	16,73	0,073	1,40
	35-50	4,7	1,90	0,16	25,34	13,34	0,015	1,38
Fray Jorge IV B	0-10	4,2	15,51	0,92	69,43	57,48	0,062	29,30
	10-35	3,9	4,63	0,14	35,46	27,66	0,002	0,00
	35-50	4,1	1,84	0,07	23,17	37,29	0,012	0,00
	50-65	4,5	0,56	0,00	9,80	52,45	0,002	0,00
Fray Jorge V	0-10	4,8	5,70	0,53	59,48	50,80	0,085	24,37
	10-20	3,7	6,84	0,41	42,46	10,20	0,009	0,00
	20-35	3,8	5,27	0,33	39,87	8,10	0,017	0,00
	35-50	3,9	3,92	0,15	32,59	7,15	0,011	0,00
	50-70	3,9	0,43	0,03	13,13	9,37	0,006	0,00
Cerro Santa Inés	0-5	4,1	8,43	0,43	40,57	36,21	0,014	5,44
	5-23	4,2	5,50	0,22	33,68	32,48	0,006	0,00
	23-50	4,2	3,94	0,15	29,68	30,02	0,003	0,00
Zapallar	0-33	5,1	3,89	0,32	39,30	93,82	0,036	15,20
	33-57	5,0	1,24	0,10	36,94	69,49	-	-
	> 57	4,9	1,22	0,06	40,37	66,36	-	-
Quebrada El Roble	0-25	5,0	8,78	0,45	42,28	73,79	0,038	24,80
	25-40	4,6	4,73	0,33	28,70	43,50	0,020	12,74
	40-50	4,8	2,72	0,17	21,28	42,11	0,009	8,16
Cerro Cayumanque	0-10	5,8	7,54	0,43	50,46	35,36	0,007	24,83
	10-21	5,4	5,23	0,11	52,96	5,91	0,009	12,20
	21-45	5,3	4,59	0,16	41,17	4,93	0,005	8,6
	> 45	5,4	4,35	0,13	54,83	3,43	0,003	6,8
Quebrada Rucaraquí	0-10	5,6	9,56	0,48	68,99	49,92	0,016	45,17
	10-36	5,6	7,04	0,40	62,50	30,30	-	-
	36-67	5,6	5,27	0,13	45,29	23,20	-	-
	> 67	5,2	4,79	0,13	44,54	15,54	-	-
Isla Mocha	0-25	4,8	10,76	0,54	61,00	35,48	0,018	13,20
	> 25	4,4	5,63	0,49	55,02	4,25	0,002	8,70
Fundo San Martín I	0-10	4,7	13,48	0,46	61,34	4,85	0,016	17,80
	10-49	5,1	6,34	0,14	56,70	0,49	-	-
	49-73	5,5	4,36	0,00	38,74	0,10	-	-
	> 73	5,7	4,15	0,00	38,17	0,26	-	-
Fundo San Martín II	0-10	4,4	18,51	0,68	35,82	13,33	0,012	31,49
	10-25	4,5	15,17	0,67	35,14	4,67	0,008	13,58
	25-40	4,8	9,93	0,37	28,04	1,46	0,000	3,30
	40-60	5,1	6,39	0,17	17,96	0,39	0,000	0,02
Hueicolla I	0-4	4,5	7,88	0,38	21,35	25,57	0,036	6,72
	4-12	4,2	6,74	0,23	23,10	9,70	0,025	0,98
	12-25	4,2	4,29	0,19	19,29	3,37	0,009	0,00
	25-35	4,2	3,02	0,06	15,75	2,16	0,002	0,00
	35-50	4,2	2,51	0,07	13,41	1,72	0,000	0,00
	50-61	4,3	1,96	0,03	11,66	1,54	0,000	0,00

Cont. Tabla 5.

Localidad	Profundidad	pH (CaCl ₂)	% C	% N	CIC (meq/100g suelo)	%SB	P (mg/100g suelo)	K
Hueicolla II	0-4	4,2	9,23	0,57	33,92	22,49	0,026	12,62
	4-10	4,0	12,44	0,36	32,87	10,92	0,016	5,52
	10-20	3,9	8,35	0,40	29,44	9,00	0,010	2,82
	37-48	4,2	3,50	0,11	13,02	3,69	0,002	0,68
Auquilda	0-6	3,9	37,39	1,06	33,29	27,94	0,097	41,80
	6-15	3,6	33,69	1,21	26,39	18,72	0,093	37,40
	15-25	3,7	28,50	1,09	24,15	10,85	0,053	31,32
	25-50	3,9	25,99	0,93	23,84	6,04	0,039	23,28
	50-73	4,3	22,39	0,95	23,94	4,22	0,025	17,00
	73-80	4,3	14,77	0,55	29,05	1,76	0,005	6,30
Pastahué	0-12	4,9	5,70	0,25	44,54	10,30	0,017	15,65
	12-67	5,0	3,91	0,19	40,11	0,77	-	-
	> 67	5,4	1,41	0,16	29,42	0,64	-	-
Abtao	0-10	4,4	9,95	0,71	66,93	29,72	0,017	11,80
	10-49	4,2	4,97	0,30	53,14	5,36	0,001	2,50
Isla Aíao	0-30	4,9	10,06	0,79	90,38	36,65	0,008	8,30
	> 30	5,0	5,28	0,31	55,95	13,69	0,000	2,80
Isla Guapiquillán I	0-10	5,6	19,17	0,99	39,42	86,65	0,100	26,17
Isla Guapiquillán II	0-10	3,8	27,02	1,23	34,82	43,17	0,266	20,67
Isla Guafo	0-12	6,1	12,47	0,81	80,90	82,25	0,094	38,10
	12-35	6,2	2,70	0,18	47,15	62,23	0,007	44,20
	> 35	6,1	2,41	0,12	28,17	48,72	0,006	41,10

constituyen los suelos de las localidades de Zapallar, Cayumanque y Auquilda, en las cuales se produce un aumento de la CIC en el horizonte más profundo, apartándose de la tendencia normal de disminución de este parámetro hacia los horizontes más profundos. El porcentaje de saturación de bases también disminuye con la profundidad en todas las localidades; la única excepción la constituye el manchón boscoso de Fray Jorge IVA, en donde aumenta abruptamente en el horizonte más profundo. La misma tendencia de disminución hacia los horizontes más profundos se observa para el fósforo y potasio intercambiables en todas las localidades de estudio.

La disminución de los contenidos de materia orgánica y de nutrientes hacia los horizontes más profundos evidenciaría que el aporte de nutrientes a los suelos del bosque de "olivillo" proviene principalmente de la materia orgánica.

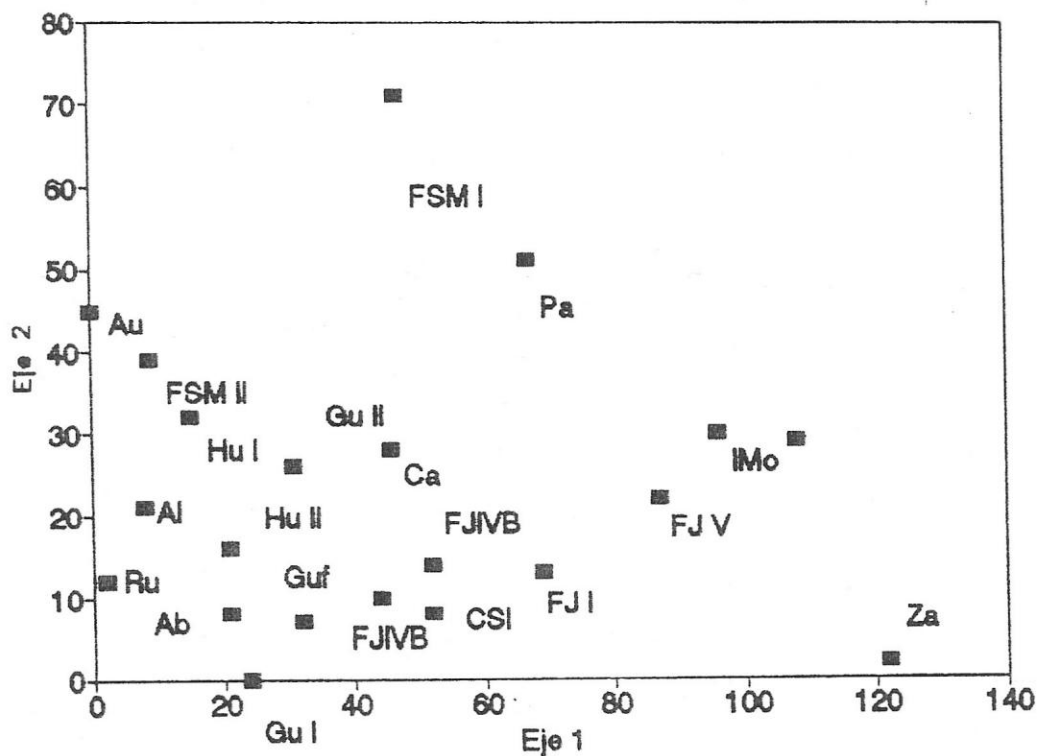
En cuanto al pH, se produce un aumento con la profundidad de este parámetro en las siguientes localidades: En los tres manchones boscosos de Fray Jorge, Fundo San Martín, Auquilda, Pastahué y en la isla Alao. Una disminución con la profundidad se produce en las localidades de Zapallar, Cerro Cayumanque, Rucaraquí e isla Mocha. En las localidades de cerro Santa Inés, Hueicolla I e isla Guafo, el pH se mantiene constante en todo el perfil; en la quebrada El Roble y Hueicolla II se produce una disminución en el

horizonte Bv y luego aumenta nuevamente en el horizonte Bv-C. En los suelos que no han sido perturbados, la tendencia general es de aumento del pH con la profundidad debido a que el lavado de bases es más intenso en los horizontes superficiales del perfil.

2.5 Ordenamiento de los bosques estudiados según las propiedades químicas del suelo superficial y su relación con las variables climáticas.

Se realizó un análisis de componentes principales para ordenar las localidades estudiadas considerando las propiedades químicas del suelo superficial (Fig. 17). El eje 1 que explica un 75,4% y el eje 2 un 16,0% de la variabilidad de los datos. En el extremo derecho del eje 1 se disponen las localidades del Norte Chico y la zona central (Zapallar y Quebrada El Roble); hacia el centro del eje 1 la isla Mocha y los manchones boscosos más xéricos de Fray Jorge (I y V). Hacia la izquierda del eje 1 se disponen las localidades del sur de Chile, principalmente los lugares oceánicos (Abtao e islas Guapiquilán y Guafo) y los manchones boscosos más higrófilos de Fray Jorge (IV A y IV B), y el bosque "relictivo" del cerro Santa Inés. Al extremo izquierdo del eje 1 las localidades de Alao, Auquilda y Rucaraqui. Los bosques del Fundo San Martín I y Pastahué,

Figura 17: Ordenamiento de las localidades de estudio según análisis Decorana de las variables químicas edáficas. En la Tabla Fitosociológica (Anexo 1) se entregan los códigos de las localidades.



situados en la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, se disponen en el extremo superior del eje 2.

El eje 1 representaría el gradiente de méxico a xérico. Es interesante destacar que los suelos superficiales de los bosques relictos de Fray Jorge y Cerro Santa Inés muestran una mayor afinidad en el eje 1 con los del sur de Chile, como es el caso del suelo de la Isla Guafo, que con los de la zona central más cercanos geográficamente.

Para detectar cuáles variables climáticas afectan mayormente las propiedades químicas del suelo superficial de las localidades estudiadas, se realizó un análisis de correlación entre los valores de los ejes 1 y 2 del análisis de componentes principales para los sitios, con las variables climáticas. En la Tabla 6 se observa que existe una correlación estadísticamente significativa entre los valores de los ejes 1 y 2 con las siguientes variables climáticas: precipitación y temperatura media anual, temperatura promedio y mínima promedio de verano y temperatura máxima y mínima promedio de invierno. El porcentaje de precipitaciones invernales, temperaturas mínima media de verano e invierno y media de invierno se correlacionan significativamente con el eje 2.

Tabla 6: Índices de correlación (r) entre los valores de los ejes 1 y 2 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).
 * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$.

Variables	Eje 1	Eje 2
Precipitación promedio anual	0,52***	0,10n.s
% precipitaciones invernales	0,01n.s	0,26*
% precipitaciones estivales	0,00n.s	0,00n.s
Temperatura promedio anual	0,37**	0,00n.s
Temperatura máxima media de verano	0,17n.s	0,01n.s
Temperatura media de verano	0,22*	0,02n.s
Temperatura mínima media de verano	0,29*	0,20*
Temperatura máxima media de invierno	0,29*	0,03n.s
Temperatura media invierno	0,35**	0,20*
Temperatura mínima media de invierno	0,20*	0,30*

3. Interacción vegetación-suelo: Efectos de la calidad del follaje, hojarasca y distribución espacial de los árboles en las características químicas del suelo superficial del bosque de "olivillo".

3.1 Contenido de fósforo e índices C/N y Ca/K de las hojas:
Grado de esclerofilia.

De acuerdo a los antecedentes de la literatura el grado de esclerofilia de las hojas ha sido correlacionado con los siguientes parámetros químicos:

	Baja esclerofilia	Alta esclerofilia
%P	Alto	Bajo
Ca/K	Baja	Alta
C/N	Baja	Alta

Por lo tanto, estos parámetros químicos pueden ser utilizados como índices de esclerofilia de las hojas.

En la Tabla 7 se muestran los valores promedio obtenidos para los diferentes índices de esclerofilia (C/N, Ca/K y %P) de las hojas de las especies más frecuentes de los bosques de "olivillo". Las especies Aextoxicon punctatum y Cryptocarya alba presentan los valores mayores del índice C/N, denotando así mayores grados de esclerofilia de sus

Tabla 7: Valores promedio de los índices de esclerofilia de las hojas de las especies más frecuentes del bosque de "olivillo". Pares de especies con letras iguales, indican que no existen diferencias significativas entre los valores. (Significancia del 5%, según el test de Tukey. Para el %P no se obtuvo diferencias significativas. Entre paréntesis se indican las desviaciones standard.)

Especies	C/N	Ca/K	% P
<u>Aextoxicon punctatum</u>	57.07 a,e (9.13)	2.06 a,c (0.67)	0.1 (0.03)
<u>Rhaphithamnus spinosus</u>	27.28 b (3.95)	0.74 b,c (0.13)	0.16 (0.06)
<u>Myrceugenia planipes</u>	41.42 c,d (7.32)	1.19 b (0.51)	0.10 (0.03)
<u>Myrceugenia corneifolia</u>	47.25 a,c,d,e (3.34)	0.61 b,c (0.31)	0.15 (0.06)
<u>Laurelia philippiana</u>	36.42 b,c,d (5.31)	0.81 b,c (0.37)	0.10 (0.03)
<u>Drimys winteri</u>	43.92 (13.66)	0.31 b,c (0.10)	0.10 (0.04)
<u>Cryptocarya alba</u>	67.79 a,e (19.84)	0.85 c (0.09)	0.19 (0.12)

hojas.

Rhaphithamnus spinosus presenta valores significativamente menores del índice de esclerofilia en comparación con Myrceugenia planipes y Myrceugenia correifolia.

Para el índice Ca/K, el mayor valor obtenido lo presentan las hojas de Aextoxicon punctatum.

El contenido de fósforo foliar no varía significativamente entre las especies comparadas.

En el Anexo 3 se entregan los valores determinados en cada localidad de estudio.

3.2 Relación entre la esclerofilia del follaje con el grado de mineralización potencial del nitrógeno del suelo.

Los parámetros químicos indicadores del grado de esclerofilia del follaje de las distintas especies fueron relacionados con el grado de mineralización potencial del nitrógeno del suelo superficial bajo las agrupaciones monoespecíficas.

Rhaphithamnus spinosus, con bajos valores (C/N y Ca/K) de los índices de esclerofilia de sus hojas (Tabla 7), presenta los más altos valores relativos de mineralización del nitrógeno en las localidades en que está presente: Fray Jorge IVA (Fig. 18), Isla Mocha (Fig. 19), e Isla Guafo (Fig. 20). Por el contrario, Aextoxicon punctatum, con los

Figura 18: Mineralización potencial del nitrógeno en ensayos de incubación del suelo superficial bajo agrupaciones mono-específicas de las localidades de Fray Jorge y Zapallar. Ap: Aextoxicon punctatum, Mc: Myrceugenia correifolia, Rs: Rhaphithamnus spinosus, Dw: Drimys winteri, Ca: Cryptocarya alba, Mob: Myrceugenia obtusa.

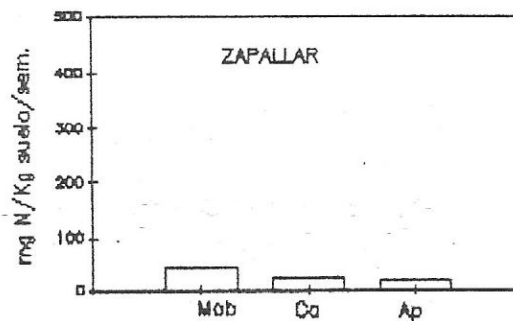
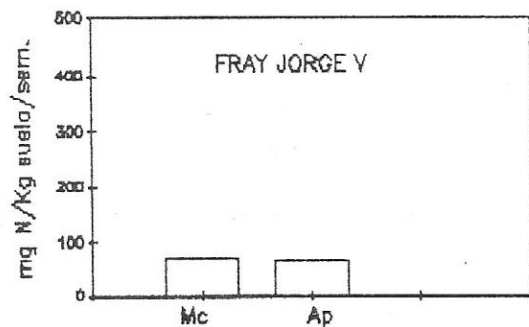
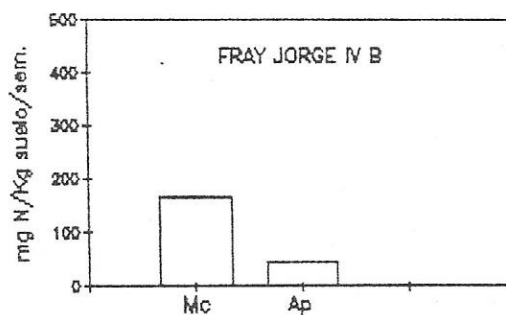
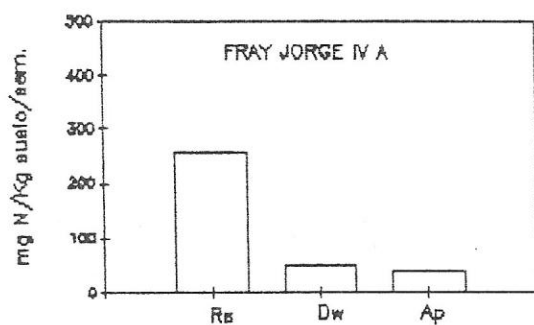


Figura 19: Mineralización potencial del nitrógeno en ensayos de incubación del suelo superficial bajo agrupaciones mono-específicas de las localidades; Quebrada El Roble, Isla Mocha, Fundo San Martín y Auquilda. Ap: Aextoxicon punctatum, Ca: Cryptocarya alba, Rs: Rhaphithamnus spinosus, Mp: Myrceugenia planipes, Lp: Laurelia philippiana, Ec: Eucryphia cordifolia, Ga: Gevuina avellana.

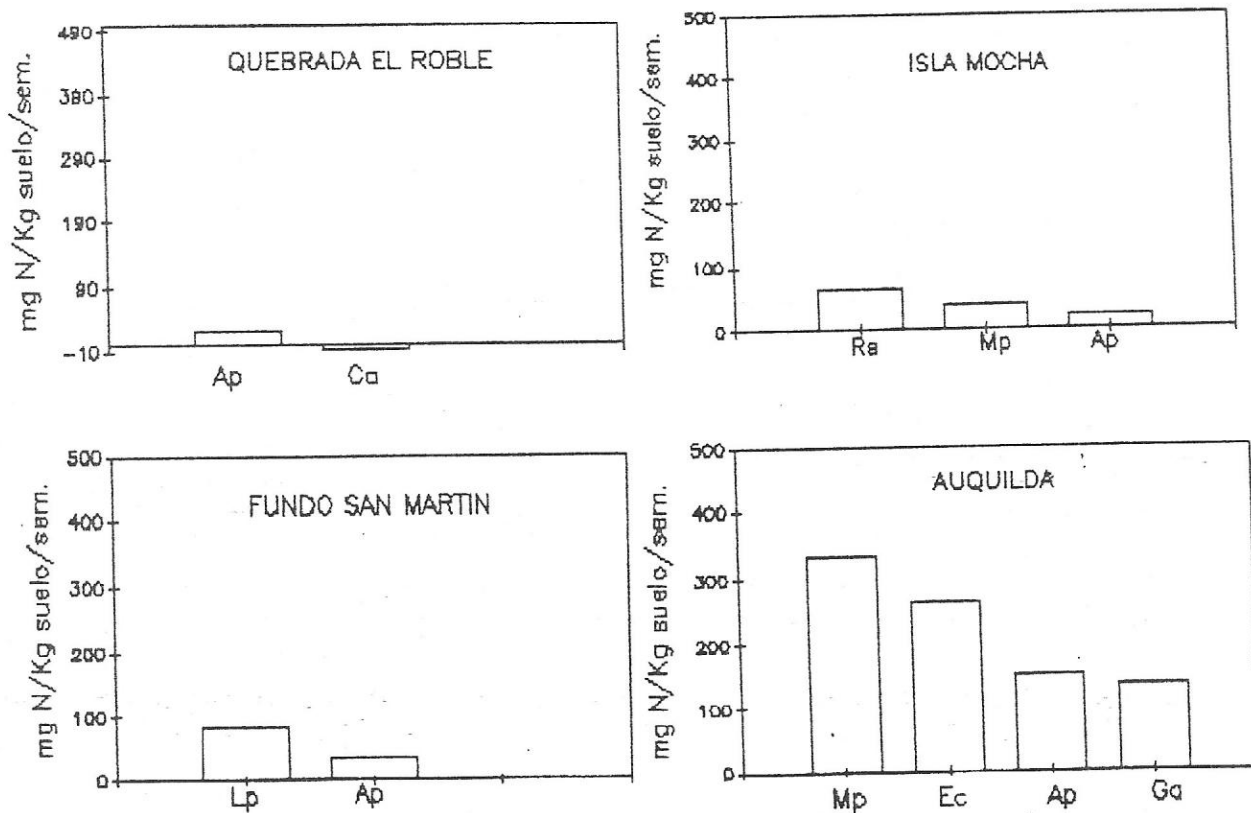
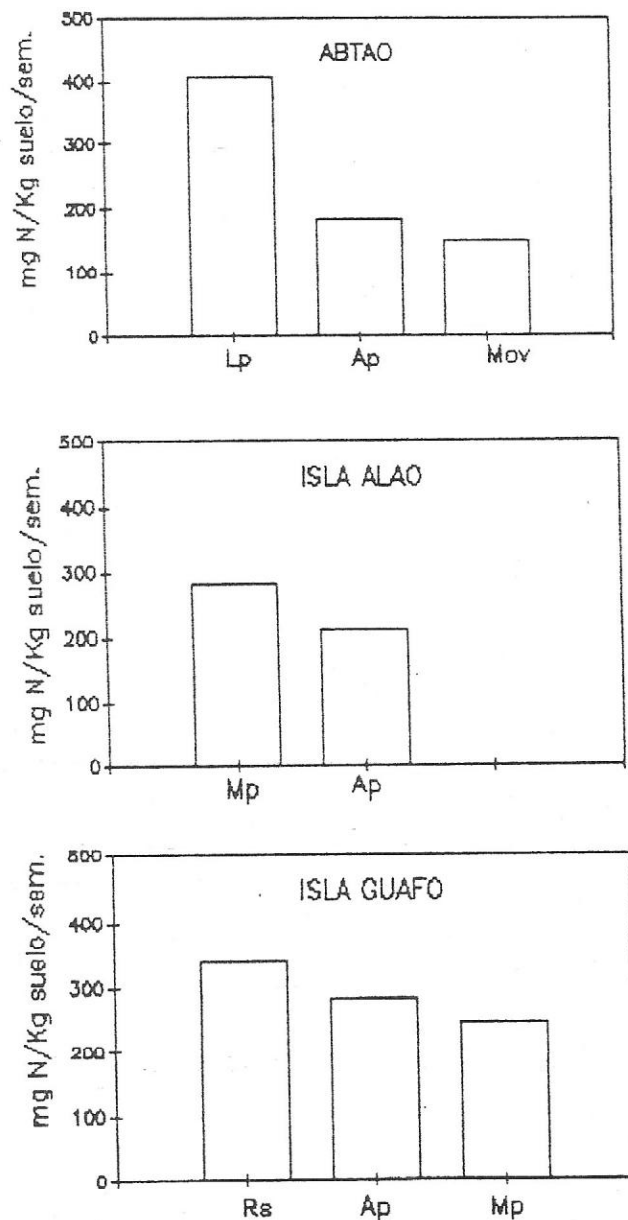


Figura 20: Mineralización potencial del nitrógeno en ensayos de incubación del suelo superficial bajo agrupaciones monoespecíficas de las localidades; Abtao, Isla Alao e Isla Guafo. Lp: Laurelia philippiana, Ap: Aextoxicon punctatum, Mov: Myrceugenia ovata, Mp: Myrceugenia planipes, Rs: Rhaphithamnus spinosus.



más altos valores (C/N y Ca/K) de los índices de esclerofilia en sus hojas (Tabla 7), presenta valores relativamente bajos de mineralización potencial del nitrógeno, en las localidades de Fray Jorge IVA y IVB; Zapallar (Fig. 18); Isla Mocha; Fundo San Martín y Auquilda (Fig. 19); Abtao e Isla Alao en Chiloé (Fig. 20).

Cryptocarya alba, que también presenta un alto valor de la relación C/N de sus hojas, presenta relativamente bajos grados de mineralización potencial del nitrógeno. Esto se observa en las dos localidades en las cuales crece: Zapallar (Fig. 18) y Quebrada El Roble (Fig. 19).

Las hojas de las Mirtáceas (Myrceugenia correifolia, Myrceugenia ovata, Myrceugenia planipes y Myrceugenia obtusa), con índices relativamente intermedios de esclerofilia para la relación C/N y Ca/K (Tabla 7), se asocian con grados relativos de mineralización del nitrógeno también intermedios. Esto se observa para Myrceugenia correifolia en las localidades de Fray Jorge (Fig. 18); para Myrceugenia obtusa en la localidad de Zapallar (Fig. 18); para Myrceugenia planipes en Isla Mocha (Fig. 19) e isla Guafo (Fig. 20) y para Myrceugenia ovata en Abtao (Fig. 20). Laurelia philippiana que también tiene índices de esclerofilia intermedios en sus hojas (Tabla 7), presenta altos grados relativos de mineralización potencial de nitrógeno en las dos localidades en que se encontró:

Fundo San Martín (Fig. 19) y Abtao en Chiloé (Fig. 20).

En el Anexo 4 se entregan los resultados obtenidos para cada localidad de estudio.

3.3 Relación entre la calidad de la hojarasca y el grado de mineralización potencial del nitrógeno del suelo superficial.

Debido a que la mayor proporción de la hojarasca corresponde a las hojas, los parámetros usados como índices de esclerofilia también pueden ser utilizados como índices de la calidad de la hojarasca.

Potencial de descomposición

	Alto	Bajo
%P	Alto	Bajo
C/N	Baja	Alta

Rhaphithamnus spinosus, con bajos índices relativos de esclerofilia en sus hojas y el más alto grado relativo de mineralización potencial del nitrógeno en el suelo, presenta hojarasca con valores significativamente altos del contenido de fósforo, es decir un alto potencial de descomposición. Esto se observa en las localidades de Fray Jorge IVA (Fig. 21), Isla Mocha (Fig. 22) e isla Guafo (Fig. 23). Por el

Figura 21: Porcentaje de fósforo de la hojarasca bajo agrupaciones mono-específicas en las localidades de Fray Jorge y Zapallar. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) según el test de Tukey. Rs: Rhaphithamnus spinosus, Dw: Drimys winteri, Ap: Aextoxicon punctatum, Mc: Myrceugenia correifolia, Ca: Cryptocarya alba.

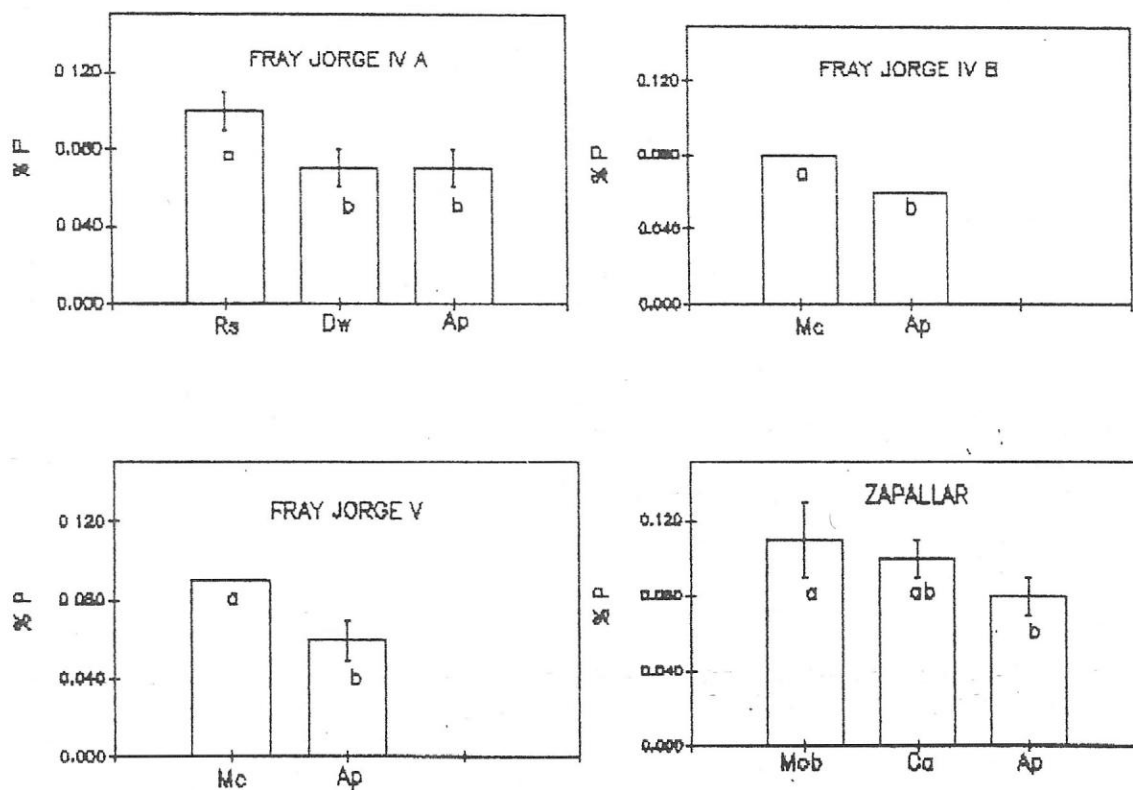


Figura 22: Relación C/N y porcentaje de fósforo de la hojarasca bajo agrupaciones monoespecíficas en las localidades; Quebrada El Roble, Cayumanque, Isla Mocha y Auquilda. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) según el test de Tukey. Ca: Cryptocarya alba, Ap: Aextoxicon punctatum, La: Luma apiculata, Dw: Drimys winteri, Rs: Rhaphithamnus spinosus, Mp: Myrceugenia planipes, Ga: Gevuina avellana, Ec: Eucryphia cordifolia.

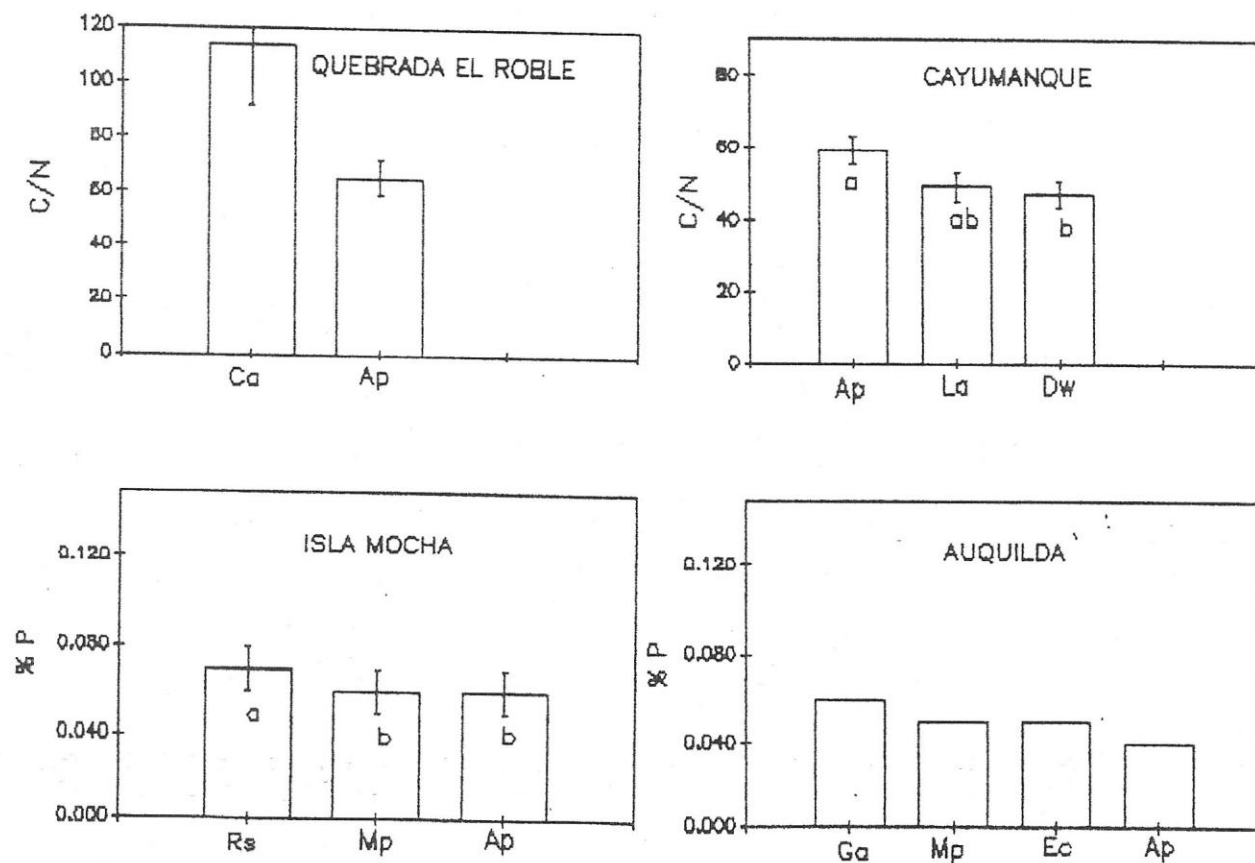
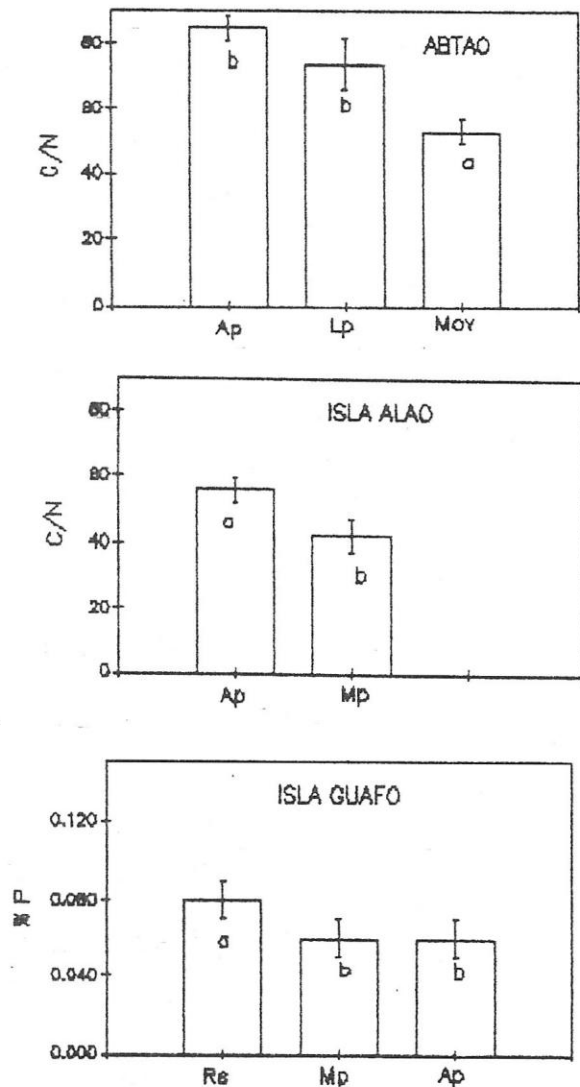


Figura 23: Relación C/N y porcentaje de fósforo de la hojarasca bajo agrupaciones mono-específicas en las localidades; Abtao, Isla Alao e Isla Guafo. Letras distintas indican diferencias significativas (P 0,05) según el test de Tukey. Ap: Aextoxicon punctatum, Lp: Laurelia philippiana, Mov: Myrceugenia ovata, Mp: Myrceugenia ovata, Mp: Myrceugenia planipes, Rs : Rhaphithamnus spinosus.



contrario, las especies Aextoxicon punctatum y Cryptocarya alba, con altos índices de esclerofilia de sus hojas y bajos valores de mineralización potencial del nitrógeno, presentan bajos contenidos de fósforo en su hojarasca. Esto se observó en las localidades de: Fray Jorge IVA, IVB y V y Zapallar (Fig. 21); Isla Mocha y Auquilda (Fig. 22) e Isla Guafo (Fig. 23). Para el caso de la relación C/N se obtuvieron valores concordantes con los contenidos de fósforo. Altos valores de la relación C/N en la hojarasca de las especies de follaje más esclerófilo como Cryptocarya alba en Quebrada El Roble (Fig. 22) y Aextoxicon punctatum en Cayumanque (Fig. 22), Alao y Abtao (Fig. 23).

Las especies de Mirtáceas con índices relativos intermedios de esclerofilia en sus hojas y altos grados relativos de mineralización potencial del nitrógeno, presentan altos porcentajes de fósforo en su hojarasca, es decir alto potencial de descomposición. Este es el caso de Myrceugenia correifolia en Fray Jorge IVB y V (Fig. 21); de Myrceugenia obtusa en Zapallar (Fig. 21); de Myrceugenia planipes en Isla Mocha y Auquilda (Fig. 22) y en Isla Guafo (Fig. 23).

En el Anexo 5 se entregan los resultados obtenidos para cada localidad de estudio.

3.4 Relación entre el contenido de nutrientes del follaje y los contenidos totales y disponibles de la hojarasca y del suelo superficial.

Para analizar los efectos del tipo de follaje en los parámetros químicos del suelo superficial, se utilizó al "olivillo", única especie que presenta altas frecuencias a lo largo de todo el gradiente latitudinal estudiado.

Los resultados muestran que no existe una correlación estadísticamente significativa entre el nitrógeno y fósforo foliar del "olivillo" con la mineralización potencial del nitrógeno orgánico del suelo superficial (Nmin Ah) (Tabla 8). Tampoco existe relación entre la mineralización potencial del nitrógeno orgánico con los contenidos totales de nitrógeno y fósforo, ni con la relación C/N de la hojarasca.

Existe correlación entre el nitrógeno foliar con el nitrógeno total de la hojarasca y entre el fósforo foliar con los valores del índice C/N de la hojarasca: Mayores contenidos de nitrógeno y fósforo totales en el follaje determinan mayores contenidos de nitrógeno total y valores bajos del índice C/N en la hojarasca, respectivamente. Esta hojarasca es más susceptible de ser mineralizada por los microorganismos. Sin embargo, no se disponen de ensayos de incubación de la hojarasca para corroborar estos resultados.

Tabla 8: Índices de correlación (r) entre las variables químicas de los horizontes superficiales (Ah y Oi) del suelo y la composición química del follaje del "olivillo".

Variables correlacionadas	r	P
Correlaciones entre %N foliar y:		
N min Ah	-0,059	n.s.
%N hojarasca	0,592	< 0,01
CIC Ah	0,175	n.s.
Correlaciones entre %P foliar y:		
N min Ah	0,092	n.s.
C/N hojarasca	-0,607	< 0,01
CIC Ah	-0,122	n.s.
Correlaciones entre N min Ah y:		
%P hojarasca	-0,390	n.s.
%N hojarasca	0,057	n.s.
C/N hojarasca	-0,050	n.s.
%P hojarasca vs. P dis. Ah	0,749	< 0,01
Ca/K foliar vs. CIC Ah	-0,484	< 0,05
% cenizas hojarasca vs %SB Ah	0,517	< 0,05

Los resultados muestran una correlación negativa significativa entre la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el índice Ca/K del follaje del "olivillo" (Tabla 8). En otras palabras, mientras mayor es la relación Ca/K en el follaje (mayor grado de esclerofilia), menor es la CIC del suelo superficial. El follaje del "olivillo" presenta relaciones Ca/K altas, es decir es muy esclerófilo, sería por ello más resistente a ser mineralizado por los microorganismos del suelo; este último hecho determinaría una menor liberación de nutrientes de la hojarasca hacia el suelo, y con ello una mayor pobreza de nutrientes en el suelo; expresada en los bajos valores CIC.

Los resultados muestran que existe correlación positiva significativa entre el contenido de fósforo disponible en el suelo superficial con el contenido de fósforo total de la hojarasca (Tabla 8). Luego, los altos contenidos de fósforo en la hojarasca determinan un buen suministro de fósforo disponible al suelo superficial. También existe correlación positiva significativa entre el contenido de cenizas de la hojarasca y el porcentaje de saturación de bases del suelo superficial (Tabla 8). Luego, mientras mayor es el contenido de minerales en la hojarasca, (por ejemplo calcio, magnesio, sodio y potasio) mayor es su aporte al horizonte mineral Ah.

3.5 Distribución espacial de las especies y heterogenidad química del suelo.

En la Tabla 9 se muestran los resultados del análisis de la distribución espacial de las especies en los sitios de estudio. En la mayoría de las localidades predomina la distribución agrupada. Se observa el caso en que las especies presentan una distribución agrupada, pero no existe diferenciación en los suelos, como en la localidad de Fundo San Martín y la Isla Alao. También existe el caso en que una de las especies presenta una distribución al azar y sin embargo existe diferenciación química en los suelos, como por ejemplo en Fray Jorge IVA, IVB y Abtao. También se da el caso en que todas las especies presentan una distribución agrupada y existe una alta diferenciación en los parámetros químicos del suelo como es el caso de cerro Cayumanque.

Se puede concluir que la distribución espacial de las especies no explica las diferencias en los parámetros químicos del suelo superficial, bajo las diferentes especies que componen el bosque.

En el Anexo 6 se entrega la diferenciación del suelo superficial entre pares de especies para cada parámetro químico, bajo agrupaciones monoespecíficas en las localidades estudiadas.

Tabla 9: Índices de distribución espacial de las especies más frecuentes del bosque de "olivillo".

P= Probabilidad de que la distribución observada difiera de la esperada si los individuos se distribuyen al azar. Índice alfa= $A = lw$, en donde, l= densidad de un círculo de radio 1, w= media de las distancias elevadas al cuadrado.

Si $A < 1$, la distribución es regular, si $A > 1$, la distribución es agrupada.

% de diferenciación= proporción de los 7 parámetros químicos examinados (Anexo 8) que muestran diferencias estadísticamente significativas entre las especies.

Localidad	Especie	P	A	Distribución espacial	% de diferenciación
Fray Jorge IV A	<u>Aextoxicon punctatum</u>	> 0,05	1,36	Azar	29
	<u>Rhaphithamnus spinosus</u>	< 0,001	1,90	Agrupada	
	<u>Drimys winteri</u>	< 0,001	4,59	Agrupada	
Fray Jorge IV B	<u>Aextoxicon punctatum</u>	< 0,001	1,49	Agrupada	29
	<u>Myrceugenia correaefolia</u>	> 0,10	1,13	Azar	
Fray Jorge V	<u>Aextoxicon punctatum</u>	< 0,001	1,96	Agrupada	0
	<u>Myrceugenia correaefolia</u>	< 0,001	2,69	Agrupada	
	<u>Drimys winteri</u>	> 0,30	1,04	Azar	
Zapallar	<u>Aextoxicon punctatum</u>	< 0,001	2,32	Agrupada	29
	<u>Cryptocarya alba</u>	< 0,001	4,68	Agrupada	
	<u>Myrceugenia obtusa</u>	< 0,001	2,54	Agrupada	
Quebrada El Roble	<u>Aextoxicon punctatum</u>	< 0,001	1,39	Azar	14
	<u>Cryptocarya alba</u>	< 0,001	2,66	Agrupada	
Cerro Cayumanque	<u>Aextoxicon punctatum</u>	< 0,001	2,87	Agrupada	57
	<u>Luma apiculata</u>	> 0,20	1,06	Azar	
	<u>Drimys winteri</u>	< 0,001	1,46	Agrupada	
Quebrada Rucaraqui	<u>Aextoxicon punctatum</u>	< 0,001	1,43	Agrupada	100
	<u>Myrceugenia planipes</u>	< 0,001	3,92	Agrupada	
	<u>Laurelia phillopiana</u>	< 0,001	2,44	Agrupada	
Isla Mocha	<u>Aextoxicon punctatum</u>	< 0,001	1,70	Agrupada	43
	<u>Myrceugenia planipes</u>	< 0,001	3,56	Agrupada	
	<u>Rhaphithamnus spinosus</u>	< 0,001	1,72	Agrupada	
Fundo San Martín	<u>Aextoxicon punctatum</u>	< 0,001	1,50	Agrupada	0
	<u>Laurelia phillopiana</u>	< 0,001	2,01	Agrupada	
Pastahué	<u>Aextoxicon punctatum</u>	< 0,001	1,47	Agrupada	57
	<u>Rhaphithamnus spinosus</u>	< 0,001	1,46	Agrupada	
Auquilda	<u>Aextoxicon punctatum</u>	> 0,90	0,99	Azar	29
	<u>Myrceugenia planipes</u>	< 0,001	3,70	Agrupada	
	<u>Gevuina avellana</u>	< 0,001	3,24	Agrupada	
	<u>Eucryphia cordifolia</u>	< 0,001	1,90	Agrupada	
Abtao	<u>Aextoxicon punctatum</u>	< 0,001	1,54	Agrupada	71
	<u>Myrceugenia ovata</u>	> 0,025	1,07	Azar	
	<u>Laurelia phillopiana</u>	> 0,10	1,38	Azar	
Isla Alao	<u>Aextoxicon punctatum</u>	< 0,001	1,97	Agrupada	0
	<u>Myrceugenia planipes</u>	< 0,001	1,74	Agrupada	
Isla Guafo	<u>Aextoxicon punctatum</u>	< 0,001	1,17	Agrupada	0
	<u>Myrceugenia planipes</u>	> 0,70	0,94	Azar	
	<u>Rhaphithamnus spinosus</u>	< 0,001	1,77	Agrupada	

3.6 Relación entre la composición florística y los parámetros químicos del suelo.

Para determinar cuáles variables químicas del suelo estarían determinando el ordenamiento florístico de las localidades (Fig. 9), se correlacionaron los valores del eje 1 para cada sitio de los componentes principales de la flora con los valores de los parámetros químicos del suelo superficial (Anexo 7).

Existe una correlación estadísticamente significativa entre los valores del eje 1 del ordenamiento florístico con el porcentaje de saturación de bases, contenido de calcio intercambiable y relación C/N del suelo superficial (Tabla 10). El porcentaje total de carbono y el pH se correlacionaron significativamente con el eje 1 sólo al considerar en el análisis la cobertura de las especies arbóreas. Se concluye que los parámetros químicos del suelo superficial que mejor se asocian con la composición florística del bosque de "olivillo" son: porcentaje de saturación de bases y contenido de calcio intercambiable, que están siempre correlacionadas con el pH del suelo.

Tabla 10: Índices de correlación entre los valores del eje 1 del análisis Decorana, al ingresar la cobertura de la vegetación (A) y de las especies arbóreas (B) con las variables químicas del suelo superficial de los bosques de "olivillo" (17 grados de libertad).

*= P < 0,05; **= P < 0,01; ***=P < 0,001.

	A Eje 1	B Eje 1
pH	0.12n.s	0.28*
%Ct	0.19n.s	0.27*
%Nt	0.00n.s	0.04n.s
C/N	0.30*	0.22*
Nmin	0.11n.s	0.19n.s
%SB	0.56***	0.25*
CIC	0.11n.s	0.15n.s
Ca int.	0.54***	0.28*
Mg int.	0.07n.s	0.02n.s
K int.	0.02n.s	0.00n.s
Na int.	0.00n.s	0.00n.s

DISCUSION Y CONCLUSIONES

1. Interacción clima-suelo-vegetación: Macroescala espacial

1.1 Interacción clima-vegetación

El análisis florístico, utilizando el método fitosociológico y el ordenamiento de especies según el análisis Decorana, mostraron agrupaciones concordantes de especies asociadas principalmente a las variables precipitación promedio anual, temperatura máxima de invierno y porcentaje de precipitaciones invernales. Considerando su composición florística, las unidades de vegetación obtenidas en ambos análisis pueden ser incluidas en tres asociaciones descritas previamente por OBERDORFER (1960): Peperomio-Aextoxiconetum, Nothofago-Perseetum y Lapaqerio-Aextoxiconetum.

Los bosques situados en los extremos distribucionales norte y sur, presentaron una alta similitud en cuanto a cobertura y composición florística de especies arbóreas, ubicándose en un mismo grupo en el ordenamiento tanto de las especies como de las localidades. Al considerar las especies del sotobosque destacan estas localidades como una

asociación particular, por las altas coberturas que alcanzan las especies endémicas.

1.2 Interacción clima-suelo

Las variables químicas del suelo superficial de los bosques de "olivillo" se ordenan en un gradiente a lo largo del eje 1 en el análisis Decorana, que puede ser interpretado como un gradiente desde xérico a mésico. El análisis de correlación muestra que las variables climáticas que más se correlacionan con el el eje 1 del análisis Decorana son la precipitación promedio anual, la temperatura media anual y la temperatura media de invierno.

El análisis individual de las variables climáticas y el análisis de factores indican que un mayor monto de precipitaciones promedio anuales y menores temperaturas promedio anuales se asocia a suelos con menores porcentajes de saturación de bases, mayor acumulación de carbono, mayor relación C/N y menor pH del suelo superficial.

Las localidades situadas en los extremos distribucionales (Fray Jorge e Isla Guafo), presentan suelos muy similares en cuanto a las características químicas de sus suelos, como son su pH y contenido total de carbono, ubicándose cercanas en el análisis Decorana.

Los mecanismos que explicarían los procesos químicos edáficos son los siguientes: El aumento de materia orgánica hacia el sur debido las menores temperaturas determinaría un mayor grado de disociación de los protones de los grupos hidroxilos del humus, los cuales, al actuar como un ácido débil disminuirían el pH del suelo. En bosques europeos se ha mostrado que la tasa de producción de protones, debido a la acumulación de materia orgánica, puede alcanzar los 0,4-0,8 kmol/ha/año, aún cuando el ingreso de protones por la lluvia ácida puede ser equivalente (ULRICH, 1987). Al proceso de acidificación, como producto de la acumulación de materia orgánica, se suma el mayor lavado de cationes básicos desde el complejo de intercambio del suelo causado por el aumento de las precipitaciones en dirección al sur. Considerando que el ácido más débil que existe en la naturaleza es el agua, los suelos que se desarrollan bajo constantes precipitaciones estarían sujetos a un proceso intensa acidificación, el cual sería controlado por la capacidad de tampón que tienen los suelos. Los suelos estudiados se encuentran en el ámbito tampón de los "silicatos" (pH= 5.0-6.2) y del "complejo de intercambio" (pH= 4.2-5.0) (ULRICH, 1981; MEIWES et al., 1984), los cuales actúan de la siguiente manera. Con la intemperización de los silicatos, por acción del agua y del ácido carbónico, son liberados cationes básicos y ácido silíceo. De esta

forma son utilizados los protones al ser transformados en un ácido débil. Mientras la perturbación del ácido, en este caso las frecuentes e intensas precipitaciones, se mantenga bajo la tasa en que ocurre el proceso tampón, el suelo no se acidifica, es decir, mientras el ingreso de protones se mantenga bajo la velocidad del proceso de neutralización. Sin embargo, si las precipitaciones se hacen más intensas y sobrepasan la velocidad del proceso tampón, entra en acción el próximo sistema que actúa a pH más ácidos; el del "complejo de intercambio". En el ámbito tampón del "complejo de intercambio", los ácidos son neutralizados a través de la liberación de iones de aluminio desde las arcillas y su intercambio por protones, formando polímeros de iones de hidróxido de aluminio, los cuales se depositan posteriormente entre los estratos de las arcillas. La capacidad de intercambio catiónico disminuye y los cationes básicos intercambiables son lavados junto con el anión del ácido que provoca la acidificación, en este caso el grupo hidroxilo. La disminución de la CIC se debería entonces a la acumulación de polímeros de hidróxidos de aluminio en las arcillas, lo que traería como consecuencia el bloqueo de los lugares de intercambio en las arcillas. Este mecanismo tampón se comprueba que está actuando en los suelos estudiados, ya que se observa una correlación negativa entre la CIC del suelo y la precipitaciones promedio anuales ($r = -$

0,76).

Los resultados sugieren que el contenido de nutrientes del follaje del "olivillo" es constante e independiente de la disponibilidad de nutrientes del suelo superficial. Aunque no se disponen de datos del grado de mineralización del nitrógeno "in situ", se puede predecir que las tasas promedio de mineralización en el sur de Chile deberían ser menores, debido a la disminución de la temperatura media. Esto permitiría la acumulación de materia orgánica en el suelo superficial y no afectarían los contenidos de nitrógeno foliares. Tampoco se detectaron diferencias en cuanto al contenido de fósforo foliar en las diferentes localidades, aunque las localidades del sur de Chile presentan en general menor concentración de fósforo disponible en el suelo superficial. Estos resultados pueden ser explicados postulando mecanismos de conservación de nutrientes por parte de la vegetación, que hacen más eficiente el uso de los nutrientes por las plantas, tales como: a) asociación con micorrizas, como es el caso de endomicorrizas ericoides descritas para el "olivillo" (GARRIDO, 1988). La asociación con micorrizas aumenta la superficie de absorción de la raíz, incrementando así la tasa de captación del fósforo. b) Asociaciones del follaje con flora epífila, como algas azules y líquenes con capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico (JORDAN,

1975), y c) Aumento de la relocalización de nutrientes desde estructuras senescentes, particularmente en sitios más pobres (VITOUSEK, 1982).

1.3 Interacción suelo-vegetación

El ordenamiento de los bosques de "olivillo" obtenido con el análisis de Decorana se correlaciona también con algunos parámetros químicos del suelo superficial, tales como: el porcentaje de saturación de bases, la concentración de calcio intercambiable, la relación C/N, el porcentaje de carbono y pH del suelo superficial. En otras palabras, a las tres asociaciones vegetacionales descritas en esta tesis, se asocian valores diferentes de estas variables edáficas.

Una probable explicación de estas diferencias en suelo y vegetación sería que el pH está afectando la composición de especies del bosque de "olivillo", en concordancia con los límites de tolerancia a la acidez de las distintas especies. Las especies con baja tolerancia a suelos con pH ácidos son excluidas. Para plántulas de Fagus sylvatica en Europa se ha mostrado que relaciones Ca/Al menores que 1 en cultivos, es decir pH bajos, causan una alta mortalidad de raíces (NEITZKE & RUNGE, 1985).

En Chile, las especies del bosque esclerófilo y del bosque caducifolio Maulino, al norte de los 38°S, son menos

acidófilas que las del Bosque Valdiviano, distribuidas al sur de los 38°S, sobre suelos más ácidos y con menor disponibilidad de bases en el complejo de intercambio.

Los resultados concuerdan con los encontrados por NEWBERY & PROCTOR (1983) para la pluviselva tropical de bajas altitudes en el Parque Nacional de Sarawak, en la isla de Borneo. Estos autores obtuvieron un ordenamiento de la vegetación de bosques asociado a cuatro variables químicas del suelo superficial: pH, contenidos de calcio y carbono y capacidad de intercambio catiónico del suelo superficial.

Estos resultados permiten suponer que tanto en los bosques tropicales de bajas altitudes como en las pluviselvas Valdiviana y Nordpatagónica, la lixiviación de bases en los suelos y la liberación de ácidos orgánicos en la descomposición de la materia orgánica, son procesos importantes en determinar el ciclo nutrientes en estos ecosistemas.

2. Interacción vegetación-suelo al nivel intracomunitario:
Microescala espacial.

En otras regiones del mundo ha sido ampliamente documentado cómo las especies arbóreas dominantes afectan las características químicas de los suelos (ZINKE, 1962; GRUBB et al., 1969). BINKLEY & RICHTER (1987) postulan que las especies arbóreas pueden afectar el balance de protones y la acidez del suelo por mecanismos tales como: 1) Efectos de la corona sobre las tasas de depositación de elementos; 2) fijación biológica del nitrógeno; 3) absorción de nutrientes y calidad de la hojarasca; y 4) efectos indirectos sobre los suelos de animales y microflora. Los resultados obtenidos en esta tesis corroboran parcialmente las hipótesis acerca de la influencia de la calidad del follaje y hojarasca en los parámetros químicos del suelo superficial del bosque de "olivillo" en Chile.

Los resultados obtenidos para el índice de esclerofilia en esta tesis muestran concordancia con lo encontrado por otros autores (ALBERDI et al. 1974): Aextoxicon punctatum y Cryptocarya alba presentan una alta esclerofilia, por otro lado, Rhaphithamnus spinosus, Laurelia philippiana y Drimys winteri una esclerofilia baja a intermedia. Myrceugenia planipes, en la que se ha encontrado una esclerofilia similar al "olivillo", en esta tesis presentó índices

intermedios de esclerofilia, diferencia que puede deberse a que en este estudio el muestreo consideró un rango latitudinal más amplio.

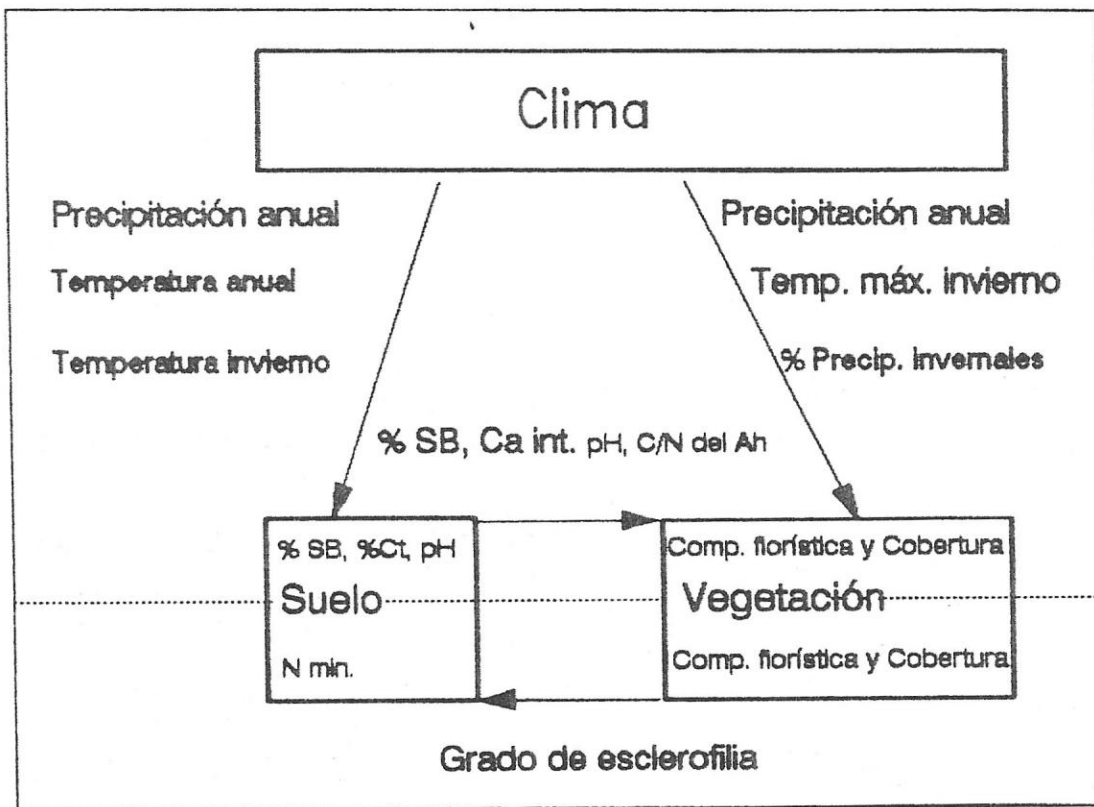
Las distintas características químicas del follaje y de la hojarasca de cada una de las especies asociadas al "olivillo" afectarían las características químicas del suelo superficial de la siguiente manera: 1) Las especies con hojas más esclerófilas (como el "olivillo" y el "peumo"), con altos índices Ca/K y C/N, y bajo contenido de fósforo foliar y mala calidad de la hojarasca, son más resistentes a ser mineralizadas por los microorganismos del suelo. 2) Las hojas con menores índices de esclerofilia como Rhaphithamnus spinosus presentan, en la mayoría de los casos, los mayores grados de mineralización potencial del nitrógeno orgánico de su suelo superficial y buena calidad de hojarasca. 3) Las hojas con grados intermedios de esclerofilia (como las Mirtáceas y Laurelia philippiana), en la mayoría de los casos presentan grados también intermedios de mineralización del nitrógeno de su suelo superficial y buena calidad de hojarasca.

Los resultados del grado de mineralización potencial del nitrógeno orgánico del suelo superficial del "olivillo" (a temperatura y humedad constantes), no muestran una dependencia de los contenidos de fósforo y nitrógeno de su follaje, como ha sido demostrado para bosques templados del

hemisferio norte (WEHRMANN, 1965; STARK, 1970; VITOUSEK et al., 1982; BOERNER, 1984). Por el contrario, la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de fósforo disponible del suelo superficial del "olivillo" si se correlaciona con variables de su follaje y su hojarasca. Los resultados muestran que el grado de esclerofilia de su follaje (relación Ca/K) se correlaciona negativamente con la capacidad de intercambio catiónico del suelo superficial; y la calidad de su hojarasca (%P) se relaciona positivamente con el fósforo disponible en el suelo superficial. Este resultado fue corroborado en el análisis de factores de las variables químicas del suelo, hojarasca y follaje; los resultados muestran que el follaje con altos índices C/N, alto índice de esclerofilia, se correlaciona con un bajo grado de mineralización potencial del nitrógeno del suelo superficial.

En síntesis, se propone un modelo gráfico que resume los procesos de la interacción del clima-suelo-vegetación (Fig. 24), tanto a una macroescala latitudinal, como a una microescala intracomunitaria en el bosque de "olivillo". El clima es el factor que está gobernando los procesos hacia los compartimentos inferiores, y en este caso es posible establecer una clara relación causa-efecto, en la cual el clima está determinando la composición florística del bosque de "olivillo", como asimismo el gradiente en los parámetros

Figura 24: Modelo de interacción clima-suelo-vegetación postulado para los bosques de "olivillo" de la Cordillera de la Costa de Chile. Las variables señaladas junto a las flechas son las que están afectando un proceso particular en el suelo, o a los parámetros que caracterizan la vegetación (al interior de los cuadros). El tamaño de las letras está indicando la importancia relativa de las variables en el control de los procesos.



químicos del suelo superficial. Entre el suelo y la vegetación se produce una asociación muy estrecha en la cual es imposible separar causa y efecto. Esta interacción se expresa a nivel de macroescala espacial, por lo que la vegetación de los bosques de "olivillo" se asocia a determinados parámetros químicos del suelo superficial. A nivel intracomunitario, las características del follaje y la hojarasca de las especies arbóreas afectan las características químicas del suelo superficial.

La estrecha interacción entre el clima-suelo-vegetación permite que dos comunidades geográficamente aisladas, como son los extremos distribucionales norte y sur del bosque de "olivillo", presenten una composición florística y características químicas del suelo superficial muy similares.

3. Implicancias biogeográficas y comunitarias

El amplio gradiente climático que abarca el bosque de "olivillo" en Chile nos permite postular algunas inferencias sobre los posibles cambios vegetacionales y edáficos asociados a los cambios climáticos que tuvieron lugar durante el Cuaternario tardío y el Holoceno.

Los antecedentes de la literatura sugieren que durante el Pleistoceno tardío existía un clima más húmedo y frío que el actual en la zona central de Chile. La presencia de bosques de Podocarpus y Nothofagus (HEUSSER, 1983; 1990b; VILLAGRAN (1988;1990b) durante el máximo de la última glaciación, ha sido postulada en base a antecedentes palinológicos de la zona mediterránea. A partir de inicios del Holoceno (10.000 A.P.) expanden en Chile central los taxa más termófilos principalmente herbáceas (VILLAGRAN & VARELA, 1990). Para la costa de Chile central-sur TRONCOSO et al. (1980) postulan la presencia de una comunidad de "olivillo" distribuida en forma continua en el Pleistoceno.

Esta comunidad habría sobrevivido a lo largo de la costa de Chile, alejada de la influencia de los hielos glaciales presentes en la Cordillera de los Andes y de las temperaturas extremas, amortiguadas por la influencia oceánica. La comunidad reinante durante todo el Pleistoceno en las altitudes bajas e intermedias de la ladera occidental

de la Cordillera de la Costa habría sido dominada por Aextoxicaceae y Myrtaceae, desarrollándose sobre suelos de buen drenaje, ricos en materia orgánica y de carácter medianamente ácido. Por el contrario, en el valle central de la zona central y sur de Chile, la ausencia de Aextoxicaceae y abundancia de Fagaceae y Podocarpaceae (HEUSSER, 1974, 1990; VILLAGRAN 1990) sugiere un ambiente frío y húmedo durante el máximo glacial, con suelos de menor drenaje, mayor contenido de materia orgánica y fuertemente ácidos.

Con el comienzo del Holoceno, la disminución de las precipitaciones, el aumento de las temperaturas y la profundización del gradiente climático norte-sur, habría permitido la incorporación del elemento esclerófilo al bosque de "olivillo" en la costa de Chile central, asociado ahora a suelos con menores contenidos de materia orgánica, buen drenaje y mayores pH. En la zona central-sur las temperaturas mayores del Holoceno y mayores precipitaciones en comparación con Chile central, habrían permitido la expansión desde los refugios costeros, de las especies más termófilas como Aextoxicon y Myrceugenia, que recién comienzan a estar presentes en los diagramas de polen a estas latitudes en el Holoceno (HEUSSER, 1984; VILLAGRAN 1990). El aislamiento geográfico postglacial de las islas de Chiloé, Guapiquilán y Guafo habría impedido la invasión de Nothofagus en los bosques de "olivillo", asociado con otro

elemento austral como es Laurelia, que habría permanecido en los refugios costeros del sur de Chile durante la época glacial.

La gran similitud edáfica y florística documentada en esta tesis entre los extremos distribucionales del "olivillo", apoyan la hipótesis de una carácter más conservativo de la comunidad original en estos sitios y, por lo tanto, un origen vicariante.

A nivel comunitario, la diferenciación de los suelos superficiales bajo las distintas especies asociadas al bosque de "olivillo" nos permiten hacer predicciones sobre los patrones de regeneración natural para estos bosques.

Al producirse un claro ("gap") en el bosque se genera un microambiente en el sotobosque, principalmente un aumento en la intensidad lumínica lo que trae como consecuencia mayores temperaturas en el suelo (BROKAW, 1985; DENSLOW, 1980). De acuerdo a antecedentes de la autora (PEREZ et al., en prensa; PEREZ, datos no publicados) al aumentar las temperaturas del suelo, en este caso por la apertura de un claro en el dosel, aumentarían las tasas de descomposición de la materia orgánica que se ha acumulado bajo el dosel, previamente a la formación del claro. El desencadenamiento de este proceso produciría un micrositio óptimo para ser colonizado por las especies que crecen sobre suelos con mayores grados de descomposición de la materia orgánica y,

por lo tanto, mayor disponibilidad de nitrógeno para las plantas. Las especies colonizadoras del claro serían aquellas con requerimientos más altos de nitrógeno y luz, como lo son las especies de Mirtáceas y Rhaphithamnus spinosus, que presentan menores relaciones C/N en sus hojas y hojarasca, y mayores grados de mineralización potencial del nitrógeno del suelo superficial donde crecen al interior del bosque. Esta hipótesis ha sido corroborada por ARMESTO & FUENTES (1988) en la pluviselva templada de altitudes intermedias en Chiloé. En estos bosques la regeneración de las especies arbóreas ocurre principalmente bajo los claros que se producen luego de la caída de los árboles. Aunque las especies dominantes del estrato emergente pueden regenerar en diversos sitios dentro del bosque, las especies del estrato secundario, como Myrceugenia planipes, regeneran principalmente en claros.

La alta similitud florística y edáfica entre los extremos distribucionales relictos del bosque de "olivillo" y los contrastantes parámetros encontrados en el gradiente climático latitudinal, demuestran el gran valor que posee este tipo de bosque como modelo natural, que nos permite postular hipótesis ecológicas y biogeográficas que expliquen la historia de la vegetación de los bosques de Chile.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERDI M, P WEINBERGER P, M OLIVA & M ROMERO (1974) Ein Beitrag zur chemischen Kennzeichnung des Skleromorphie-Grades von Blättern immergrüner Gehölze. Beiträge zur Biologie der Pflanzen 50:305-320.
- ALBERDI M & G OYARSE (1976) Morfología y ecofisiología de hojas de sol y sombra de Aextoxicon punctatum. R. et Pav. Medio Ambiente 2(1):35-43.
- ALBERDI M, P WEINBERGER & C RAMIREZ (1977) Contenidos de fósforo foliar de especies leñosas siempreverdes en relación a su grado de esclerofilia. Agro Sur 5:62-68.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENKUNDE (1971) Kartieranleitung. Münstermann-Druk OHG, Hannover.
- ARMESTO J & E FUENTES (1988) Tree species regeneration in a mid-elevation, temperate rain forest in Isla de Chiloé, Chile. Vegetatio 74:151-159.
- BENOIT R & R STARKEY (1968) Inhibition of decomposition of cellulose and some other carbohydrates by tannin. Soil Science 105: 291-296.
- BERENDSE F, R BOBBINK & G ROUWENHORST (1989) A comparative study on nutrient cycling in wet heathland ecosystems. II. Litter decomposition and nutrient mineralization. Oecologia 78: 338-348.
- BESOAIN E (1969) Untersuchungen von Böden aus Pyroklastiten (Asche und Tuffe) Chiles, Japan, Deutschlands und Italiens. Diss. Universität Bonn.
- BINKLEY D & D RICHTER (1987) Nutrient cycles and H⁺ budgets of forests ecosystems. Advances in Ecological Research 16:1:51.
- BOERNER R (1984) Foliar nutrient dynamics and nutrient use efficiency of four deciduous tree species in relation to site fertility. Journal of Applied Ecology 21:1029-1040.

- BRAUN-BLANQUET J (1964) Pflanzensoziologie. Springer Verlag, New York.
- BROKAW NVL (1985) Gap-phase regeneration in a tropical forest. Ecology 66:682-687.
- CLARK J & A BLOOM (1979) The effect of the patagonian ice sheet on the relative sea levels along the Atlantic coast of South America: A numerical calculation. Proceeding of "1978 International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary", San Pablo, Brasil: 61-76.
- CLAPPERTON CH & D ROBERTS (1986) Quaternary sea levels changes in the Falkland Islands. Ed. J. RABASSA. Quaternary of south America and Antarctic Peninsula 4:99-117.
- D' ANTONI H (1983) Polen analysis of Gruta del Indio. Quaternary of South America and Antarctic Research 1:83-104.
- DENSLOW JS (1980) Gap partitioning among tropical rain-forest trees. Biotropica 12:47-55.
- DI CASTRI F & E HAJEK (1976) Bioclimatología de Chile. Ed. Universidad Católica, Santiago.
- DONOSO C (1981) Ecología Forestal. Santiago.
- ELLENBERG H, R MAYER & J SCHAUERMANN (1986) Ökosystemforschung. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- 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
- FAO (1967) Soil Map of the World. Joint FAO-UNESCO Project. Draft 32. Roma.
- FIEDLER H, W NEBE & F HOFFMANN (1973) Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. Jena.
- FOGEL R & K CROMACK (1977) Effect of habitat and substrate quality on Douglas fir litter decomposition in western Oregon. Can. J. Bot. 55: 1632-1640.
- FUENZALIDA H, R COOKE, R PASKOFF, K SEGERSTROM & W WEISCHET (1965) High stands of Quaternary sea level along the Chilean coast. Geological Society of America, Special

Paper 84:473-496.

- GALINDO G, C OLGUIN & E SCHLASCHA (1971) Phosphate-sorption capacity of clay fractions of soils derived from volcanic ash. *Geoderma* 7:225-232.
- GARRIDO N (1988) Agaricales s.l und ihre Mykorrhizen in den Nothofagus-Wäldern Mittelchiles. *Bibliotheca Mycologica* 120.
- GAUCH H (1982) *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge University Press, New York.
- GONZALEZ-BONORINO F & L AGUIRRE (1970) Metamorphic facies series of the crystalline basement of Chile. *Geologische Rundschau* 59: 979-994.
- GREZ R (1977) Nährelementhaushalt und Genese von Böden aus vulkanischen Aschen in Südchile. *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen*, Heft 6.
- GRUBB PJ, HE GREEN & RCJ MERRIFIELD (1969) The ecology of the chalk heath: its relevance to the calcicole-calcifuge and soil acidification problems. *Journal of Ecology* 57: 175-213.
- HAAS W & W KAUSCH (1966) Die Quotienten Calcium/Kalium und Rohlignin/Holocellulose bei Sonnen-und Schattenblättern der Blutbuche. *Naturwissenschaften* 4:112.
- HARRISON A (1971) The inhibitory effect of oak litter tannins on the growth of fungi in relation to litter decomposition. *Soil. Biol. Biochem.* 14:337-341.
- HEUSSER C & RF FLINT (1977) Quaternary glaciations and environments of northern Isla Chiloé, Chile. *Geology* 5:305-308.
- HEUSSER C (1983) Quaternary pollen record from Laguna de Tagua-Tagua. *Science* 219:1429-1431.
- HEUSSER C (1990a) Ice vegetation and climate of subtropical Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 80: 107-127.
- HEUSSER C (1990b) Chilotan piedmont glacier in the southern Andes during the last glacial maximum. *Revista Geológica de Chile* 17(1):3-18.

- ILLIES H (1969) Die Entstehungsgeschichte eines Maares in Südchile. Z. deutsch. geol. Ges. 121:225-252.
- JENNY H, SP GESSEL & TT BINGHAM (1940) Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. Soil Science 68:419-432.
- JOISTEN H (1982) Die glazialen Ablagerung al Lago Llanquique (Südchile) unter besonderer Berücksichtigung der Böden. Tesis, Universität Bonn.
- JORDAN CF (1985) Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. John Wiley & Sons, Great Britain.
- KRETZSCHMAR R (1984) Kulturtechnisch-Bodenkundliches Praktikum. Universität Kiel.
- KUBITZKI K (1964) Zur Kenntnis der osmotischen Zustände grossen südchilenischer Holzgewächse. Flora 155:101-116.
- KUMMEROW J (1962) Quantitative Messungen des Nebelniederschlags im Walde von Fray Jorge an der nordchilenischen Küste. Die Naturwissenschaften 49:203-204.
- LARCHER W (1973) Ökologie der Pflanzen. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- LAUER W (1968) Die Glaziallandschaft des südchilenischen Seengebietes. Acta Geographica 20(16), Helsinki.
- LOOSER G (1935) Argumentos botánicos a favor de un cambio de clima en Chile central en tiempos geológicos recientes. Revista Universitaria 20:843-857.
- LOVELESS A (1961) A nutritional interpretation of sclerophylly based on differences in the chemical composition of sclerophyllous and mesophytic leaves. Annals of Botany 25:168-184.
- LOVELESS A (1962) Further evidence to support a nutritional interpretation of sclerophylly. Annals of Botany 26:551-561.
- MAC ARTHUR R & E WILSON (1967) The theory of island biogeography. University Press, Princeton, New Jersey.
- MEENTEMEYER V (1978) Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. Ecology 59:465-472.

- MEIWES K, M HAUHS, H GERKE, N ASCHE, E MATZNER & N LAMMERSDORF (1984) Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Bd.7.
- MELILLO J, J ABER & J MURATORE (1982) Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. Ecology 63: 621-626.
- MITSCHERLICH G (1978) Wald, Wachstum und Umwelt. Sauerländer's Verlag, Frankfurt.
- MOHLER C (1987) Cornell Ecology Programs. Microcomputer Power, New York.
- MUNOZ C & E PISANO (1947) Estudio de la vegetación y flora de los Parques Nacionales de Fray Jorge y Talinay. Agricultura Técnica 7: 71-190.
- MUNOZ CRISTI J (1972) Geología de Chile. Ed. Andrés Bello, Santiago.
- NELSON G & N PLATNICK (1980) A vicariance approach to historical Biogeography. Bioscience 30:339-343.
- NEITZKE M & M RUNGE (1985) Keimlings- und Jungpflanzenentwicklung der Buche (Fagus sylvatica) in Abhängigkeit vom Al/Ca- Verhältnis des Bodenextraktes. Flora 177: 237-249.
- NEWBERY D & J PROCTOR (1984) Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarwak. IV. Associations between tree distribution and soil factors. Journal of Ecology 72(2):475-684.
- OBERDORFER E (1960) Pflanzensoziologische Studien in Chile. Verlag von J. Cramer, Weinheim.
- PASKOFF R (1970) Recherches Géomorphologiques dans le Chili semi-aride. Bordeaux.
- PASTOR J, J ABER, CH MCCLAUGHERTY & J MELILLO (1984) Aboveground production and N and P cycling along a nitrogen mineralization gradient on Blackhawk Island, Wisconsin. Ecology 65:256-268.

- PERALTA M (1975) Suelos, ecología y silvicultura del bosque nativo chileno. Bol. Téc. Fac. Ciencias Forestales Universidad de Chile 31.
- PEREZ C & C VILLAGRAN (1985) Distribución de abundancias de especies en bosques relictos de la zona mediterránea de Chile. Reviste Chilena de Historia Natural 58:157-170.
- PEREZ C, J ARMESTO & B RUTHSATZ (en prensa) Descomposición de hojas, biomasa de raíces y características de los suelos en bosques mixtos de coníferas y especies laurifolias en el Parque Nacional de Chiloé, Chile. Revista Chilena de Historia Natural.
- PIELOU E (1976) Population and community ecology. Gordon & Breach Science Publishers, New York.
- PIELOU E (1984) The interpretation of ecological data. John Wiley & Sons, New York.
- POST W, J PASTOR, P ZINKE & A STANGENBERGER (1985) Global patterns of soil nitrogen storage. Nature 317:613-616.
- PYMALE A, R BOERNER & T LOGAN (1987) Relative nitrogen mineralization and nitrification in soils of two contrasting hardwood forests: Effects of site microclimate and initial soil chemistry. Forest Ecology and Management 21:21-36.
- REDON J & O LANGE (1983) Epiphytische Flechten im Bereich einer chilenischen "Nebeloase" (Fray Jorge). I. Vegetationskundliche Gliederung und Standortbedingungen. Flora 174:213-243.
- SACHS L (1984) Angewandte Statistik. Spriger Verlag, Berlin.
- SCHEFFER F & P SCHACHTSCHABEL (1984) Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHLICHTING E & H BLUME (1966) Bodenkundliches Praktikum. Hamburg.
- SCHMITHÜSEN J (1956) Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. Bonner Geographische Abhandlungen. 17:1-86.
- SCHMITHÜSEN J (1960) Die Nadelhölzer in den Waldgesellschaften der südlichen Anden. Vegetatio 9:313-327.

- PERALTA M (1975) Suelos, ecología y silvicultura del bosque nativo chileno. Bol. Téc. Fac. Ciencias Forestales Universidad de Chile 31.
- PEREZ C & C VILLAGRAN (1985) Distribución de abundancias de especies en bosques relictos de la zona mediterránea de Chile. Reviste Chilena de Historia Natural 58:157-170.
- PEREZ C, J ARMESTO & B RUTHSATZ (en prensa) Descomposición de hojas, biomasa de raíces y características de los suelos en bosques mixtos de coníferas y especies laurifolias en el Parque Nacional de Chiloé, Chile. Revista Chilena de Historia Natural.
- PIELOU E (1976) Population and community ecology. Gordon & Breach Science Publishers, New York.
- PIELOU E (1984) The interpretation of ecological data. John Wiley & Sons, New York.
- POST W, J PASTOR, P ZINKE & A STANGENBERGER (1985) Global patterns of soil nitrogen storage. Nature 317:613-616.
- PYMALE A, R BOERNER & T LOGAN (1987) Relative nitrogen mineralization and nitrification in soils of two contrasting hardwood forests: Effects of site microclimate and initial soil chemistry. Forest Ecology and Management 21:21-36.
- REDON J & O LANGE (1983) Epiphytische Flechten im Bereich einer chilenischen "Nebeloase" (Fray Jorge). I. Vegetationskundliche Gliederung und Standortbedingungen. Flora 174:213-243.
- SACHS L (1984) Angewandte Statistik. Spriger Verlag, Berlin.
- SCHEFFER F & P SCHACHTSCHABEL (1984) Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHLICHTING E & H BLUME (1966) Bodenkundliches Praktikum. Hamburg.
- SCHMITHÜSEN J (1956) Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. Bonner Geographische Abhandlungen. 17:1-86.
- SCHMITHÜSEN J (1960) Die Nadelhölzer in den Waldgesellschaften der südlichen Anden. Vegetatio 9:313-327.

- SCHULMEYER D (1978) Observaciones fitogeográficas sobre la Cordillera de Nahuelbuta. Boletín Geográfico Militar. Boletín Informativo II. 11-27.
- SKOTTSBERG C (1910) Botanische Ergebnisse der schwedischen Expedition nach Patagonien und dem Feuerlande 1907-1909. I. Übersicht über die wichtigsten Pflanzenformationen Südamerikas s. von 41, ihre geographische Verbreitung und Beziehungen zum Klima. Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar 46:3-28.
- SKOTTSBERG C (1948) Apuntes sobre la flora y vegetación de Fray Jorge (Coquimbo, Chile) Acta Horti Goburgensis 18:91-184.
- STARK N (1970) The nutrient content of plants and soils from Brazil and Surinam. Biotropica 2:51-60.
- STEUBING L (1965) Pflanzenökologisches Praktikum. Verlag Paul Parey, Berlin.
- STEUBING L, M ALBERDI & H WENZEL (1983) Seasonal changes of cold resistance of Proteaceae of the South Chilean laurel forest. Vegetatio 52:35-44.
- SWIFT M, O HEAL & J ANDERSON (1979) Decomposition in terrestrial ecosystems. University of California Press, Berkeley.
- 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.
- ULRICH B (1981) Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 144: 289-305.
- ULRICH B (1987) Stability, elasticity, and resilience of terrestrial ecosystems with respect to matter balance. Ecological Studies 61. Ed. E. SCHULZEB & H. ZWÖLFER. Berlin.
- 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 (1988) Expansion of Magellanic Moorland during the Late Pleistocene: Palynological evidence from Northern Isla de Chiloé, Chile. *Quaternary Research* 30:304-314.
- VILLAGRAN C & J VARELA (1990) Palynological evidence for increased aridity on the Central Chilean Coast during the Holocene. *Quaternary Research* 34:198-207.
- 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. *Rev. Paleobotany and Palynology* 65:17-24.
- VILLAGRAN C. (1990) Historia de los bosques templados del sur de Chile durante el tardiglacial y postglacial. *Rev. Chilena de Hist. Nat.* (en prensa).
- VITOUSEK P (1982) Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *The American Naturalist* 119:552-572.
- VITOUSEK P, J GOSZ, C GRIER, J MELILLO & J REINERS (1982) A comparative analysis of potential nitrification and nitrate mobility in forest ecosystems. *Ecological Monographs* 52:155-177.
- VITOUSEK P (1984) Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65:285-298.
- WALTER H (1970) *Vegetationszonen der Erde*. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- WEHERMANN V (1963) Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse in der Forstwirtschaft. *Landwirtschaftliche. Forschung*. 16:130-145.
- WEINBERGER P & R BINSACK (1970) Zur Entstehung und Verbreitung der Aschenböden in Südchile. *Der Tropenlandwirt* 71:19-31.
- WEINBERGER P, M ROMERO & M OLIVA (1973) Untersuchungen über die Dürre-resistenz patagonischer immergrüner Gehölze. *Vegetatio* 28:75-98.
- WEINBERGER P (1974) Verbreitung und Wasserhaushalt araukopatagonischer Proteaceen in Beziehung zu mikroklimatischen Faktoren. *Flora* 163:251-264.

- WEINBERGER P (1978) Estudio sobre adaptación climática y las asociaciones de mirtáceas arauco-patagónicas. Anales de Parques Nacionales, Buenos Aires, 14:133-160.
- WITTICH W (1961) Die Grundlagen der Stickstoffernährung des Waldes und Möglichkeiten für ihre Verbesserung. Der Stickstoff, 335-369. Stalling, Oldenburg.
- ZAMBRANO L & B URRUTIA (1965) Intercambio catiónico de algunos grandes grupos de suelos chilenos. Boletín Técnico de la Fac. de Cs. Agrarias y Forestales de la U. de Chile 21:3-18.
- ZEZSCHWITZ E (1968) Beziehungen zwischen dem C/N-Verhältnis der Waldhumusformen und dem Basengehalt des Bodens. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. 16:143-174.
- ZINKE P (1962) The pattern of influence of individual forest trees on soil properties. Ecology 43:130-133.
- ZÖTTL H (1958) Die Bestimmung der Stickstoffmineralisation in Waldhumus durch Brutversuch. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 81:35-50.

Nombre del censo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
<u>Arboles y lianas</u>																													
<i>Artemisia dreoides</i> (Ad)	r	2	2	r	1			(r)			(+)			(+)			1	+	+	+	1	1	+	+	*	*			
<i>Artemisia coccoinea</i> (Mc)		(1)									2			2	1	+	2	2	2	+		2	+	+	*	*		1	
<i>Podium feuillei</i> (Pf)	r	(1)	1	r	1			r	+	(+)	2	2							+		(+)		+		*	*		+	
<i>Virola radicans</i> (Lr)						2				(+)	+			4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	*	*	2
<i>Menispermum caudiculatum</i> (Hca)										(+)	1			2		+	1	2	2	2	2	2	2	+	2	*	*	1	
<i>Menispermum cruentum</i> (Hcr)										(+)				1		3	1	+	+	+	(+)	1	+	+	*	*		(+)	
<i>Menispermum repens</i> (Sr)										1	1					2	1	+	+	2	2		+	1	*	*	2		
<i>Menispermum bicolor</i> (Fb)										1						r	2	r		+	+	1	+	2	*	*	2		
<i>Menispermum plicatum</i> (Hpl)												1		2	+	2	2			+	1	1	1	+	*	*			
<i>Menispermum kraussianum</i> (HK)														(+)	2	2	2	2	2	2	2	2		2	+	*	*		
<i>Menispermum serratifolia</i> (Hs)						2						2			1							1	2	2	1	*	*		
<i>Menispermum trilobum</i> (At)														(+)	1			+				1	+	+	*	*	+		
<i>Podium valdivianum</i> (Pv)											1			1	3	1								2		*			
<i>Podium tetrandus</i> (Tt)							1		+					1												*			
<i>Podium roseae</i> (Lr)							2	2	2	2	1			2			2	+			2								
<i>Podium striata</i> (Cs)							1		+	1	+			1			+	+											
<i>Menispermum pectinatum</i> (Hp)																	+	1	r		+	2	1					+	
<i>Menispermum dicranotrichum</i> (Hd)																	2	2	+	+	+	2	2		+	*	*	1	
<i>Virola polyphylla</i> (Lp)																		2			2	1	2	+		*	*	+	
<i>Podium laetevirens</i> (Pl)																	r	r		+	+				*				
<i>Podium chilensis</i> (Ech)																					2		+		*		2		
<i>Podium coquimbensis</i> (Pc)	r	3	3	2	2																								
<i>Podium scandens</i> (Gs)	r	2																											
<i>Podium pyriforme</i> (Pp)							2			1	1	1																	
<i>Podium biternata</i> (Lb)						1		1	1		(+)																		
<i>Podium trifoliolata</i> (Bt)														2		+						(+)							
<i>Podium salsilla</i> (Bs)							2	1					1																
<i>Menispermum dentatum</i> (Hd)																	2	+			+	1							
<i>Podium philippiana</i> (Lph)										r								+					+			*	*	(+)	
<i>Podium racemosa</i> (Gr)																										*	*	(+)	
<i>Podium granadensis</i> (Ng)																	+									*			
<i>Menispermum petatum</i> (Hp)																		+								*			
<i>Podium ruscifolia</i> (Gr)																								+	*	*	(+)		
<i>Podium valdivianum</i> (Ov)																										*	*		

ANEXO 2: Descripción de los perfiles de suelo de los bosques de "olivillo" estudiados.

a) Fray Jorge IV A

Tipo de suelo: Pardo forestal

Tipo de humus: Humus "moder "

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	8-6	
Oh	6-0	Color negro-pardo, limoso, con limoso, con restos de excrementos de artrópodos, muy húmedo.
Ah	0-10	Fuertemente enraizado.
Bv	10-58	Textura areno-franco. Color pardo oscuro. Fuertemente enraizado, disminuyendo con la profundidad. Estructura granular fina.
Bv-C	> 58	Textura arenoso. Color pardo claro.

b) Fray Jorge IV B

Tipo de suelo: Pardo forestal

Tipo de humus: Humus "moder "

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	7-5	
Oh	5-0	Fuertemente enraizado.
Ah	0-10	Textura areno-franco. Color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2). Estructura granular fina muy débil. Consistencia

moderadamente firme en seco. Raíces finas y medias muy abundantes. Límite difuso.

Bv	10-35	Textura franca. Color pardo oscuro (10 YR 3/3). Estructura en bloques grandes débiles, medianos y chicos. Consistencia dura en seco. Raíces escasas. Trozos ocasionales de grava tipo graníticas.
C	> 35	Textura franco-arenoso pesado. Color pardo oscuro (10 YR 3/3). Estructura en bloques grandes débiles, medianos y chicos. Consistencia dura en seco. Raíces escasas. Con moteados de oxidación.
c) Fray Jorge V		
Tipo de suelo: Pardo forestal		
Tipo de humus: Humus "moder"		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	7-5	
Oh	5-0	Fuertemente enraizado.
Ah	0-10	Fuertemente enraizado. Raíces medias abundantes. Fuertemente humoso.
Bv	10-50	Textura areno-franco. Fuertemente enraizado., humoso. Estructura granular fina débil.
Bv-C	50-70	Textura arenoso. Color pardo-grisáceo claro. Consistencia compacta.

Raíces escasas, casquijos aislados. Pequeños moteados de oxidación.

d) Cerro Santa Inés

Tipo de suelo: Pardo forestal

Tipo de humus: Humus "moder"

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O1	6-4	
Oh, f	4-0	Casquijos abundantes. Levemente colonizado por hongos. Fuertemente enraizado. Límite claro y recto.
Ah	0-18	Textura franco arcillo-arenoso. Color pardo-grisáceo oscuro (2,5 Y 4/2). Estructura granular fina y media. Consistencia suelta. Gran abundancia de raíces finas y medias. Gravas abundantes. Límite difuso.
Bv	18-34	Textura franco-arcillo-arenoso. Color pardo grisáceo muy oscuro (2,5 Y 3/2). Estructura granular fina y media y algo de subangular. Consistencia muy suelta. Raíces escasas. Gran cantidad de grava grande. Límite claro.
Bv-C	> 34	Textura franco-arcillolimoso. Color pardo grisáceo muy oscuro (2,5 YR 3/2). Estructura en bloque subangular medios y grandes, también granular. Consistencia dura

en seco. Gran abundancia de casquijos y gravas de cuarzita. Raíces finas muy escasas.

e) Zapallar

Tipo de suelo: Pardo forestal

Tipo de humus: Humus "mull".

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	3-Ø	Hojas de "olivillo" enteras. En algunos sectores la profundidad es de hasta 10cm.
Ah	Ø-33	Textura areno-franco. Color negro pardo (5 YR 2/1). Estructura granular. Raíces finas abundantes.
Ah-Bv	33-57	Textura areno-franco. Color pardo (10 YR 4/6). Raíces finas abundantes.
Bv	> 57	Textura areno-franco. Color pardo (10 Yr 4/6). Estructura granular. Enraizamiento hasta los 60cm.

f) Quebrada El Roble.

Tipo de suelo: "Ranker"

Tipo de humus: Humus "mull"

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	3-Ø	Límite recto y difuso.
Ah	Ø-25	Textura franco-limosa con grava. Color negro-pardo (10 YR 3/2). Estructura granular fina y débil. Raíces finas

muy abundantes. Límite recto y difuso.

Bv	25-40	Textura franco-arcillo-limosa con grava. Color pardo-oscuro (10 YR 3/3). Estructura granular fina débil. Raíces finas abundantes. Límite recto y difuso.
Bv-C	40-50	Textura franco-arcillo-limoso con gravas y casquijos. Color negro-pardo (10 YR 3/1). Estructura granular fina débil. Raíces finas comunes, medias ocasionales.

g) Cerro Cayumanque

Tipo de suelo: Pardo forestal

Tipo de humus: Humus "moder"

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	4-3	
Oh	3-0	Abundantes troncos y ramitas sin descomponer.
Ah.	0-10	Textura areno-franco. Color pardo muy oscuro (7,5 YR 3/3). Estructura granular fina. Raíces finas abundantes. Límite difuso.
Ah-Bv	10-21	Textura areno-franco. Color pardo oscuro (7,5 YR 3/4). Raíces finas abundantes. Estructura granular. Límite claro.
Bv	21-45	Textura areno-franco. Color pardo (7,5 YR 4/4). Estructura granu-

lar. Raíces gruesas abundantes.

C > 45 Textura areno-franco. Color pardo oscuro (7,5 YR 3/4). Estructura granular.

h) Quebrada Rucaraqui.

Tipo de suelo: Pardo forestal

Tipo de humus: humus "mull"

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	2-Ø	
Ah	Ø-1Ø	Textura franco. Color pardo muy oscuro (7,5 YR 2/3). Estructura granular. Raíces finas abundantes.
Bv	1Ø-36	Textura franco-arcilloso. Color pardo oscuro (7,5 YR 3/3). Estructura granular. Raíces finas y gruesas muy abundantes, asociadas a hifas.
Bv-C	36-67	Textura franco-arcillosa. Color pardo oscuro (7,5 YR 3/4). Estructura granular. Raíces gruesas abundantes, finas menos abundantes. Casquijos aislados.
C	> 67	Textura arcillosa. Color pardo (7,5 YR 4/3). Estructura granular. Raíces escasas.

i) Isla Mocha

Tipo de suelo: Pardo forestal

Tipo de humus: Humus "mull"

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	1-0	
Ah	0-25	Textura areno-franco. Color pardo oscuro (10 YR 3/4). Estructura granular. Raíces gruesas y finas muy abundantes.
Bv	> 25	Textura franco-arenoso. Color pardo (10 YR 4/4). Estructura granular. Raíces abundantes. Profundidad de enraizamiento hasta los 67cm.

j) Fundo San Martín I

Tipo de suelo: Rojo arcilloso

Tipo de humus: Humus "moder"

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	3-2	
Oh	2-0	
Ah	0-12	Textura areno-franco. Color pardo muy oscuro (7,5 YR 2/3). Estructura granular. Raíces finas muy abundantes y gruesas abundantes.
Ah-Bv	12-46	Textura franco. Color pardo muy oscuro (7,5 YR 2/3).

Bv	46-77	Textura franco-arcillosa. Color pardo rojizo-oscuro (5 YR 3/4). Estructura granular. Raíces finas escasas. Rocas redondeadas frecuentes.
Bv-C	77-137	Textura arcillosa. Color pardo (7,5 YR 4/4). Estructura granular. Raíces finas escasas. Casquijos abundantes.
C	> 137	Arena.
k) Hueicolla		
Tipo de suelo: Pardo forestal		
Tipo de humus: Humus "mull"		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O1	0-2	
Ah	0-33	Textura areno-franco. Color pardo amarillento. Fuertemente enraizado. Raíces finas abundantes hasta los 12cm, raíces medias abundantes hasta los 25cm. Con actividad de lombrices.
Bv	> 38	Textura areno-franco-arcilloso. Color pardo amarillento. Raíces no muy abundantes. Casquijos aislados. Sustrato Gneis.

1) Auquilda

Tipo de suelo: Andosol

Tipo de humus: Humus "mull f"

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	3-1	
Of	1-0	
Ah	0-6	Textura franco. Es- trutura granular fina, humoso. Abundantes raíces finas. Con actividad de lombrices.
Bv	6-73	Textura franco. Es- trutura granular fina, humoso. Fuertemente enraizado.
Bv-C	> 73	Textura areno-franco. Color amarillo-ocre. Fuertemente enraizado. Esquistos intemperizados.

m) Pastahué

Tipo de suelo: Pardo forestal

Tipo de humus: Humus "mull"

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	3-0	
Ah	0-12	Textura areno-franco. Color pardo oscuro (7,5 YR 3/4). Estructura granular. Raíces finas abundantes.
Bv	12-68	Textura areno-franco. Color negro pardo (7,5 YR 3/2). Estructura gra- nular. Raíces gruesas y finas menos abundantes.

C > 68 Textura arenoso. Color pardo oscuro (7,5 YR 3/4). Estructura granular. Raíces escasas.

n) Abtao

Tipo de suelo: Pardo forestal
 Tipo de humus: Humus "mull f"

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	2-1	
Of	1-0	
Ah	0-10	Textura franco. Color pardo oscuro (7,5 YR 2/3). Estructura granular. Raíces finas y gruesas muy abundantes.
Bv	10-49	Textura franco. Color pardo oscuro. (7,5 YR 3/4). Estructura granular. Raíces gruesas muy abundantes.
C	> 49	Gravas y casquijos de cuarzo y mica en avanzado estado de intemperización.

ñ) Isla Alao

Tipo de suelo: Andosol
 Tipo de humus: Humus "mull f"

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	3-2	
Of	2-0	
Ah	0-30	Textura franco-arenosa. Color pardo oscuro (7,5 YR 3/3). Estructura

granular. Raíces finas y gruesas muy abundantes.

Bv	> 30	Textura franco-arenoso. Color pardo oscuro (10 YR 3/4). Estructura granular fina. Raíces finas menos abundantes. Profundidad de enraizamiento 90cm. Rocas aisladas.
----	------	---

o) Isla Guafo

Tipo de suelo: Pardo forestal

Tipo de humus: Humus "mull"

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ol	4-0	
Ah	0-12	Textura franco. Color negro pardo (7,5 YR 2/2). Estructura granular. Raíces finas abundantes hasta los 3cm de profundidad. Raíces grandes abundantes hasta los 12cm de profundidad.
Bv	12-35	Textura franco. Color pardo oliva (2,5 Y 4/4). Estructura subpoliédrica.
C	> 35	"Cancagua". Estructura coherente. Color pardo amarillento (2,5 Y 5/4).

ANEXO 3: Parámetros químicos de las hojas de las especies más frecuentes de los bosques de "olivillo" estudiados.
Bajo cada valor se indica la desviación standard.

Localidad	Especie	%K	%Ca	%Mg	%Na	%P	%C	%N	C/N	Ca/K
Fray Jorge I	Aextoxicon punctatum	0,48	1,17	0,33	0,1	0,08	46,08	0,88	52,36	2,44
		0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0,01
Fray Jorge IVA	Aextoxicon punctatum	0,94	0,84	0,2	0,08	0,15	46,56	0,88	52,91	0,89
		0,01	0,02	0	0,01	0,01	0,04	0,05	0,05	0,01
	Rhaphithamnus spinosus	0,96	0,73	0,44	0,43	0,14	40,91	1,35	30,31	0,76
	Drimys winteri	0	0,01	0,01	0	0,01	0,02	0,06	0,04	0,01
Fray Jorge IVB	Aextoxicon punctatum	1,82	0,32	0,24	0,64	0,15	43,19	1,46	29,58	0,18
		0,03	0,01	0	0,01	0	0,03	0	0,02	0,02
	Myrceugenia correifolia	0,83	1,24	0,3	0,11	0,11	44,85	0,84	53,39	1,49
	Rhaphithamnus spinosus	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0,08	0,06	0,07	0,01
Fray Jorge V	Aextoxicon punctatum	0,88	0,73	0,78	0,28	0,21	43,66	0,88	49,61	0,83
		0,01	0,04	0,01	0	0	0,18	0	0,09	0,02
	Myrceugenia correifolia	1,26	0,9	0,34	0,19	0,18	40,25	1,38	29,19	0,71
	Aextoxicon punctatum	0,01	0	0,01	0	0,1	0,25	0,04	0,1	0,01
Zapallar	Aextoxicon punctatum	0,69	1,25	0,32	0,07	0,14	45,04	1,07	42,43	1,89
		0,02	0	0,01	0,03	0	0	0,07	0,004	0,01
	Myrceugenia correifolia	1,11	0,43	0,65	0,27	0,09	45,79	1,02	44,89	0,39
	Aextoxicon punctatum	0	0,01	0	0	0	0,13	0	0,9	0,01
Quebrada El Roble	Aextoxicon punctatum	0,94	1,99	0,25	0,08	0,14	42,31	0,7	60,44	2,12
		0,01	0,02	0,01	0	0	0,05	0,05	0,05	0,01
	Myrceugenia obtusa	1,04	0,79	0,42	0,09	0,19	40,87	1,12	36,49	0,76
	Cryptocarya alba	0,03	0,01	0	0	0	0,04	0	0,03	0,02
Co. Cayumanque	Aextoxicon punctatum	1,55	0,9	0,15	0,21	0,27	45,16	0,84	53,76	0,58
		0,04	0,01	0	0,01	0	0,01	0,06	0,04	0,03
	Cryptocarya alba	0,47	1,12	0,31	0,1	0,07	46,25	0,64	72,27	2,38
	Aextoxicon punctatum	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0,04	0,08	0,06	0,01
Qda. Rucaraqui	Aextoxicon punctatum	1,29	0,92	0,23	0,08	0,11	45,85	0,56	81,82	0,71
		0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,04	0	0,03	0,01
	Myrceugenia planipes	0,67	1,84	0,3	0	0,08	44,13	0,82	53,82	2,75
	Drimys winteri	0,01	0,01	0	0	0,01	0,16	0,03	0,15	0,01
Isla Mocha	Aextoxicon punctatum	1,51	0,42	0,3	0,09	0,09	46,42	0,88	53,22	0,28
		0,02	0	0	0,04	0,01	0,16	0	0,15	0,01
	Laurelia philippiana	0,85	1,61	0,76	0,04	0,09	39,44	0,95	41,52	1,89
	Aextoxicon punctatum	0,01	0,03	0,01	0,01	0	0,06	0	0,05	0,02
Fundo San Martín	Aextoxicon punctatum	1,03	1,64	0,31	0,13	0,12	43,59	0,88	49,53	1,59
		0,01	0,01	0	0,03	0	0,06	0	0,01	0,01
	Laurelia philippiana	1,53	1,1	0,61	0,25	0,12	43,12	1,13	38,16	0,72
	Myrceugenia planipes	0	0,01	0,01	0,03	0	0	0,06	0,05	0,01
Fundo San Martín	Aextoxicon punctatum	0,78	1,59	0,4	0,25	0,08	40,65	0,97	41,91	2,04
		0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,06	0,02	0,05	0,03
	Myrceugenia planipes	0,76	1,23	0,51	0,13	0,09	45,87	0,7	65,53	1,62
	Rhaphithamnus spinosus	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0	0,02	0,01
Fundo San Martín	Aextoxicon punctatum	0,61	1,02	0,49	0,34	0,07	44,69	0,91	49,11	1,67
		0,04	0,04	0,01	0,01	0	0,04	0	0,03	0,04
	Laurelia philippiana	1,19	1,11	0,43	0,17	0,13	43,02	1,72	1	0,92
	Aextoxicon punctatum	0,01	0	0	0	0	0,07	0,05	0,07	0,01
Fundo San Martín	Aextoxicon punctatum	1,03	1,11	0,41	0,03	0,13	45,67	0,85	53,73	1,07
		0,01	0,04	0,01	0,01	0	0,04	0,01	0,03	0,03
		Laurelia philippiana	1,35	1,04	0,38	0,09	0,16	44,51	1,26	35,32
		0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0,02

Localidad	Especie	%K	%Ca	%Mg	%Na	%P	%C	%N	C/N	Ca/K
Hueicolla	Aextoxicon punctatum	0,75	1,03	0,43	0,07	0,1	46,69	0,83	56,25	1,37
		0,01	0,02	0,01	0,02	0	0,05	0	0,05	0,02
	Rhaphithamnus spinosus	1,59	0,81	0,43	0,11	0,16	45,28	1,56	29,03	0,51
		0,09	0,06	0,02	0,04	0,01	0,05	0	0,05	0,08
	Myrceugenia planipes	0,99	0,96	0,31	0,16	0,16	46,31	1,34	34,56	0,97
		0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,05	0	0,04	0,01
	Laurelia philippiana	0,88	1,25	0,43	0,21	0,12	44,67	1,01	44,67	1,42
0,02		0,02	0	0	0,01	0,02	0	0,02	0,02	
Drimys winteri	0,92	0,33	0,29	0,25	0,06	48,36	0,84	57,57	0,36	
	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0	0,05	0,01	
Pastahué	Aextoxicon punctatum	0,54	1,32	0,31	0	0,08	46,31	0,69	67,1	2,44
		0,02	0,01	0	0	0	0,07	0,03	0,05	0,02
	Rhaphithamnus spinosus	1,37	1,01	0,23	0,01	0,24	44,13	2,06	21,42	0,74
Auquilda	Aextoxicon punctatum	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,05	0,04	0,05	0,04
		0,44	1,51	0,3	0,06	0,07	46,63	0,71	65,19	3,43
	Myrceugenia planipes	0,02	0,02	0,01	0,04	0,01	0,04	0	0,03	0,02
		1,11	0,81	0,53	0,21	0,08	44,55	0,81	55,69	0,73
	Eucryphia cordifolia	0,05	0,05	0,03	0,05	0,01	0,11	0	0,11	0,05
		0,76	0,64	0,31	0,04	0,08	48,07	0,73	65,85	0,84
	Gevuina avellana	0,03	0,02	0,01	0,04	0	0,04	0	0,03	0,03
0,57		0,24	0,23	0,21	0,06	46,6	0,74	62,97	0,42	
0,01	0	0,01	0,05	0	0,08	0,05	0,07	0,01		
	Isia Alao	Aextoxicon punctatum	0,55	1,31	0,42	0,11	0,08	45,58	1,02	44,67
0,02			0,01	0	0,01	0	0,06	0	0,05	0,02
Myrceugenia planipes		1,14	0,99	0,37	0,43	0,11	44,29	1,18	35,73	0,87
Abtao	Aextoxicon punctatum	0,04	0,03	0,01	0,03	0,11	0,01	0,01	0,01	0,04
		0,51	1,07	0,37	0,21	0,07	46,4	0,67	69,25	2,14
	0,02	0,02	0	0	0	0,03	0,04	0,04	0,02	
	Laurelia philippiana	1,73	0,72	0,37	0,71	0,14	42,52	1,37	31,04	0,42
Myrceugenia ovata	0,01	0,05	0,03	0,01	0	0,03	0,05	0,04	0,04	
	0,73	0,72	0,43	0,28	0,07	45,82	0,9	50,91	0,99	
	0	0,01	0	0,01	0	0,05	0,02	0,03	0,01	
Guapiquilán I	Aextoxicon punctatum	0,61	1,91	0,39	0,37	0,11	44,32	0,72	61,56	3,17
		0,01	0,03	0,01	0,04	0	0	0,02	0,02	0,02
	Myrceugenia planipes	0,65	1,04	0,55	0,41	0,07	44,35	1,19	37,27	1,61
	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0,01	0	0,01	0,02	
Laurelia philippiana	1,54	1,12	0,62	0,37	0,11	-	-	-	0,73	
	0,04	0	0	0,02	0	-	-	-	0,03	
	Guapiquilán II	Aextoxicon punctatum	0,61	0,89	0,38	0,41	0,19	46,21	0,77	60,01
0,01			0,01	0,01	0,04	0,01	0,04	0	0,04	0,01
Myrceugenia planipes		1,12	0,78	0,49	0,75	0,12	43,38	1,09	39,08	0,71
0,01		0	0,01	0,01	0	0,12	0,01	0,12	0,01	
Laurelia philippiana	1,54	1,12	0,62	0,37	0,11	41,91	1,27	33,01	0,73	
	0,04	0	0	0,02	0	0,24	0	0,24	0,01	
	Isia Guafo	Aextoxicon punctatum	0,79	1,36	0,29	0,47	0,09	44,32	0,72	61,56
0			0,01	0	0,04	0	0	0,02	0,02	0,01
Rhaphithamnus spinosus		1,21	0,68	0,33	0,68	0,12	40,51	1,11	30,51	0,56
0		0	0,01	0,01	0	0	0,02	0,02	0	
Myrceugenia planipes	0,87	0,82	0,61	0,38	0,09	43,04	1,19	36,17	0,94	
	0,01	0,01	0,01	0,02	0	0	0	0	0,01	

ANEXO 4: Índices de esclerofilia de las hojas (%P, C/N, Ca/K) y grado de mineralización potencial del nitrógeno (Nmin., mg N/Kg suelo/semana) del suelo superficial bajo agrupaciones monoespecíficas.

Localidad	Especie	%P	C/N	Ca/K	Nmin.
Fray Jorge I	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,08	52,4	2,44	79,41
		0,01	0,01	0,01	-
Fray Jorge IVA	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,15	52,9	0,89	204,5
		0,01	0,05	0,01	-
	<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	0,14	30,3	0,76	168,6
		0,01	0,04	0,01	-
<i>Drimys winteri</i>	0,15	29,6	0,18	46,87	
	0	0,02	0,02	-	
Fray Jorge IVB	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,11	53,4	1,49	141,3
		0	0,07	0,01	-
	<i>Myrceugenia correifolia</i>	0,21	49,6	0,83	112,5
		0	0,09	0,02	-
<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	0,18	29,2	0,71	-	
	0,1	0,1	0,01	-	
Fray Jorge V	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,14	42,4	1,89	45,8
		0	0,00	0,01	-
	<i>Myrceugenia correifolia</i>	0,09	44,9	0,39	85,7
Zapallar	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0	0,9	0,01	-
		0,14	60,4	2,12	20,95
	<i>Myrceugenia obtusa</i>	0	0,05	0,01	-
		0,19	36,5	0,76	41,66
<i>Cryptocarya alba</i>	0	0,03	0,02	-	
	0,27	53,8	0,58	22,71	
	0	0,04	0,03	-	
Quebrada El Roble	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,07	72,3	2,38	22,38
		0	0,06	0,01	-
	<i>Cryptocarya alba</i>	0,11	81,8	0,71	-7,23
Co. Cayumanque	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0	0,03	0,01	-
		0,08	53,8	2,75	99,5
	<i>Drimys winteri</i>	0,01	0,15	0,01	-
		0,09	53,2	0,28	57,33
	<i>Luma apiculata</i>	0,01	0,15	0,01	-
0,09	41,5	1,89	32,48		
Qda. Rucaraqui	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0	0,05	0,02	-
		0,12	49,5	1,59	317,9
	<i>Laurelia philippiana</i>	0	0,01	-	-
		0,12	38,2	0,72	184,9
	<i>Myrceugenia planipes</i>	0	0,05	0,01	-
0,08	41,9	2,04	215,5		
Isla Mocha	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,01	0,05	0,03	-
		0,09	65,5	1,62	22,35
	<i>Myrceugenia planipes</i>	0,01	0,02	0,01	-
		0,07	49,1	1,67	40,75
	<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	0	0,03	0,04	-
0,13	1	0,92	62,98		
Fundo San Martín	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0	0,07	0,01	-
		0,13	53,7	1,07	34,3
	<i>Laurelia philippiana</i>	0	0,03	0,03	-
0,16	35,3	0,77	83,87		

Localidad	Especie	%P	C/N	Ca/K	Nmin.
Hueicolla		0	0,01	0,02	-
	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,1	56,3	1,37	-
		0	0,05	0,02	-
	<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	0,16	29	0,51	-
		0,01	0,05	0,08	-
	<i>Myrceugenia planipes</i>	0,16	34,6	0,97	-
		0,01	0,04	0,01	-
	<i>Laurelia philippiana</i>	0,12	44,7	1,42	-
Pastahué		0,01	0,02	0,02	-
	<i>Drimys winteri</i>	0,06	57,6	0,36	-
		0,01	0,05	0,01	-
	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,08	67,1	2,44	37,4
		0	0,05	0,02	-
	<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	0,24	21,4	0,74	-8,6
		0,01	0,05	0,04	-
	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,07	65,2	3,43	153,2
Auquilda		0,01	0,03	0,02	-
	<i>Myrceugenia planipes</i>	0,08	55,7	0,73	333,5
		0,01	0,11	0,05	-
	<i>Eucryphia cordifolia</i>	0,08	65,9	0,84	265,1
		0	0,03	0,03	-
	<i>Gevuina avellana</i>	0,06	63	0,42	136,1
Isla Alao		0	0,07	0,01	-
	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,08	44,7	2,38	211,1
		0	0,05	0,02	-
	<i>Myrceugenia planipes</i>	0,11	35,7	0,87	280,8
Abtao		0,11	0,01	0,04	-
	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,07	69,3	2,14	185,8
		0	0,04	0,02	-
	<i>Laurelia philippiana</i>	0,14	31	0,42	408,5
Guapiquillán I		0	0,04	0,04	-
	<i>Myrceugenia ovata</i>	0,07	50,9	0,99	150,3
		0	0,03	0,01	-
	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,11	61,6	3,17	-
Guapiquillán II		0	0,02	0,02	-
	<i>Myrceugenia planipes</i>	0,07	37,3	1,61	-
		0	0,01	0,02	-
	<i>Laurelia philippiana</i>	0,11	-	0,73	-
Isla Guazo		0	0,03	-	-
	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,19	60	1,46	-
		0,01	0,04	0,01	-
	<i>Myrceugenia planipes</i>	0,12	39,1	0,71	-
Isla Guazo		0	0,12	0,01	-
	<i>Laurelia philippiana</i>	0,11	33	0,73	-
		0	0,24	0,01	-
	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,09	61,6	1,72	284,4
Isla Guazo		0	0,02	0,01	-
	<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	0,12	30,5	0,58	340,7
		0	0,02	0	-
	<i>Myrceugenia planipes</i>	0,09	36,2	0,94	248,7
	0	0	0,01	-	

ANEXO 5 Índices de esclerofilia de la hojarasca (%P, C/N, Ca/K) y grado de mineralización potencial del nitrógeno (Nmin., mg N/Kg suelo/semana) del suelo superficial bajo agrupaciones monoespecíficas.

Localidad	Especie	%P	C/N	Ca/K	Nmin.
Fray Jorge I	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,06	60,69	9,24	79,41
		0	3,63	2,01	-
Fray Jorge IVA	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,07	48,22	9,51	204,5
		0,01	4,48	1,17	-
	<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	0,11	25,91	7,61	168,6
		0,01	3,25	0,11	-
		<i>Drimys winteri</i>	0,07	43,94	5,93
0,01	0,91	1,64	-		
Fray Jorge IVB	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,06	50,36	13,29	141,3
		0	7,71	1,99	-
	<i>Myrceugenia corraifolia</i>	0,08	45,62	13,21	112,5
		0	2,83	3,23	-
		<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	0,07	47,23	11,51
0,01	4,58	2,52	-		
Fray Jorge V	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,06	40,64	8,21	45,8
		0,01	1,55	3,27	-
	<i>Myrceugenia corraifolia</i>	0,09	35,21	5,91	85,7
0	2,72	0,41	-		
Zapallar	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,08	42,45	10,11	20,95
		0,01	8,33	1,39	-
	<i>Myrceugenia obtusa</i>	0,11	40,26	6,91	41,66
		0,02	8,22	1,98	-
		<i>Cryptocarya alba</i>	0,11	49,52	10,7
0,01	7,89	3,65	-		
Quebrada El Roble	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,06	65,58	5,96	22,38
		0	6,72	1,33	-
	<i>Cryptocarya alba</i>	0,07	113,9	1,88	-7,23
0,01	21,99	0,41	-		
Co. Cayumanque	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,07	59,29	10,42	99,5
		0,02	3,52	2,61	-
	<i>Drimys winteri</i>	0,05	47,24	1,47	57,33
		0,01	3,59	0,32	-
		<i>Luma apiculata</i>	0,04	49,43	9,25
0,01	4,31	1,77	-		
Qda. Rucaraqui	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,07	42,77	9,01	317,9
		0,01	16,45	0,72	-
	<i>Laurelia philippiana</i>	0,06	44,45	7,45	184,9
		0,02	7,67	2,59	-
		<i>Myrceugenia planipes</i>	0,06	50,51	7,41
0,01	0,61	1,51	-		
Isla Mocha	<i>Aextoxicon punctatum</i>	0,06	70,07	6,84	22,35
		0,01	8,28	0,77	-
	<i>Myrceugenia planipes</i>	0,06	75,85	6,95	40,75
		0,01	5,45	1,83	-
		<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	0,07	62,91	5,02
0,01	2,47	8,01	-		

Localidad	Especie	%P	C/N	Ca/K	Nmin.
Fundo San Martín	Aextoxicon punctatum	0,09	56,51	8,01	34,3
		0,01	1,94	1,92	-
	Laurelia philippiana	0,11	63,17	10,91	83,87
Pastahué	Aextoxicon punctatum	0,01	4,81	2,63	-
		0,07	60,72	16,36	37,4
	Rhaphithamnus spinosus	0,01	4,65	2,11	-
Auquilida		0,08	59,54	16,64	-8,6
	Aextoxicon punctatum	0,01	5,18	1,44	-
		0,04	80,83	14,63	153,2
	Myrceugenia planipes	-	-	-	-
		0,05	58,73	10,01	333,5
	Eucryphia cordifolia	-	-	-	-
		0,05	87,37	8,73	265,1
Isla Alao		-	-	-	-
	Aextoxicon punctatum	0,06	58,74	9,71	136,1
		-	-	-	-
	Aextoxicon punctatum	0,12	56,01	5,92	211,1
		0,02	3,52	0,42	-
	Myrceugenia planipes	0,08	42,21	5,66	260,1
		0,01	5,15	1,07	-
Abtao	Aextoxicon punctatum	0,05	84,69	10,46	185,6
		0	3,54	0,51	-
	Laurelia philippiana	0,06	73,78	9,33	406,5
		0,01	7,75	1,19	-
	Myrceugenia ovata	0,07	53,11	7,01	150,3
Guapiquillán I		0	3,58	1,11	-
	Aextoxicon punctatum	0,05	-	8,73	-
		0,03	-	0,08	-
	Myrceugenia planipes	-	-	-	-
		-	-	-	-
Guapiquillán II	Laurelia philippiana	-	-	-	-
		-	-	-	-
	Aextoxicon punctatum	-	-	-	-
	Myrceugenia planipes	-	-	-	-
		-	-	-	-
	Laurelia philippiana	-	-	-	-
Isla Guafo		-	-	-	-
	Aextoxicon punctatum	0,06	59,69	10,56	284,4
		0,01	13,33	2,28	-
	Rhaphithamnus spinosus	0,08	77,11	11,01	340,7
		0,01	2,69	1,32	-
	Myrceugenia planipes	0,06	82,14	11,33	248,7
	0,01	9,09	2,34	-	

ANEXO 6: pH (CaCl₂), contenidos de Ca, Mg, K y Na (según Mehlich), contenidos de P y K disponibles (Método CAL) y mineralización potencial del nitrógeno (Nmin., mg N/Kg suelo/semana) del suelo superficial bajo agrupaciones mono-específicas de las especies más frecuentes del bosque de "olivillo". Los valores con letras distintas indican donde existen diferencias significativas P < 0,05, según test de Tukey.

Localidad	Especie	pH	meq/100gr suelo				mg/100gr suelo			Nmin.
			Ca	Mg	K	Na	Pdia.	Kdia.		
Fray Jorge I	<i>Aextoxicon punctatum</i>	4,8	17,02	9,56	0,61	1,46	0,03	26,03	79,41	
			7,71	2,35	0,31	0,35	0,05	8,85	-	
Fray Jorge IVA	<i>Aextoxicon punctatum</i>	4,7a	36,75a	12,71	0,88	1,51	0,111	27,71	204,5	
			7,61	2,69	0,18	0,22	0,03	4,42	-	
	<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	4,2	21,99b	7,91	0,22	1,41	0,13	26,53	168,6	
			4,11	2,07	0,09	0,68	0,08	13,92	-	
Fray Jorge IVB	<i>Aextoxicon punctatum</i>	4,2b	9,47c	6,57	9,47	1,87	0,074	48,04	46,87	
			5,52	4,87	5,52	1,18	0,038	23,23	-	
	<i>Myrceugenia correfolia</i>	0,5a	49,32b	21,61	1,17	2,12	0,061	40,62	112,5	
Fray Jorge V	<i>Aextoxicon punctatum</i>	4,2b	10,39	5,57	0,61	0,44	0,02	22,55	-	
			-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	4,2b	-	-	-	-	-	-	-	
Fray Jorge V	<i>Aextoxicon punctatum</i>	4,8	20,67	7,24	0,74	0,63	0,085	24,37	45,8	
			10,33	3,91	0,21	0,34	0,023	13,12	-	
	<i>Myrceugenia correfolia</i>	5,1	46,71	23,57	1,63	0,83	0,254	57,91	85,7	
Zapallar	<i>Aextoxicon punctatum</i>	5,2a	28,36	18,12	0,42	0,05	0,077	9,24	-	
			28,55	7,18	0,39a	0,23	0,058	17,51	20,95	
	<i>Myrceugenia obtusa</i>	5,9b	6,64	2,61	0	0,11	0,034	5,81	-	
			31,15	5,06	0,65b	0,13	0,038	22,61	41,66	
Quebrada El Roble	<i>Cryptocarya alba</i>	5,8	6,58	0,24	0,11	0,05	0,014	7,11	-	
			25,91	6,15	0,45	0,11	0,048	19,71	22,71	
	<i>Aextoxicon punctatum</i>	5,2	2,81	4,13	0,09	1,82	0,011	5,82	-	
Co. Cayumanque	<i>Aextoxicon punctatum</i>	5,5	33,76	15,31	0,78	1,59	0,056	35,21a	22,38	
			2,81	4,13	0,09	1,82	0,019	9,11	-	
	<i>Cryptocarya alba</i>	5,4	26,01	10,77	1,34	0,53	0,073	63,01b	-7,23	
Qda. Rucaraqui	<i>Aextoxicon punctatum</i>	5,5	2,23	1,31	0,18	0,17	0,016	10,21	-	
			13,99a	3,28a	0,86a	0,11	0,013	26,01a	99,5	
	<i>Drimys winteri</i>	5,2	5,52	1,08	0,28	0,11	0,005	8,28	-	
			3,81b	0,68b	0,31b	0,13	0,02	10,87b	57,33	
Isla Mocha	<i>Luma apiculata</i>	5,5	0,93	0,24	0,16	0,04	0,004	4,99	-	
			5,09	1,09b	0,33	0,15	0,018	9,63b	32,48	
	<i>Aextoxicon punctatum</i>	4,7	0,62	0,24	0,03	0,01	0,002	0,78	-	
Qda. Rucaraqui	<i>Aextoxicon punctatum</i>	4,7	12,26	5,36	0,83c	0,21c	0,056a	45,47a	317,9	
			4,03	0,72	0,16	0,01	0,003	5,91	-	
	<i>Laurelia philippiana</i>	4,6a	6,05a	3,71a	0,44a	0,17b	0,027	37,01b	184,9	
Isla Mocha	<i>Myrceugenia planipes</i>	5,4b	1,81	0,45	0,12	0,03	0,007	2,13	-	
			22,61b	5,92b	1,48b	0,51c	0,014b	67,01c	215,5	
	<i>Aextoxicon punctatum</i>	4,8	18,14	1,78	0,32	0,11	0,007	7,67	-	
Isla Mocha	<i>Aextoxicon punctatum</i>	4,8	7,07a	17,63a	0,58	0,52	0,017a	14,71	22,35	
			1,47	1,88	0,04	0,01	0,003	2,01	-	
	<i>Myrceugenia planipes</i>	5	15,81b	24,29b	0,77	0,58	0,026	25,91	40,75	
Isla Mocha	<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	4,8	4,13	3,14	0,05	0,07	0,003	4,91	-	
			8,38	20,41	0,59	0,48	0,031b	22,01	62,98	
	<i>Aextoxicon punctatum</i>	4,8	2,81	6,12	0,31	0,08	0,012	8,81	-	

Localidad	Especie	pH	Ca meq/100gr suelo	Mg	K	Na	Pdia. mg/100gr suelo	Kdia.	Nmin.
Fundo San Martín	Aextoxicon punctatum	4,7	1,95	0,85	0	0,16	0,016	17,81	
			0,83	0,21	0	0,08	0,004	1,31	-
	Laurelia philippiana	4,6	2,34	0,88	0,05	0,09	0,013	16,43	83,87
			0,74	0,16	0,08	0,02	0,002	1,42	-
Pastahué	Aextoxicon punctatum	5,4	10,23	2,91a	0,24	0,17a	0,04a	26,37a	37,4
			2,71	0,68	0,05	0,04	0,015	5,71	-
	Rhaphithamnus spinosus	5,1	10,22	1,74b	0,16	0,11b	0,017b	12,21b	-8,6
			2,83	0,46	0,05	0,01	0,005	2,26	-
Auquilda	Aextoxicon punctatum	3,9a	1,28	1,11	0,25	0	0,043	54,31a	153,2
			0,72	0,56	0,06	0	0,017	9,88	-
	Myrceugenia planipes	4,3	5,36	1,81	0,16	0	0,018	27,53b	333,5
			2,54	0,78	0,07	0	0,011	13,93	-
	Eucryphia cordifolia	3,9a	4,71	2,03	0,25	0	0,047	37,43	265,1
			3,22	0,91	0,13	0	0,034	10,72	-
	Gevuina avellana	4,5b	2,87	0,99	0,16	0	0,012	19,34b	136,1
			2,05	0,39	0,09	0	0	6,74	-
Isla Alao	Aextoxicon punctatum	3,3	4,79	5,69	0,79	0,72	0,443	21,61	211,1
			1,15	0,65	0	0,19	0,204	2,31	-
	Myrceugenia planipes	5,4	26,94	36,87	0,88	1,03	0,007	29,21	280,1
			1,56	5,33	0,05	0,35	0,004	5,11	-
Abtao	Aextoxicon punctatum	4,4	6,11a	13,19a	0,83	0,91a	0,017a	11,81a	185,6
			5,08	8,92	0,88	0,26	0,011	6,21	-
	Laurelia philippiana	4,6	7,87	19,31	1,51	0,87	0,026	21,61	406,5
			0,49	4,35	0,58	0,21	0,003	4,51	-
	Myrceugenia ovata	4,4	13,56b	33,21b	1,05	1,24b	0,061b	29,91b	150,3
			1,78	5,15	0,14	0,04	0,014	6,11	-
Isla Guafo	Aextoxicon punctatum	5,6	33,69	17,71	1,35	2,88	0,103	43,73	-
			18,02	6,14	0,55	0,82	0,045	19,96	-
	Rhaphithamnus spinosus	5,4	33,05	23,85	1,36	4,63	0,078	63,43	340,7
			18,24	9,07	0,34	2,59	0,019	13,31	-
	Myrceugenia planipes	6,2	46,93	21,77	1,41	2,58	0,115	55,71	248,7
			0,65	3,39	0,13	0,71	0,007	8,67	-

Anexo 3: Valores de las variables químicas del suelo superficial con las cuales se realizó la correlación con el eje 1 para la ordenación de localidades a través del Decorana.

	pH	%C	%N	C/N	Nmin	%SB	CIC	Ca	Mg	K	Na
Fray Jorge I	4,8	5,75	0,47	12,2	79,41	57,44	49,15	17,02	9,56	0,61	1,46
Fray Jorge IVA	4,7	16,61	1,07	15,38	204,53	51,1	90,63	36,75	12,71	0,88	1,5
Fray Jorge IBB	4,2	15,51	0,96	16,06	141,29	57,98	69,43	24,68	11,89	1,12	2,48
Fray Jorge V	4,8	5,7	0,53	10,82	45,8	50,87	59,48	20,67	7,24	0,74	0,63
Cerro Santa Inés	4,5	13,55	0,65	20,85	120,63	53,53	52,86	20,33	7,27	0,2	0,52
Zapallar	5,2	4,43	0,38	11,81	20,95	72,9	50,44	28,55	7,16	0,39	0,23
Qda El Roble	5,2	11,71	0,64	18,33	22,38	59,57	86,39	33,76	15,31	0,78	1,59
Cayumanque	5,5	6,85	0,39	17,94	99,54	28,89	74,92	13,25	2,89	0,69	0,09
Rucaraqui	4,7	9,66	0,47	23,51	317,87	24,77	74,6	12,26	5,36	0,83	0,2
Isla Mocha	4,8	10,91	0,66	17,15	22,35	43,77	59,23	7,07	17,63	0,58	0,52
F. San Martín I	4,7	13,48	0,46	29,16	34,3	4,85	61,34	1,95	0,85	0,01	0,16
F. San Martín II	4,4	19,15	0,68	28,69	122,25	13,33	35,82	2,93	1,54	0,26	0,01
Hueicollá I	4,2	11,69	0,36	30,77	88,39	16,78	23,56	2,05	1,3	0,27	0,01
Hueicollá II	4,4	10	0,36	27,78	116,72	31,53	24,09	5,12	2,01	0,54	0,01
Auquilda	3,9	29,41	0,67	43,9	153,22	18,09	14,9	1,28	1,1	0,25	0,01
Pastanué	5,4	13,19	0,69	18,9	37,4	25,71	52,33	10,23	2,91	0,24	0,17
Abtao	4,4	9,95	0,71	13,79	182,59	29,72	66,93	6,1	13,19	0,83	0,91
Isla Alao	3,3	17,1	1,43	11,93	211,04	15,4	78,32	4,79	5,69	0,79	0,72
Isla Guafó	5,6	12,01	0,8	14,88	284,39	56,83	95,43	33,69	17,7	1,35	2,88