

**Historia Natural
del Parque Nacional Bosque Fray Jorge**

Francisco A. Squeo, Julio R. Gutiérrez & Iván R. Hernández
Editores

2004

GOBIERNO REGIONAL DE COQUIMBO (FNDF - BIP: 20.092.545-0)
CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (IV REGION)
UNIVERSIDAD DE LA SERENA
CENTRO DE ESTUDIOS AVANZADOS EN ZONAS ÁRIDAS

Ediciones Universidad de La Serena

Historia Natural del Parque Nacional Bosque Fray Jorge
(Primera Edición)

© Copyright es propiedad del “Gobierno Regional de Coquimbo” y la “Corporación Nacional Forestal”. Registro de propiedad intelectual N° 137.749 del 22 de enero de 2004.

Esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente y de cualquier forma, sólo para propósitos educacionales y no comerciales, mencionando la fuente de origen y editores.

ISBN 956-7393-21-4

Diagramación: Francisco A. Squeo – Marco Figueroa

Impreso en Chile por Elqui Gráfica, Huanhualí 491, La Serena. Fono-fax: 283620.
E-mail: elqui.grafica@vtr.net

Autores y Colaboradores

Lorgio Aguilera

Departamento de Biología, Universidad de La Serena, Casilla 599, La Serena, Chile;
Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) (www.ceaza.cl). E-mail:
laguiler@userena.cl

Gina Arancio

Departamento de Biología, Universidad de La Serena, Casilla 599, La Serena, Chile.
E-mail: garancio@userena.cl

Juan J. Armesto

Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile; Centro de
Estudios Avanzados en Ecología y Biodiversidad, Pontificia Universidad Católica de
Chile, Casilla 114-D, Santiago, Chile. E-mail: armesto@bio.puc.cl

Alejandro A. Cruzat-Gallardo

Departamento Ingeniería de Minas y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad
de La Serena, Benavente 980, La Serena, Chile. E-mail: acruzat@userena.cl

Jorge Cuvertino

Universidad de Turín, Italia.

Jean P. Francois

Centro de Estudios del Cuaternario de Fuego-Patagonia y Antártica (CEQUA),
Universidad de Magallanes, Chile; Laboratorio de Palinología y Paleoecología,
Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile. Email: jfrancois@latinmail.com

Iván E. Fernández

Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena. Casilla
599, La Serena. E-mail: ifernand@userena.cl

Julio R. Gutiérrez

Departamento de Biología, Universidad de La Serena, Casilla 599, La Serena, Chile;
Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) (www.ceaza.cl). E-mail:
jgutierrez@userena.cl

Iván R. Hernández

Corporación Nacional Forestal IV-Región, Vicuña Mackenna 310, Oficina 302,
Ovalle, Chile. E-mail: rihernan@conaf.cl

L. Felipe Hinojosa

Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile.

Fabián M. Jaksic

Centro de Estudios Avanzados en Ecología & Biodiversidad, Pontificia Universidad
Católica de Chile, Casilla 114-D, Santiago, Chile. E-Mail: fjaksic@bio.puc.cl

Paola Jara

Departamento de Biología, Universidad de La Serena, Casilla 599, La Serena, Chile.

Douglas A. Kelt

Department of Wildlife Fish and Conservation, University of California, Davis, CA 95696, USA.

David López

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) (www.ceaza.cl), La Serena, Chile. E-Mail: dlopez@userena.cl

Francisco López-Cortés

Departamento de Biología, Universidad de La Serena, Casilla 599, La Serena, Chile. E-Mail: flopez_uls@yahoo.com

Clodomiro Marticorena

Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Biológicas y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile. E-mail: cmartico@udec.cl

Carlos Medina

Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile.

Peter L. Meserve

Department of Biological Sciences, Northern Illinois University, DeKalb, IL 60115, USA.

W. Bryan Milstead

National Park Service, Coastal Institute, University of Rhode Island, Kingston, RI 02881, USA.

José E. Novoa-Jerez

Programa de Geografía Física Aplicada, Departamento de Ciencias Sociales, Universidad de La Serena, Casilla 599, La Serena, Chile; Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) (www.ceaza.cl). E-Mail: jnovoa@userena.cl

Cecilia Pérez

Centro de Estudios Avanzados en Ecología & Biodiversidad, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 114-D, Santiago, Chile.

Jaime Pizarro-Araya

Departamento de Biología, Universidad de La Serena, Casilla 599, La Serena, Chile.

Enrique Silva-Aranguiz

Centro de Estudios Avanzados en Ecología & Biodiversidad, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 114-D, Santiago, Chile. E-Mail: esilva@bio.puc.cl

Sergio I. Silva

Centro de Estudios Avanzados en Ecología & Biodiversidad, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 114-D, Santiago, Chile. E-Mail: ssilva@bio.puc.cl

Francisco A. Squeo

Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena, Casilla 599, La Serena, Chile (www.biouls.cl); Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) (www.ceaza.cl). E-Mail: f_squeo@userena.cl.

José Viada-Ovalle

Programa de Geografía Física Aplicada, Departamento de Ciencias Sociales, Universidad de La Serena, Casilla 599 - La Serena, Chile.

Julio A. Vásquez

Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile; Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) (www.ceaza.cl). E-Mail: jvasquez@ucn.cl

Juan M. A. Vega

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) (www.ceaza.cl), Coquimbo, Chile.

Solange Vega

Departamento de Biología, Universidad de La Serena, Casilla 599, La Serena, Chile.

Carolina Villagrán

Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile.

Antonio Vita

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Casilla 9206, Santiago, Chile.
E-mail: avita@uchile.cl

Contenido

Presentación (Felipe del Río, Intendente IV Región de Coquimbo)	ix
Prologo (Waldo Canto, Director Regional CONAF – IV Región)	xi
PARTE I. Antecedentes de la Historia Natural del Parque Nacional Bosque Fray Jorge	1
1 El enigmático origen del bosque relicto de Fray Jorge. Carolina Villagrán, Juan J. Armesto, L. Felipe Hinojosa, Jorge Cuvertino, Cecilia Pérez & Carlos Medina	3
2 Antecedentes bioclimáticos del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Francisco López-Cortés & David López	45
3 Geomorfología del Parque Nacional Bosque Fray Jorge: génesis y procesos actuales. José E. Novoa-Jerez, José Viada-Ovalle, David López & Francisco A. Squeo	61
4 Flora de las cumbres de la Cordillera de la Costa en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Gina Arancio, Paola Jara, Clodomiro Marticorena & Francisco A. Squeo	71
5 Fauna del Parque Nacional Bosque Fray Jorge: una revisión bibliográfica. Fabián M. Jaksic, Enrique Silva-Aranguiz & Sergio I. Silva	93
6 Estructura y dinámica de la vegetación del ecosistema semiárido del Parque Nacional Bosque Fray Jorge entre 1989 y 2002. Julio R. Gutiérrez, Peter L. Meserve & Douglas A. Kelt	115
7 Una investigación de largo plazo sobre interacciones de factores bióticos y abióticos del ecosistema semiárido del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Peter L. Meserve, Douglas A. Kelt, W. Bryan Milstead & Julio R. Gutiérrez	135
8 Localización espacial del bosque Fray Jorge en los Altos de Talinay, IV Región de Coquimbo. José E. Novoa-Jerez, José M. Viada-Ovalle, David López & Francisco A. Squeo	161
9 Heterogeneidad y diversidad florística del bosque de Fray Jorge. Francisco A. Squeo, Gina Arancio & José E. Novoa-Jerez	173
10 Riqueza de especies de plantas vasculares en los Altos de Talinay, Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Gina Arancio, Paola Jara, Francisco A. Squeo & Clodomiro Marticorena	189
11 Eslabones de una cadena rota: El caso del bosque relicto de Santa Inés. Jean P. Francois	205

12	Ecofisiología del bosque relicto de <i>Aextoxicon punctatum</i> (Olivillo) en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge, Coquimbo, Chile. Francisco A. Squeo, Jaime Pizarro-Araya & Solange Vega	219
13	Comunidades marinas costeras del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Julio A. Vásquez & Juan M. A. Vega.	235
PARTE II. Investigaciones de Tratamientos Silviculturales – Rescate del Bosque de Fray Jorge		253
14	Microorganismos fitopatógenos asociados al bosque de Olivillo (<i>Aextoxicon punctatum</i> Ruiz et Pav.) en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge, IV Región, Chile. Lorgio E. Aguilera	255
15	Caracterización química de los suelos del bosque Fray Jorge. Iván E. Fernández	265
16	El uso de las nieblas en la recuperación del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Alejandro A. Cruzat-Gallardo	281
17	Tratamientos silviculturales en el bosque de Fray Jorge: herramientas para su recuperación. Antonio Vita & Iván R. Hernández	293
18	Reforestación para la expansión de los bosquetes de Olivillo. Iván R. Hernández & Antonio Vita	307

Presentación

Un proceso de desarrollo requiere necesariamente, que se realice en armonía con el entorno natural, respetando las diversidades biológicas, sociales y culturales. En la actualidad, la humanidad va tomando una mayor conciencia colectiva de que no es posible el desarrollo sin sustentabilidad ambiental, posesionándose en ella el concepto de los “derechos ambientales” de los ciudadanos. Esta componente, cruza a todos los conflictos históricos de la sociedad surgiendo en consecuencia el concepto de la trilogía calidad de vida, ambiente y desarrollo.

El Gobierno de la Región de Coquimbo, conciente de esta situación, se ha fijado como misión para el período 2000 al 2006 el orientar su quehacer en el Desarrollo Integral de las Personas de la Región, en armonía con el entorno y donde ellas son el centro y fin de toda acción de los diversos actores.

En la implementación de acciones para la valoración del patrimonio natural, el Gobierno Regional ha sido pionero en Chile en el apoyar publicaciones referidas a la caracterización y conservación de sus recursos naturales. Un primer ejemplo es la reciente publicación, en el año 2001, del Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo (<http://www.biouls.cl/lrojo/>). Este texto es el primero en su naturaleza regional y a contribuido a sentar las bases para un programa nacional de definición de las especies con problemas de conservación, con bases científicas sólidas.

Uno de los ecosistemas relevante de la Región de Coquimbo, es el bosque de Olivillos que se encuentra protegido en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Este relicto, único en el mundo y Patrimonio de la Humanidad, es un componente natural de importancia científica y turística a nivel internacional. El aspecto fragmentado que presenta actualmente el bosque, sumado a antecedentes aportados por algunos investigadores sugerían que la formación de Olivillo-Petrillo-Canelo estaría en una franca reducción de superficie y con posible pérdida de su biodiversidad.

El proyecto “Investigación de Tratamientos Silviculturales Rescate Parque Nacional Bosque Fray Jorge” se puede calificar como una experiencia pionera de intervención-restauración dentro de un Parque Nacional. Este proyecto fue financiado con recursos del Fondo Nacional de Desarrollo Regional de la Región de Coquimbo por la resolución 155, de fecha 11 de noviembre de 1997 (Código BIP 20.092.545-0). La unidad ejecutora de este proyecto fue la Corporación Nacional Forestal de la IV Región de Coquimbo y contó con la participación activa de investigadores de las universidades de La Serena y de Chile.

Este proyecto tenía como objetivo, realizar ensayos de repoblamiento artificial en un área del bosque relicto, en una superficie cercana a las 5 ha, utilizando para tal efecto las especies arbóreas dominantes. Adicionalmente consideró la utilización de riego a través de atrapanieblas.

Otros objetivos estaba orientados a realizar una caracterización florística y vegetacional del bosque, evaluar la capacidad de regeneración natural, definir su tamaño y condición de conservación, así como evaluar probables limitaciones químicas, de fitopatógenos y de competencia. También se planteó la realización experimental de tratamientos silviculturales.

Como una forma de difundir los conocimientos obtenidos durante los 6 años de trabajo, como así mismo, información complementaria sobre los ambientes bióticos y abióticos de esta unidad protegida del Estado de Chile, se entrega a la comunidad nacional e internacional, el presente libro, motivo de orgullo para el Gobierno de la Región.

En este libro se reúne el conocimiento de la historia natural del Parque Bosque Fray Jorge, lo que lo hace único a nivel nacional. Esta es la primera unidad del sistema nacional de áreas silvestres protegidas del estado (SNASPE) que posee una compilación tan importante y actualizada de sus recursos naturales. En la primera parte se reúnen trabajos que explican el origen del bosque, las características bioclimáticas y geomorfológicas, su flora y fauna, su biodiversidad y la dinámica ecológica de los distintos ambientes presentes en el parque, incluyendo además del bosque, el importante y bien conservado matorral xerofítico y los ambientes marinos costeros. En la segunda parte de este libro se reúne la información sobre los organismos fitopatógenos asociados al bosque, la caracterización química de los suelos, el uso de las neblinas en las acciones de recuperación. Por último, se presenta los resultados de los tratamientos silviculturales y de reforestación experimental del bosque.

Luego de seis años de iniciada la ejecución de este proyecto prioritario para la Región, el parque cuenta con una superficie forestada de cinco hectáreas que tendió a reducir la fragmentación vía la conexión de pequeños bosquetes, lo que aumentará la capacidad natural de colecta de neblina y posibilitará el desarrollo de un ambiente de sotobosque. Mas importante aún, es la consolidación de información básica que permitiría emprender nuevas acciones de manejo y restauración en sectores del bosque que efectivamente fueron alterados por el hombre en el pasado, y que presentan altas potencialidades de éxito.

No quisiera finalizar esta presentación, sin antes agradecer a todos aquellos que de una forma u otra hicieron posible este estudio: a los guardaparques, a los profesionales de CONAF, a los académicos de las universidades de La Serena y de Chile, al personal del Gobierno Regional que tubo el control técnico y financiero y en forma muy destacada al Consejo de Desarrollo Regional, todos los cuales han contribuido a generar un mayor conocimiento sobre nuestro patrimonio natural y en definitiva a desarrollar una cultura propia.

Felipe del Río Goudie
Intendente
Región de Coquimbo

Prólogo

El Parque Nacional Bosque Fray Jorge es una Unidad emblemática del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado que administra la Corporación Nacional Forestal, ya que suma además el reconocimiento internacional del Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB) de la UNESCO al ser nominada el año 1977 como Reserva de la Biosfera. En la actualidad sólo 7 áreas silvestres del país tienen tal alta distinción.

Las Reservas de la Biosfera deben cumplir con tres funciones complementarias: una función de conservación para proteger los recursos genéticos, las especies, los ecosistemas y los paisajes; una función de desarrollo, a fin de promover un desarrollo económico y humano sostenible; y una función de apoyo logístico, para respaldar y alentar actividades de investigación, de educación, de formación y de observación permanente relacionadas con las actividades de interés local, nacional y mundial encaminadas a la conservación y el desarrollo sostenible.

Esta opción por la sustentabilidad es un desafío permanente para quienes postulan un modelo de desarrollo estrechamente relacionado con variables ambientales, económicas, sociales y culturales, pero cuyo eje articulador sea el ser humano. Esta afirmación se ha ido posesionando paulatinamente del pensamiento colectivo de nuestra sociedad, la cual además, ha determinado que la protección del medio ambiente es un factor clave e ineludible si pretendemos lograr el desarrollo que se postula.

Consecuencia de lo anterior ha sido la génesis y concepción del proyecto “Investigación de Tratamientos Silviculturales Rescate Parque Nacional Bosque Fray Jorge”, formulado por esta Corporación y ejecutado con recursos del Fondo Nacional de Desarrollo Regional, merced al apoyo entregado por las autoridades regionales. Los resultados de esta investigación, desarrollada en conjunto con investigadores de la Universidad de La Serena y de la Universidad de Chile son puestos en sociedad a través del presente texto.

Este libro que reúne el conocimiento de la historia natural del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, destaca por su unicidad educativa y científica, puesto que hace de la unidad mencionada, la primera del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado que posee una compilación tan importante y actualizada de sus recursos naturales, entre los que se incluyen: historia natural del origen del bosque, características bioclimáticas, geomorfología, flora, fauna, biodiversidad y dinámica ecológica de sus distintos ambientes. En su segunda parte se consideran variables como fitopatógenos, química de suelos, uso de neblinas en la recuperación y los importantes resultados de los tratamientos silviculturales y de reforestación experimental del bosque.

La participación ciudadana supone y requiere el manejo de información confiable, oportuna y de calidad; en consecuencia, este libro que entregamos a la comunidad más que un tratado científico debe considerarse una herramienta de gestión que contribuye a fortalecer el proceso de conocimiento e integración de la ciudadanía en el resguardo del patrimonio natural de la Región de Coquimbo.

Este libro se agrega al Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitos Prioritarios para su Conservación de la Región de Coquimbo entregado a la sociedad el año

2001 (<http://www.biouls.cl/lrojo/>), en la búsqueda de avanzar en el desarrollo de los procesos sociales necesarios para lograr una sociedad que conozca, valore y resguarde su patrimonio natural y áreas silvestres en el marco de un desarrollo sustentable. También, este documento será de utilidad para el proceso que impulsa el Ministerio de Educación, CONAF y CONAMA para el Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educativos.

Finalmente, es un deber agradecer a las autoridades regionales, al señor Intendente, a los integrantes del Consejo Regional, a los investigadores de la Universidad de La Serena y Universidad de Chile. Igualmente, vaya mi reconocimiento a los técnicos, guardaparques y profesionales de esta Corporación, especialmente al Ingeniero Forestal Sr. Iván Rodrigo Hernández quién lideró la gestión de esta investigación.

Waldo Canto Vera
Director
Corporación Nacional Forestal
Región de Coquimbo

Capítulo 1

El enigmático origen del bosque relicto de Fray Jorge.

CAROLINA VILLAGRÁN, JUAN J. ARMESTO, L. FELIPE HINOJOSA,
JORGE CUVERTINO, CECILIA PÉREZ & CARLOS MEDINA

RESUMEN

El origen y desarrollo del bosque de Fray Jorge (FJ), dominado por olivillo, tiene estrecha vinculación con los eventos tectónicos y climáticos que afectaron el territorio de Chile durante el Terciario y Cuaternario. Los componentes leñosos de la flora de FJ se encuentran presentes en las Paleofloras del Paleógeno y corresponden a linajes tropicales con vínculos australasianos que poblaron el sur del continente Sudamericano antes del desmembramiento del Gondwana occidental, bajo condiciones climáticas más cálidas y lluviosas que las actuales. La segregación de los espectros florísticos característicos de los bosques subtropicales actuales de Chile, es decir, tanto de los relictos de neblina (tipo FJ) como del Bosque Esclerófilo de Chile central, se habría producido durante el calentamiento climático del Mioceno, a partir de las Paleofloras Mixtas de Chile central, que perdieron gran parte del elemento austral-antártico frío y se enriquecieron con aportes de linajes Neotropicales durante un período de continuidad con las floras del subtrópico Sudamericano (pre-levantamiento final de los Andes). Este período se habría caracterizado por un clima cálido y un régimen pluviométrico biestacional, con lluvias invernales procedentes del oeste y lluvias estivales del este. A finales del Terciario, la conjugación de una serie de eventos, tales como la glaciación de la Antártica occidental y Patagonia, formación de la Corriente fría de Humboldt y levantamiento final de los Andes, determinaron el desarrollo de la “Diagonal Árida” de Sudamérica, la cual habría sido causante de: a) el desmembramiento de los bosques subtropicales Terciarios del cono sur de América y su restricción a los márgenes Pacífico y Atlántico del continente; b) fragmentación y contracción del margen norte de los bosques subtropicales de la costa Pacífica, debido al aumento de la aridez en el Desierto de Atacama; c) expansión de los bosques subtropicales del tipo esclerófilo en Chile central, producto del efecto de “barrera” de los Andes al flujo de los vientos húmedos de fuente Amazónica. Paralelamente, el paulatino levantamiento tectónico de las Alturas de Talinay, formación donde se encuentra hoy el bosque de FJ, en el Pleistoceno temprano a medio, proporcionó un refugio propicio para la persistencia de los remanentes más boreales del bosque subtropical, i.e., bosque de FJ. Postulamos que, con posterioridad, el aislamiento gradual de la cadena de bosques relictos del Norte Chico, al sur de FJ, se produjo desde el norte hacia el sur, como lo sugieren los patrones latitudinales de afinidad florística y edáfica. Durante los repetidos y prolongados períodos glaciales del Pleistoceno, los desplazamientos hacia el norte de los vientos del oeste, y concomitantes cambios de extensión de la Diagonal Árida, determinaron climas más húmedos y fríos en Chile central-sur. Probablemente, las condiciones más húmedas de los períodos glaciales

permitieron la subsistencia y continuidad de la comunidad boscosa relictual (olivillo) a lo largo de la costa de Chile centro-norte, aunque la paulatina incorporación de los componentes esclerófilos y valdivianos habrían alterando su flora y estructura vegetal. En contraste, los períodos interglaciales como el actual representaron marcados incrementos de aridez que acentuaron las discontinuidades de la comunidad costera de olivillo. La expansión del matorral semi-árido y restricción de los bosques relictos a cimas de cerros con neblina permanente, habría conducido tempranamente a la pérdida de los eslabones que conectaban FJ con Chile central, como lo demuestra la ausencia de elementos del Bosque Esclerófilo en los relictos del Norte Chico. La pérdida de especies, asociada a la reducción del área y fragmentación de los manchones de bosques relictos, habría determinado la fuerte dominancia actual del olivillo, una especie “pre-adaptada” a las condiciones de sequía.

Palabras Clave: Paleoflora, cambio climático, Terciario, aislamiento, fragmentación, Diagonal Árida, Glaciaciones.

INTRODUCCIÓN

Entre los problemas evolutivo-biogeográficos del territorio chileno, ninguno iguala el interés suscitado, desde hace ya más de un siglo, por el enigmático origen de Fray Jorge, el bosque más boreal de Chile, un archipiélago de verdes islas oscuras, flotando entre las densas neblinas que circundan las llamadas Alturas de Talinay (30°40'S; 71°35'O, 450 msm). Más que la increíble mantención de este enclave de vegetación higrófila, inmersa en una matriz de matorrales áridos, gracias al particular microclima proporcionado por la condensación de neblinas en las cimas de cerros costeros (Fig. 1), lo que ha fascinado a los naturalistas son las sorprendentes “disyunciones” biogeográficas, es decir, las amplias discontinuidades que exhiben los rangos de distribución de numerosos taxa de Fray Jorge. Esto se traduce en las notables afinidades que exhibe la flora de Fray Jorge (FJ) con la de distantes territorios del sur de Chile, separados por varios cientos o miles de kilómetros. Así, al nivel de especies, el bosque de FJ muestra sorprendente similitud con las comunidades templado-lluviosas del Bosque Valdiviano y Nordpatagónico del sur de Chile, y con las islas continentales y oceánicas de la costa Pacífica chilena, particularmente los Archipiélagos Guapiquilán y Esmeralda, al sur de Chiloé, y las islas Mocha y Guafo. Al nivel de géneros, el bosque de FJ presenta vínculos florísticos aún más notables con distantes territorios del globo, tales como Australasia, región separada actualmente por cerca de 10.000 km de océano; el Archipiélago de Juan Fernández, 650 km al oeste de la costa de Chile central (33° S), y los bosques neotropicales del sur de Brasil y Andes orientales de Bolivia y Argentina, separados por Cordilleras de hasta 6000 m de altitud y por más de 1000 km. de ecosistemas semiáridos, distribuidos a lo largo de la llamada “Diagonal Árida” del continente (Troncoso et al. 1980, Villagrán & Hinojosa 1997). Estas sorprendentes vinculaciones florísticas son las que han llevado a consignar al bosque de Fray Jorge como un “relicto”, es decir, un remanente de una antigua biota que pobló el territorio chileno en el pasado, bajo condiciones climáticas distintas a las actuales.

Frente a la pregunta acerca de la edad de las disyunciones y la procedencia de la enigmática flora y vegetación de Fray Jorge, dos hipótesis han dominado la literatura. De acuerdo a Philippi (1884) y Schmithüsen (1956), FJ sería un relictos del período Terciario, un remanente del antiguo poblamiento de nuestro territorio con bosques



Fig. 1. Aspecto del bosque de Fray Jorge y de la vegetación árida circundante. a. Alturas de Talinay, vistas desde la carretera Panamericana, mostrando la capa de neblina que rodea al bosque de Fray Jorge. b. Detalle de las cimas de Fray Jorge rodeadas por la neblina. c-h. Fisionomía del matorral xerofítico circundante al bosque de Fray Jorge y detalle de su flora, *Fuchsia lycioides* (d), *Leucocoryne purpurea* (g), *Puya chilensis* (h). i-k. Flora del interior del bosque, epífitas (i), Helechos (j) y Hongos (k).

cálidos y húmedos procedentes del Neotrópico. Para otros autores, FJ sería un relictos de las expansiones y retracciones de la vegetación chilena austral durante los ciclos glaciales-interglaciales del Cuaternario. De acuerdo a esta última hipótesis, la edad de los relictos de olivillo del Norte Chico puede ser asignada tanto al Pleistoceno tardío (Looser 1935, Skottsberg 1948), como al Pleistoceno temprano a medio (Muñoz & Pisano 1947, Wolfhügel 1949, Troncoso et al. 1980). Muchas veces, ambas hipótesis han sido consideradas como alternativas en la literatura y el énfasis en una u otra ha significado un acicate para la investigación, poniendo de relieve la extrema complejidad del enigmático origen de Fray Jorge.

Con respecto al problema del origen de FJ, se evitarían discusiones innecesarias si se considerara la perspectiva de Croizat (1962), el padre de la biogeografía de la vicarianza, quien destacó la importancia de identificar las escalas temporales y espaciales adecuadas para cada pregunta, separando así tres problemas diferentes pero interrelacionados: la edad del bosque aislado que encontramos hoy en las cimas de Fray Jorge, la edad de la comunidad vegetal (ensamble florístico) representada en FJ, y el origen de los elementos componentes de esta flora. En concordancia con esta advertencia de Croizat, los avances en la investigación paleobotánica del Terciario de Chile central y los estudios palinológicos y paleoclimáticos del Cuaternario de Chile de las dos últimas décadas, han puesto en evidencia que el problema del origen de la flora de FJ está ineludiblemente ligado al origen, desarrollo y paleodistribución de los bosques de Chile durante el Terciario, mientras que las “islas” de vegetación en las cimas de cerros costeros de Chile, como es el caso de Fray Jorge, corresponderían a remanentes de poblaciones que ocuparon altitudes menores que las actuales durante las eras glaciales del Pleistoceno. En este trabajo se revisan los antecedentes acerca de las afinidades florísticas, vegetacionales y edáficas entre FJ y otros bosques chilenos (Villagrán & Armesto 1980, Pérez & Villagrán 1985, Pérez 1994, Pérez & Villagrán 1994), se actualizan patrones fitogeográficos (Troncoso et al. 1980, Villagrán & Hinojosa 1997) de la flora de FJ, considerando filogenias moleculares recientemente publicadas, y se rediscuten las hipótesis acerca del origen del bosque, sobre la base de los modelos recientemente propuestos para la historia de los bosques chilenos durante el Terciario (Hinojosa 1996, 2003, Hinojosa & Villagrán 1997, Hinojosa & Villagrán manuscrito) y Cuaternario (Villagrán 2001).

AFINIDADES FLORÍSTICAS

El bosque relictos de Fray Jorge, con estrato arbóreo dominado por el olivillo (*Aextoxicon punctatum*) y la petrilla (*Myrceugenia correifolia*), no se encuentra totalmente aislado de sus análogos del sur de Chile, ya que en la costa de Chile central-norte existen varios otros sitios dominados por una o ambas especies relictuales. Para destacarlo con palabras de Looser (1935), se trata de “aisladas vanguardias de la flora austral... verdaderos eslabones aislados de una cadena rota que antes unió la vegetación del sur con la de Fray Jorge”. En la Figura 2 se muestran estos sitios en un esquema de la Cordillera de la Costa de Chile, destacándose las “islas” relictas ubicadas en cimas de cerros y quebradas de Chile central-norte, además de la distribución general de la asociación *Lapagerio-Aextoxiconetum* (Oberdorfer 1960) del Bosque Valdiviano, la más oceánica y con un dosel en que domina el olivillo.

En un análisis comparativo se cuantificó la similitud florística (excluyendo herbáceas y plantas no vasculares) entre trece sitios boscosos que abarcan el rango

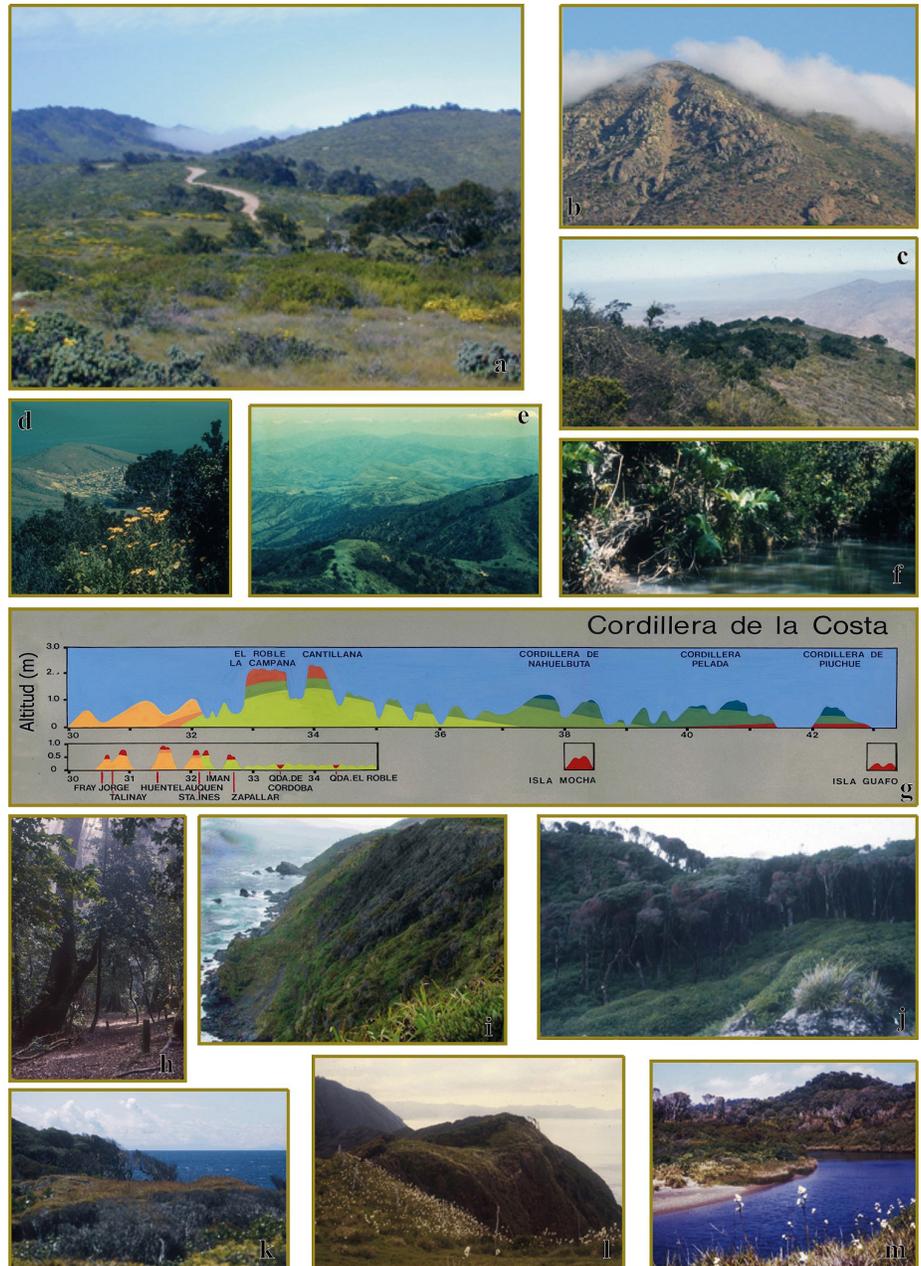


Fig. 2. Aspecto de los bosques de Olivillo a lo largo de Chile y esquema de su distribución. a. Fray Jorge. b. Cerro Talinay. c. Cerro Santa Inés. d. Qda. Agua Potable, Zapallar. e. Quebradas de Zapallar, vistas desde la cumbre La Higuera. f. Quebrada El Roble. g. Corte a lo largo de la Cordillera de la Costa, entre 33° y 44°S, destacando en rojo la distribución del olivillo en cimas de cerros y quebradas de Chile central-norte y en el litoral e islas del sur de Chile (Villagrán 1994). h. Isla Mocha. i. Guabún, Isla Grande de Chiloé. j. Isla Quilán, Archipiélago Guapiquilán. k. Isla Mayor, Archipiélago Esmeralda. l-m. Isla Guafo.

completo de la distribución del olivillo en Chile, entre FJ e Isla Guafo (30-44° S), distinguiendo cuatro sectores geográficos: 1) Norte Chico, incorporando la flora vascular de los cuatro relictos de cimas de cerros más boreales descritos en la literatura, separados entre sí por formaciones áridas: Fray Jorge (FJ), Talinay (T), Huentelauquén (H) y Santa Inés (SI), todos ellos incluidos en la asociación *Peperomio-Aextoxiconetum* descrita por Oberdorfer (1960). 2) Centro, incluyendo tres sitios de Chile central con bosque esclerófilo mezclado al elemento característicos de los bosques relictos dominados por olivillo, quebradas El Tigre (Ti), Córdoba (C) y El Roble (R), todos ellos integrados en la asociación *Boldo-Cryptocaryetum* (Oberdorfer 1960). 3) Centro-sur, incluyendo la Reserva Nacional Los Queules (Q), con bosque decíduo Maulino de *Nothofagus*, mezclado con elemento esclerófilo y relictual, con presencia abundante de olivillo. 4) Sur, incluyendo cinco localidades representativas de las tres asociaciones características del bosque templado-lluvioso tipo Valdiviano, con presencia de olivillo en el dosel: Villarrica (Vi), con bosque de roble y lingue (Asociación *Nothofago-Perseetum*, Oberdorfer 1960); Pérez Rosales 1 (PR1), con bosque de ulmo (Asociación *Eucryphietum*, Schmithüsen 1956); y tres localidades representativas de la asociación valdiviana dominada por el olivillo (Asociación *Lapagerio-Aextoxiconetum*, Oberdorfer 1960), tanto costero (Valdivia, Va), como andino (Pérez Rosales 2, PR2) e insular (Isla Guafo, G). Las floras de los 13 sitios, basadas en antecedentes publicados (Villagrán & Armesto 1980, Pérez & Villagrán 1985, 1994), agregando datos inéditos de los autores para isla Guafo y la flora de la Reserva Nacional Los Queules, fueron comparados usando el índice de similitud de Jaccard (Magurran 1988), que se basa en las diferencias en presencia y ausencia de especies entre sitios. El índice alcanza valores entre 0 (máxima diferencia) y 1.0 (todas las especies compartidas). En el dendrograma resultante (Fig. 3) se observa un conglomerado que agrupa las localidades del centro y Norte Chico y otro conglomerado que integra los sitios con bosque Valdiviano del sur de Chile. La localidad de los Queules ocupa una posición intermedia entre los dos grupos citados. Por otra parte, la localidad más

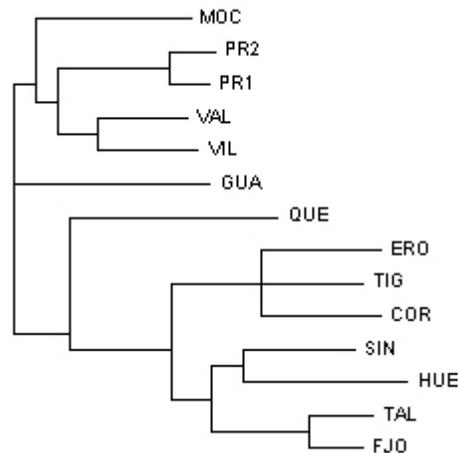


Fig. 3. Dendrograma de afinidades florísticas basado en el índice de Jaccard, considerando 13 sitios de bosques de olivillo en Chile central-sur (MOC= Isla Mocha, PR2= Pérez Rosales 2, PR1= Pérez Rosales 1, VAL= Valdivia, VIL= Villarrica, GUA= Isla Guafo, QUE= Los Queules, ERO= Q. El Roble, TIG= Q. El Tigre, COR= Q. de Córdoba, SIN= Cerro Sta. Inés, HUE= Huentelauquén, TAL= Talinay, FJO= Fray Jorge).

austral, Isla Guafo, se segrega de todos los sitios comparados. Dentro del conglomerado norte-centro, las cuatro localidades relictas del Norte Chico aparecen agrupadas separadamente de las localidades con bosque esclerófilo de Chile central, destacándose la alta afinidad entre los bosques aislados de FJ y Talinay.

En las Figuras 4 a-d se muestra la relación entre los valores de similitud florística, de acuerdo al índice de Jaccard, y la distancia geográfica, medida en km, entre pares de localidades, usando como modelo las dos localidades extremas (Fray Jorge e Isla Guafo), una localidad de Chile central (El Tigre) y una de Bosque Valdiviano (Valdivia). Como es esperable, en todos los gráficos se observa una relación decreciente entre la similitud florística y la distancia entre los sitios, partiendo de una similitud máxima de 1,0 cuando la distancia es cero. Sin embargo, estas tendencias no son equivalentes para todos los sitios comparados, ya que existen importantes diferencias asociadas a la posición de los bosques en el gradiente latitudinal. Para contrastar el comportamiento de los relictos aislados del Norte Chico, separados entre sí por vegetación semiárida, con las tendencias generales de las áreas boscosas históricamente continuas del centro-sur de Chile, realizamos un análisis de regresión entre distancia y afinidad florística sólo con estos últimos, excluyendo de la regresión los bosques relictos.

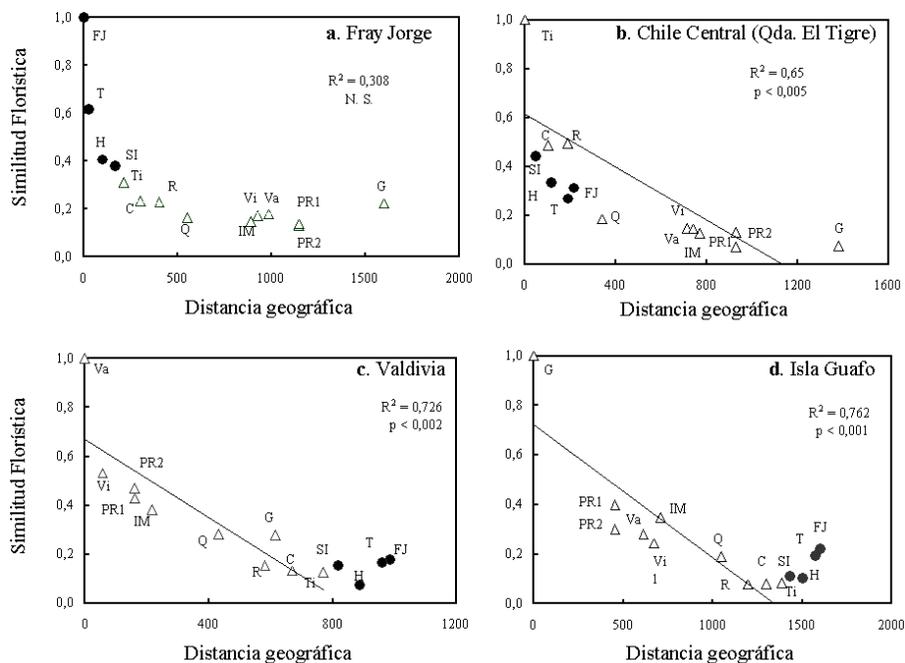


Fig. 4. Similitudes de la flora de 13 sitios de bosques de olivillo de Chile sur-central en relación a la distancia geográfica entre pares de sitios comparados. (Siglas de cada localidad se definen en el texto). Círculos: Localidades aisladas de la zona semiárida. Triángulos: Localidades continuas de Chile centro-sur.

En el caso del bosque de Fray Jorge (Fig. 4a) del extremo norte, al excluir de la regresión los relictos del Norte Chico, ya no se detecta un decrecimiento significativo de la similitud florística con la distancia, es decir, FJ exhibe niveles análogos de

afinidad florística con todos los bosques del centro y sur de Chile comparados. En contraste, los bosques relictos aislados del Norte Chico, a pesar de su cercanía con FJ, muestran un pronunciado decrecimiento de la similitud florística con la distancia.

La comparación del bosque de Quebrada El Tigre (Fig. 4b) de Chile central con los bosques del sur se caracteriza por un marcado y significativo descenso de la similitud florística con la distancia, destacando los bajos niveles de afinidad florística entre esta localidad de Chile central y los cuatro relictos aislados del Norte Chico, no incluidos en la regresión. Estos últimos, a pesar de su cercanía con El Tigre, caen por bajo la línea de regresión.

La relación entre afinidad florística y distancia para el bosque de Valdivia (Fig. 4c) del sur de Chile muestra la misma tendencia decreciente y significativa que el bosque de quebrada El Tigre, considerando todos los sitios de Chile centro-sur. En contraste con Quebrada El Tigre, en este caso las similitudes con los cuatro relictos aislados del Norte Chico caen por sobre la línea de regresión, mostrando estos bosques mayores niveles de afinidad florística que los esperados con las asociaciones valdivianas.

Por último, en el caso del bosque más austral comparado, Isla Guafo (Fig. 4d), existe también una tendencia decreciente significativa de la similitud florística con la distancia entre los sitios, considerando localidades de Chile centro-sur. Nuevamente, como en el caso de Valdivia (Fig. 4c), los cuatro relictos del Norte Chico se ubican por encima de la línea de regresión. Más aún, al contrario de lo esperado, éstos muestran una relación creciente entre afinidad florística y su distancia con la Isla Guafo, hecho que pone de relieve los mayores niveles de afinidad que se registran entre las localidades extremas del rango latitudinal del bosque de olivillo en Chile, Isla Guafo y Fray Jorge.

RELACIONES VEGETACIONALES Y EDÁFICAS

Comparaciones similares a las florísticas han sido llevadas a cabo para la estructura de la vegetación, clima y características químicas de los suelos en bosques de olivillo de la costa de Chile central-sur (Pérez 1994, Pérez & Villagrán 1985, 1994). Tal como se mostró en el análisis de afinidades florísticas, las abundancias (área basal de troncos y cobertura de follaje) y diversidad de especies muestran también patrones de interés biogeográfico: 1) Considerando la estructura de la vegetación existe nuevamente una estrecha similitud entre los bosques relictos del Norte Chico comparados (FJ, Huentelauquén y Sta. Inés) y los bosques templado-lluviosos del sur de Chile; 2) se observan fuertes pendientes de las curvas dominancia-diversidad en los relictos del Norte Chico, determinados por alta dominancia de *Aextoxicon punctatum*, tanto en términos de área basal de troncos como cobertura de follaje; 3) en comparación, se observan menores pendientes de las curvas dominancia-diversidad en Chile central, determinadas por una distribución más similar de las abundancias entre especies, debido a la incorporación de taxa esclerófilos con abundancias intermedias (Pérez & Villagrán 1985).

La relación entre parámetros edáficos, por ejemplo el porcentaje de saturación de bases (Fig. 5), y la posición latitudinal de los bosques costeros de olivillo, entre 30° 40'S y 44° S, muestra que las dos localidades más australes comparadas (Islas Guapiquilán y Guafo) exhiben valores similares a Fray Jorge, que caen fuera de la tendencia latitudinal. Si no se consideran estas dos localidades en el análisis de

regresión, se observa una tendencia lineal significativa de descenso del porcentaje de saturación de bases con la latitud (Pérez & Villagrán 1994). Pérez (1994) ha sugerido que, además de las condiciones del microclima, las similitudes edáficas entre los extremos norte y sur de la distribución del bosque de olivillo se deberían a la mayor dominancia de esta especie en el dosel. Sus hojas fuertemente esclerófilas determinarían, en gran medida, las características químicas del follaje, hojarasca y suelo superficial como, por ejemplo, bajas tasas de mineralización del nitrógeno del suelo, que producen limitación de nutrientes. Esta fuerte esclerofilia del olivillo determinaría mayor afinidad entre los suelos de los sitios en que la especie domina. Representaría una adaptación a los ambientes oceánicos que ocupa preferencialmente la especie, reduciendo las pérdidas de agua debidas al efecto de sequía fisiológica. Pese a la alta humedad atmosférica de los ambientes oceánicos, las plantas experimentan sequía provocada por el alto contenido de sales del “spray” marino.

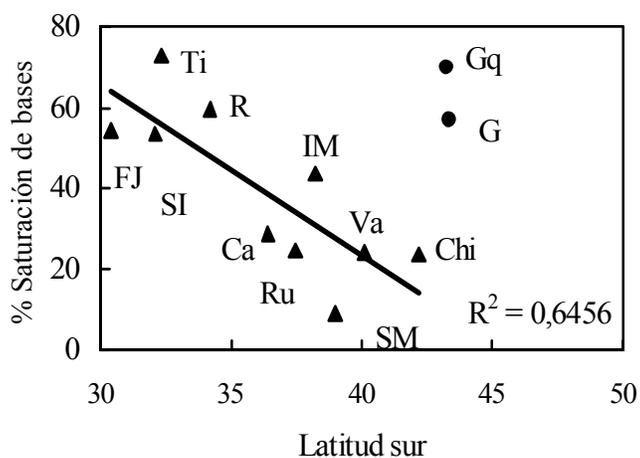


Fig. 5. Variación latitudinal en el porcentaje de saturación de bases del suelo en distintos bosques costeros de olivillo en Chile central-sur (modificado de Pérez & Villagrán 1994, Perez 1996). Los círculos (no incluidos en la regresión) muestran las dos localidades más australes. Sitios: FJ= Fray Jorge, SI= Sta. Inés, Ti= Q. El Tigre, R= Q. El Roble, Ca= Cerro Cayumanque, IM= Isla Mocha, Ru= Q. Rucaraquim, Va= Valdivia, SM= Fundo San Martín, Ch= Isla de Chiloé, G= Isla Guafo, Gq= Isla Guaquipilán.

DISYUNCIONES GEOGRÁFICAS ESPECÍFICAS

Flora leñosa

Aextoxicon punctatum Ruiz et Pav., el olivillo o tique (Fig. 6), único miembro del género *Aextoxicon*, es endémico de los bosques del sur de Sudamérica. Exhibe distribución aislada en las cimas de cerros de los relictos del Norte Chico y en quebradas húmedas del litoral de Chile central, entre 32° a 34°S, y desde allí al sur, domina en los pisos altitudinales inferiores de la vertiente Pacífica de la Cordillera

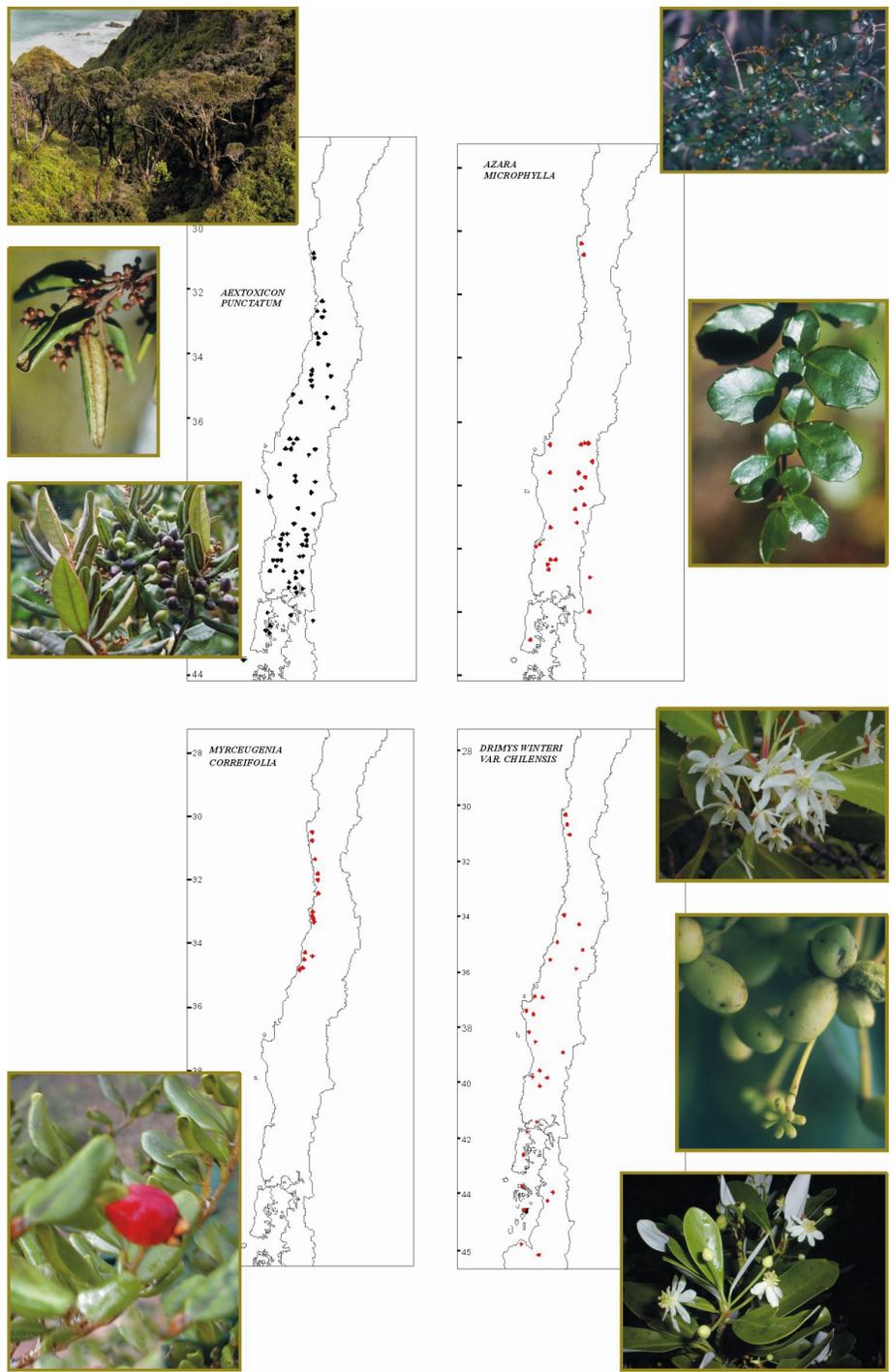


Fig. 6. Hábitos y distribución en Chile de especies de *Aextoxicon*, *Azara*, *Myrceugenia* y *Drimys*.

de la Costa, hasta la Isla Grande de Chiloé e islas circundantes del extremo SO. Es escaso en los Andes chilenos, con un par de localidades argentinas cercanas al sur de la distribución chilena, mientras que crece profusamente en la costa Pacífica de Chiloé e islas de su extremo SO, como los Archipiélagos de Guapiquilán, Esmeralda e Isla Guafo, esta última constituyendo el límite sur de la especie.

Azara microphylla Hook. f., chiñchiñ (Fig. 6). De las ocho especies chilenas del género *Azara*, *A. microphylla* es la única representada en Fray Jorge. La especie crece aislada en los dos relictos boreales, Fray Jorge y Talinay. Su rango de distribución es ampliamente disyunto, con una extensa área de hiato que llega hasta el río Ñuble, alrededor de los 37°S. Desde allí al sur, su rango es continuo hasta la isla Grande de Chiloé, con escasa representación en la vertiente argentina adyacente, cercana al extremo sur de distribución chilena de la especie.

Myrceugenia correaefolia (Hook. et Arn.) O. Berg, petrilla (Fig. 6). El género *Myrceugenia* en Chile, está representado por 14 especies en Chile continental y dos en Juan Fernández. *M. correaefolia*, la especie de Fray Jorge, exhibe un rango más o menos continuo entre Coquimbo y Colchagua, estrechamente asociado a cerros y quebradas litorales con influencia de neblinas.

Drimys winteri J.R. Forst. et G. Forst., canelo o voigue (Fig. 6). El género *Drimys*, está representado por dos especies en Chile continental (*D. winteri* y *D. andina*) y una especie en Juan Fernández (*D. confertifolia*). *D. winteri* se distribuye desde Coquimbo a Cabo de Hornos, Se han descrito una variedad, *D. winteri* var. *chilensis* (DC) A. Gray, que se distribuiría desde Coquimbo hasta Aysén, en ambas cordilleras y desde el nivel del mar hasta 1.700 m, en asociación con distintos tipos de bosques hígrófilos. En la costa de Chile central-norte esta variedad se distribuye, discontinuamente, asociada a bosques pantanosos de Mirtáceas. La variedad típica (*winteri*) se distribuye desde Aysén a Cabo de Hornos. La población de Fray Jorge comparte caracteres de ambas variedades (Troncoso et al. 1980).

Rhaphithamnus spinosus (Juss.) Moldenke, espino chau-chao, espino negro (Fig. 7). El género está representado por una especie en Juan Fernández (*R. venustus*) y otra en Chile continental, *R. spinosus*. Esta última exhibe distribución más o menos continua en la costa de Chile central-norte, tanto en los relictos de neblina, como en bosques edáficos dominados por Mirtáceas y bosques esclerófilos de quebradas húmedas. Del Maule al sur es abundante hasta isla Guafo, por la costa, y hasta Aysén por los Andes, con escasa representación en los territorios argentinos cercanos al límite sur de distribución de la especie.

Griselinia scandens (Ruiz et Pav.) Taubert, Yelmo (Fig. 7). El género *Griselinia* está representado por cinco especies en Chile, tres de las cuales se distribuyen entre Constitución y Aysén, 35°30'S-45°S (*G. racemosa*, *G. ruscifolia* y *G. jodinifolia*) y una es endémica del litoral de Paposó, *G. carlomunozii*, con par de pequeñas poblaciones aisladas en dos quebradas costeras del Desierto de Atacama (24°48'S y 24°56'S), alrededor de 650 km al norte de Fray Jorge; *G. scandens*, se distribuye en forma más o menos continua en el litoral de las regiones de Maule y Arauco, 35°30'° a 37°30'S. Además, exhibe poblaciones aisladas y ampliamente disyuntas en los tres relictos más boreales (Fray Jorge, Talinay y Huentelauquén), separadas por alrededor de 800 km de su rango continuo. También se ha documentado una población aislada en la costa de Corral (40°S) y otra en Valparaíso, sin precisión de la localidad exacta de la última (Dillon & Muñoz-Schick 1993).

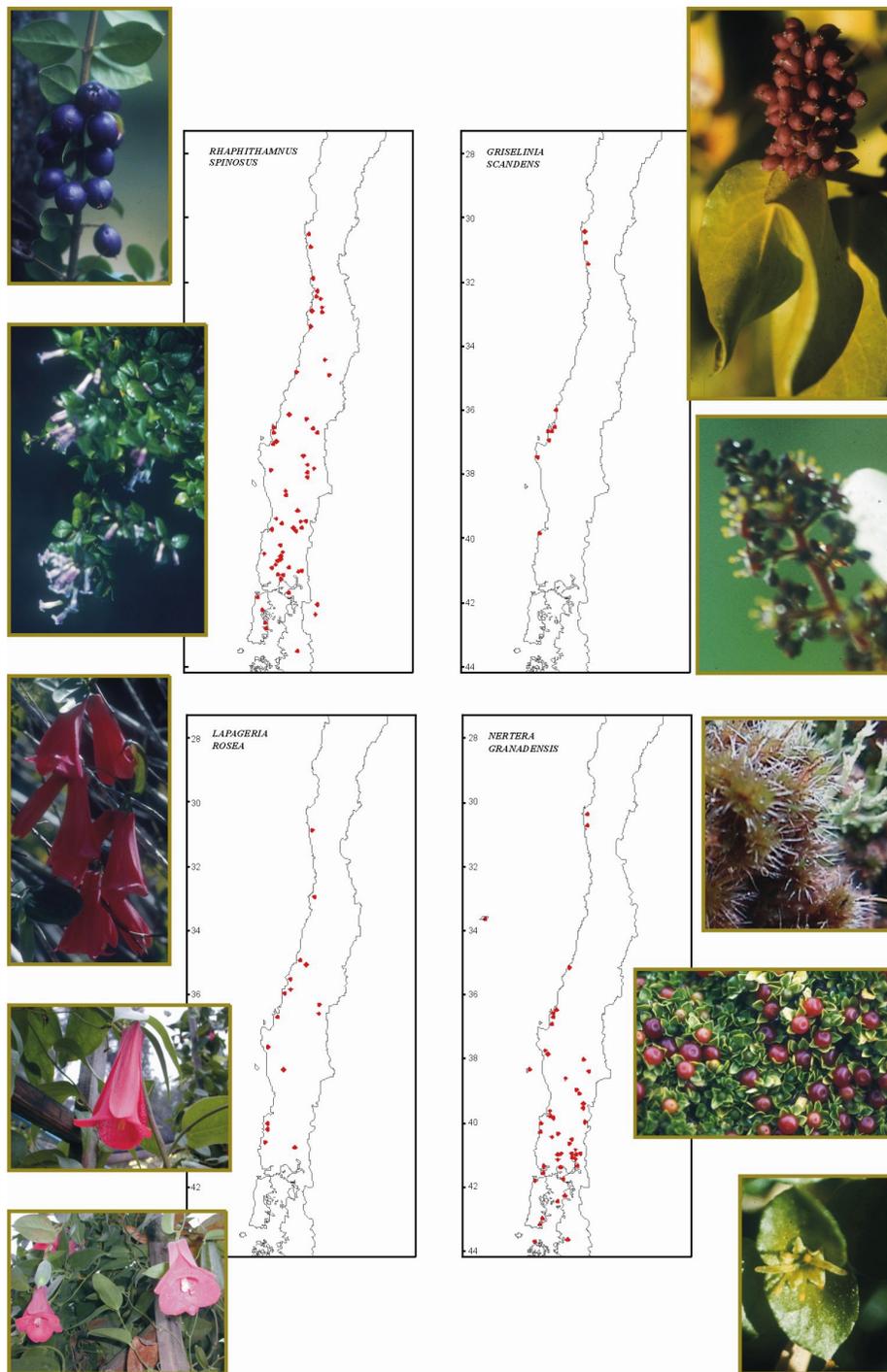


Fig. 7. Hábito y distribución de especies de *Rhapsithamnus*, *Griselinia*, *Lapageria* y *Nertera* presentes en Fray Jorge.

Herbáceas, enredaderas y epífitas

Lapageria rosea Ruiz et Pav., copihue (Fig. 7), una enredadera perteneciente a un género endémico y monotípico de la flora chilena. Recientemente, se ha documentado la existencia de una pequeña población de la especie en el bosque de Fray Jorge (Squeo et al. 2001). Crece en forma continua entre Curicó y Osorno (35-41°S), con una población aislada en la costa de Valparaíso.

Nertera granadensis (Mutis ex L.f.) Druce, queillénchucaco, chaquirita (Fig. 7), es la única especie del género en Chile. Crece aislada, como epífita, en los relictos de Fray Jorge y Talinay. Sigue un área de hiato que se prolonga hasta la costa de Curicó (35°) y, desde allí, crece profusamente hasta Magallanes, como epífita de distintos tipos de bosques templado-lluviosos.

Mitraria coccinea Cav., botellita (Fig. 8). El género monotípico *Mitraria* incluye esta única especie, endémica de los bosques del sur de Sudamérica. Es una epífita que exhibe poblaciones aisladas en Fray Jorge, seguidas de un extenso hiato distribucional que se prolonga hasta el Maule, a los 36°S. De allí al sur la especie exhibe distribución continua hasta Aisén, por los Andes y hasta las islas Guafo y Guaitecas, por la costa.

Sarmienta repens Ruiz et Pav., medallita (Fig. 8). El género monotípico *Sarmienta* incluye esta única especie, epífita, endémica de los bosques del sur de Sudamérica. Además de su presencia aislada en los relictos de Fray Jorge y Talinay, la especie exhibe distribución continua desde el Maule hasta las islas Guafo y Guaitecas, preferentemente asociada al bosque valdiviano, como epífita.

Peperomia (Fig. 8). De las siete especies chilenas del género, tres se restringen a Juan Fernández, *P. berteriana*, *P. skottsbergii* y *P. margaritifera*. Otras tres, de las cuatro representadas en Chile continental, están presentes en los relictos: *P. coquimbensis* (congonilla), exclusiva de Fray Jorge y Talinay; *P. doelli*, en Fray Jorge y en la costa del desierto de Atacama; y *P. fernandeziana* (champoe), aislada en los relictos de Fray Jorge, Talinay y Cerro Santa Inés, además en Juan Fernández y en unas pocas localidades de Llanquihue y Chiloé. Crece profusamente en los Archipiélagos de Guapiquilán e isla Guafo, en el límite sur de su distribución. Una cuarta especie de Chile continental, *P. nummularioides*, es más bien rara y restringida a la región de los Lagos, entre 40° y 41°S.

Dysopsis glechomoides (A. Rich.) Müll. Arg., cheipuco (Fig. 9). Esta especie herbácea pertenece a un género monotípico. Se distribuye aisladamente, en el suelo de los relictos de Fray Jorge, Talinay y Santa Inés, seguida de un área de hiato hasta el Maule. Desde allí su presencia es abundante hasta Magallanes, también en el sur de Argentina, en el piso de distintos tipos de bosques templado-lluviosos.

Uncinia phleoides (Cav.) Pers., quinquín (Fig. 9). Esta especie herbácea también está representada en los Andes centrales y del norte de Sudamérica. En Chile se distribuye desde Coquimbo hasta Chiloé e isla Guafo, restringida al litoral en Chile central y extendiendo hacia los Andes y Argentina, en el sur de su distribución.

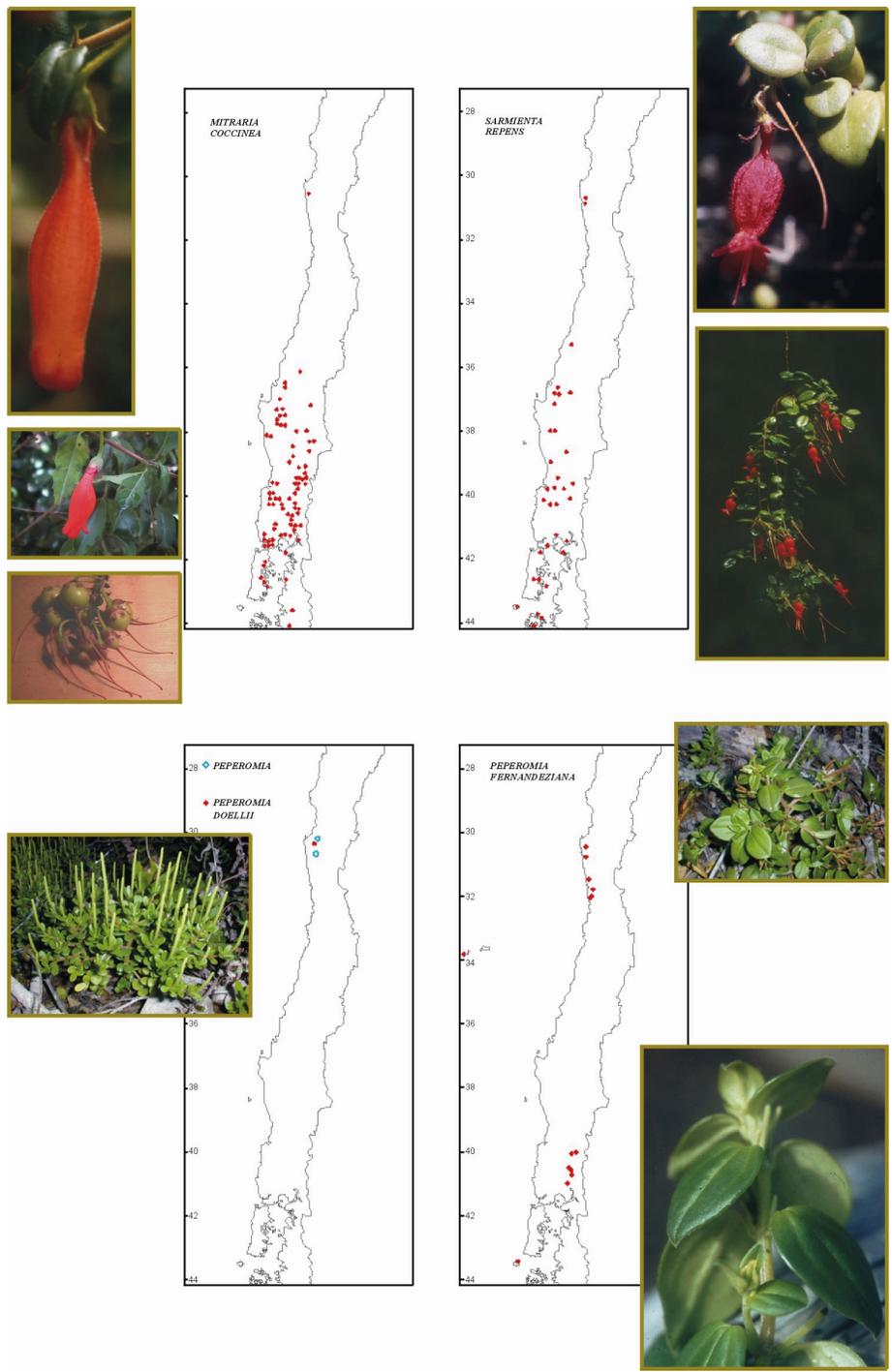


Fig. 8. Hábito y distribución de especies de *Mitraria*, *Sarmienta* y *Peperomia* presentes en Fray Jorge.

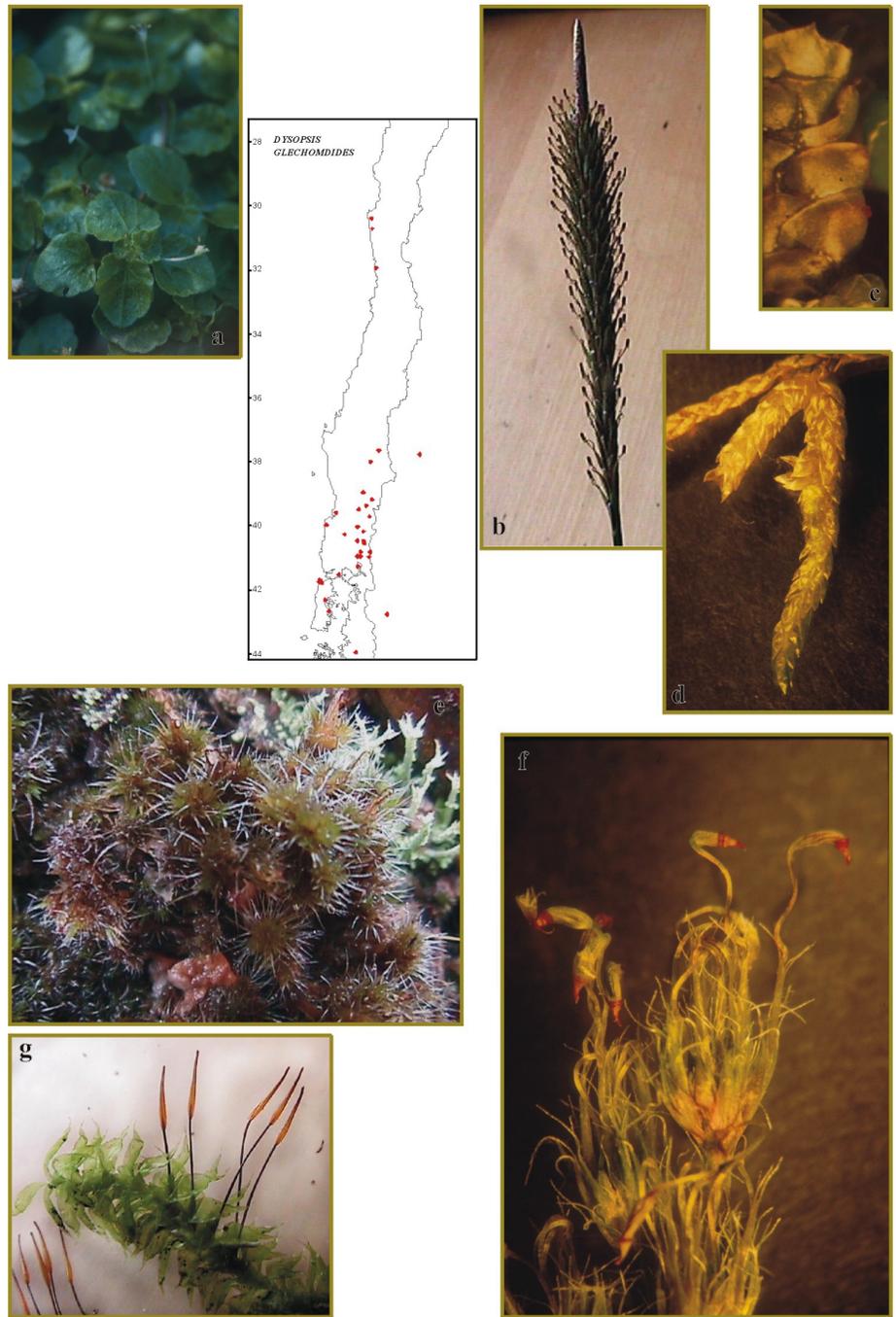


Fig. 9. Aspecto (a) y mapa de distribución en Chile de *Dysopsis glechomoides*. (b) *Uncinia phleoides*. (c) *Porella chilensis*. (d) *Weymouthia mollis*. (e-f) *Campylopus introflexus*. (g) *Ptychomnium cygnisetum*.

Criptógamas

Las especies de Criptógamas presentes en los relictos boreales, principalmente epífitas colectadas en el bosque de Fray Jorge, son las que exhiben mayor riqueza de especies, con seis especies de Helechos y más de 50 especies de Briófitas (Musgos y Hepáticas). Como las Angiospermas, las especies de Criptógamas, también exhiben notables disyunciones en sus rangos geográficos, tanto dentro del territorio chileno como con el Archipiélago de Juan Fernández.

Helechos

Entre los Helechos, varias especies presentes en Fray Jorge están ausentes o exhiben presencia discontinua y rara en Chile central, siendo frecuentes en los bosques templado-lluviosos del sur de Chile (Marticorena & Rodríguez 1995), como por ejemplo: *Hymenophyllum peltatum* (Poiret) Desv., con presencia aislada en Fray Jorge y Talinay, seguida de un amplio hiato hasta 39°38'S; *Asplenium dareoides* Desv. y *Rumohra adiantiformis* (G.Forster) Ching, aislados en Fray Jorge y continuos a partir de 36° S hacia el sur; *Hypolepis poeppigii* (Kunze) R.A.Rodr.; *Polypodium feuillei* Bertero var. *feuillei* y *Megalastrum spectabile* (Kaulf.) A.R.Sm. et R.C.Moran var. *spectabile*, todos ellos aislados en Fray Jorge, en escasos bosques pantanosos como en quebradas litorales muy húmedas de Chile central y muy frecuentes y continuos al sur de 36°S. Por otra parte, es interesante destacar algunas disyunciones que exhiben helechos aislados en la Provincia de Limarí, con la costa Pacífica desértica como es el caso de *Polypodium spinosae* Weath., con presencia restringida a dos áreas discontinuas, 30°27'S y 23°31'-24°S.

Musgos (Fig. 9)

De las alrededor de 30 especies de Musgos asociados a los relictos del Norte Chico, documentadas en la literatura (Brotherus 1924, Seki 1974, Robinson 1975, Scott & Stone 1976, Matteri 1985, He 1998) y en los Herbarios chilenos (SGO, UACH), una especie del Cerro Sta. Inés, además de cuatro especies y dos variedades del bosque de Fray Jorge (Tabla 1), se restringirían exclusivamente a esos dos sitios. Una de ellas, *Ptychomnium aciculare*, crece también en Australasia, mientras que los otros seis taxa son endémicos de Chile (Tabla 1). Al no haber sido coleccionadas, hasta la fecha, en otras localidades chilenas, la presencia de estos taxa podría constituir una expresión de diferenciación local en estos sitios, sugiriendo así antigüedad del aislamiento de los relicto de neblina del Norte Chico.

Por otra parte, los rangos de seis especies aisladas en Fray Jorge exhiben extensos hiatos distribucionales en Chile central: Así, cuatro de ellas tienen rangos continuos solamente a partir de los ríos BíoBío (37°S) y Cautín (39°S) hacia el sur, llegando *Eurhynchium corralense* hasta Llanquihue, mientras que *Rigodium adpressum*, *Syntrichia robusta* y *Weymouthia mollis* su rango sur llega hasta Magallanes. Otra especie se distribuye solamente en Osorno (41°S), *Orthodontium pellucens*, mientras que *Bryum perlimbatum* lo hace desde Aisén (45°S) a Magallanes (Tabla 1).

Las restantes especies de musgos tienen distribución más o menos continua. Entre ellas, tres especies aisladas en Fray Jorge (*Pleurothotrichum chilense*, *Pseudocrossidium leucocalyx* y *Funaria costesi*) y otras dos en el relicto Cerro Santa Inés de Pichidangui (*Costesia spongiosa* y *Tortula laevinervis*), su rango sur alcanza solamente hasta Chile Central (Tabla 1). En contraste, otras 12 especies aisladas en

Fray Jorge exhiben rangos australes más amplios, distribuyéndose en forma más o menos continua desde esa localidad hacia el sur, alcanzando los ámbitos de los bosques Esclerófilo, Valdiviano, Nordpatagónico y Subantártico, y llegando hasta Llanquihue (una especie), Aisén (seis especies) y Magallanes (cinco especies) (Tabla 1).

Hepáticas (Fig. 9).

El caso más notable de disyunciones geográficas de la flora aislada en Fray Jorge corresponde al de las Hepáticas (Tabla 2). De las alrededor de 25 especies documentadas en la literatura (Herzog 1944, Espinosa 1940, Engel 1978, 1990, Hässel et al. 1985) y en los Herbarios nacionales (SGO, UACH), una especie, *Frullania reicheana*, y una variedad de *Porella chilensis* (var. *fernandezensis*), restringen su presencia continental al bosque de Fray Jorge. *P. chilensis* var. *fernandezensis* también se encuentra en Juan Fernández, mientras que las otras dos variedades de la especie (var. *microloba* y var. *chilensis*) se encuentran aisladas en Fray Jorge y, además, en Chile central y sur, respectivamente (Tabla 2).

En contraste, 18 especies de hepáticas aisladas en Fray Jorge (una de ellas en Talinay, *Riccardia patens*), exhiben notables hiatos distribucionales a lo largo de Chile, aún más sorprendentes que los ya documentados para las Angiospermas. Entre ellas, seis especies exhiben rangos continuos solamente a partir del ámbito del bosque decíduo de *Nothofagus*, desde los ríos Maule (36°S), BioBío (37°) y Cautín (39°S), hacia el sur, llegando la mayoría de ellas hasta Aisén y Magallanes (Tabla 2). Otras seis especies de este grupo de hepáticas disyuntas exhiben rangos continuos solamente a partir del ámbito de los bosques templado-lluviosos tipo Valdiviano (a partir de 40°-41°S a Magallanes), mientras que las restantes seis especies de hepáticas se distribuyen desde el ámbito de bosque Nordpatagónico, a partir de 44°-51°S hasta Magallanes, exhibiendo estas últimas un hiato distribucional de más de 14° de latitud (Tabla 2).

Entre las restantes hepáticas de Fray Jorge, una variedad de *Porella chilensis* (var. *microloba*) se distribuye también en Chile central, mientras que otras cuatro especies exhiben rangos más o menos continuos desde Fray Jorge, o Chile central hacia el sur, llegando hasta el extremo austral del territorio, *Frullania magellanica*, *Lepidozia laevifolia*, *Metzgeria divaricata* y *Schistochila lehmanniana* var. *quadrifida* (Tabla 2).

Afinidades con el Archipiélago de Juan Fernández

Los bosques del Archipiélago de Juan Fernández exhiben también alta afinidad florística con los relictos de neblina (Troncoso et al. 1980). Al nivel de especies, es interesante de mencionar que el 29% del total de musgos y el 54% del total de hepáticas de Fray Jorge también se encuentran en el Archipiélago de Juan Fernández (Tablas 1 y 2). Al nivel genérico, Juan Fernández comparte con Fray Jorge la presencia de los géneros *Myrceugenia*, *Azara*, *Rhaphithamnus*, *Drimys*, *Peperomia*, *Dysopsis* y *Nertera*. La edad máxima de colonización de las islas, probablemente por dispersión ornitócora, correspondería al Plioceno y Pleistoceno temprano, ya que su origen ha sido fechado entre 1,01 y 5,8 millones de años A.P. (Stuessy et al. 1984).

Tabla 1. Especies de Musgos de los relictos del Norte Chico, tipo de rango geográfico, distribución chileno-argentina y elemento floral (EF), de acuerdo a la distribución mundial. (E = Endémicos del sur de Sudamérica; A = Austral-Antártico, territorios continentales templados; HS = amplios en el Hemisferio Sur; N = Neotropical; SC = Islas Subantárticas; C = Cosmopolita)

Nº	Especie	Tipo de rango	Rango de Distribución en Chile	EF
1	<i>Funaria integra</i> (C.Müll.) Lindb. var. <i>serrulata</i> Broth.	restringido	FJ. 30°40'S	E
2	<i>Mielichhoferia demissa</i> C. Müll.	restringido	FJ. 30°40'S (Herbario SGO)	E
3	<i>Psychomnium aciculare</i> (Brid.) Mitt.	restringido	FJ. 30°40'S	A
4	<i>Psychomnium cygnisetum</i> (C.Müll.) Par. var. <i>chilense</i> Broth.	restringido	FJ. 30°40'S (Herbario SGO)	E
5	<i>Tortula perarmata</i> Broth.	restringido	FJ. 30°40'S	E
6	<i>Tortula flavipes</i> Broth.	restringido	FJ. 30°40'S	E
7	<i>Aloina bifrons</i> (De Not.) Delgadillo	restringido	SI. 32°10'S (Herbario SGO)	E
8	<i>Eurhynchium corralense</i> (Lor.) Jaeg.	disyunto hasta 37°S	FJ. BióBio a Llanquihue	?
9	<i>Rigodium adpressum</i> Zomlefer	disyunto hasta 37°S	FJ?. BióBio a Magallanes	?
10	<i>Syntrichia robusta</i> (Hook. f. & Grev.) Zand.	disyunto hasta 37°S	FJ?. Ñuble a Cabo de Hornos, Malvinas	C
11	<i>Weymouthia mollis</i> (Hedw.) Broth.	disyunto hasta 39°S	FJ. Cautín a Magallanes. JF	A
12	<i>Orthodontium pellucens</i> (Hook. f.) Schimp	disyunto hasta 41°S	FJ?. Osorno	?
13	<i>Bryum perlumbatum</i> Cardot	disyunto hasta 45°S	FJ. Aisen a Magallanes, Malvinas	HS
14	<i>Costesia spongiosa</i> Thériot	continuo, Chile central	SI. Pichidangui a Quillota-Valparaíso	?
15	<i>Pleurothotrichum chilense</i> Broth.	continuo, Chile central	FJ. Coquimbo a Aconcagua (IV-V)	?

Continuación Tabla 1.

Nº	Especie	Tipo de rango	Distribución en Chile	EF
16	<i>Pseudocrossidium leucochlyx</i> (Mont.) Thér.	continuo, Chile central	F.J. Limarí a Santiago	?
17	<i>Funaria costesii</i> Thér.	continuo, Chile central	FJ?. Limarí, Petorca, Valparaíso	?
18	<i>Tortula laevinervis</i> Broth.	continuo, Chile central	SI. Pichidanguí a Valparaíso	?
19	<i>Catagoniopsis berteriana</i> (Mont.) Broth.	continuo, Valdiviano	F.J. Choapa a Valdivia. JF	?
20	<i>Fissidens curvatus</i> Hornsch.	continuo, Valdiviano	F.J. Choapa a Osorno, JF	?
21	<i>Bryum billardieri</i> Schwaegr.	continuo, Valdiviano	F.J. Coquimbo a Llanquihue, JF	SC
22	<i>Funaria commixta</i> Thér.	continuo, Valdiviano	FJ?. Limarí a Llanquihue	?
23	<i>Bryoerythrophyllum fuscinerium</i> (Mitt.) Zand.	continuo, Valdiviano	F.J. Valparaíso a Aisén	E
24	<i>Didymodon vinealis</i> (Brid.) Zand.	continuo, Valdiviano	F.J. Coquimbo a Aisén	?
25	<i>Rigodium toxarion</i> (Schwaegr.) Jaeg.	continuo, Valdiviano	F.J. Choapa a Aisén. JF	N
26	<i>Campylopus introflexus</i> (Hedw.) Mitt.	continuo, Subantártico	F.J. Choapa a Tierra Fuego. JF	HS
27	<i>Neckera chilensis</i> Schimp.	continuo, Subantártico	F.J. Coquimbo a Magallanes	N
28	<i>Ptychomnium cygnisetum</i> (C.Müll.) Kind.	continuo, Subantártico	F.J. Coquimbo a Cabo Hornos, JF	A
29	<i>Rhaphidorrhynchium callidum</i> (Mont.) Broth.	continuo, Subantártico	F.J. Coquimbo a Magallanes	E
30	<i>Rigodium brachypodium</i> (C.Müll.) Paris	continuo, Subantártico	F.J. Choapa a Magallanes, JF	?

Tabla 2. Especies de Hepáticas de los relicios del Norte Chico, tipo de rango geográfico, distribución chileno-argentina y elemento floral (EF), de acuerdo a la distribución mundial. (E = Endémicos del sur de Sudamérica; A = Austral-Antártico, territorios continentales templados; HS = amplios en el Hemisferio Sur; N = Neotropical; SC = Islas Subantárticas; C = Cosmopolita)

Nº	Especies	Tipo de Rango	Rango de Distribución en Chile	EF
1	<i>Frullania reichena</i> Steph.	restringido	F.I. 30°40'S	E
2	<i>Porella chilensis</i> (Lehm. & Lindenb.) Trev. var. <i>Fernandeziensis</i> (Hertz.) Swails	restringido	F.I. 30°40'S, JF	E
3	<i>Chiloscyphus semiteres</i> (Lehm.) Lehm & Lindenb.	disyunto hasta 36°S	F.I. Maule a Concepción, JF, Malvinas	C
4	<i>Porella chilensis</i> (Lehm. & Lindenb.) Trev. var. <i>Chilensis</i>	disyunto hasta 36°S	F.I. Constitución hasta 51°S, JF	N
5	<i>Leptoscaphus expansus</i> (Lehm.) Grolle	disyunto hasta 36°S	F.I. Maule a Tierra del Fuego, JF, Malvinas	HS
6	<i>Radula flavifolia</i> (Tayl.) Tayl. Ex Gott. Lindenb. & Nees	disyunto hasta 36°S	F.J?. Maule a Cabo de Hornos, JF, I. De los Estados	?
7	<i>Harpalejeunea parasitica</i> (Hook. f. & Tayl.) Stephani	disyunto hasta 39°S	F.I. Cautín a Cabo de Hornos, JF, I. Estados	C
8	<i>Metzgeria decipiens</i> (Mass.) Schiffn.	disyunto hasta 39°S	F.J?. Corral a Tierra del Fuego, Malvinas, I. E los Estados, JF	C
9	<i>Tylimanthus limbatus</i> Steph.	disyunto hasta 40°S	F.I. Corral a Isla Desolación (53°S)	E
10	<i>Radula decora</i> Gott. Ex Steph.	disyunto hasta 40°S	F.I. Valdivia a Isla Virtudes (51°31'S), JF	N
11	<i>Plagiochila heterodonta</i> (Tayl.) Mitt.	disyunto hasta 40°S	F.I. Valdivia a Tierra del Fuego	C
12	<i>Riccardia patens</i> Hässel	disyunto hasta 40°S	T. Valdivia a Tierra del Fuego	?
13	<i>Hyalolepidozia bicuspidata</i> (Mass.) S. Arnell ex Grolle	disyunto hasta 41°S	F.I. Llanquihue a Magallanes, Malvinas, JF	HS
14	<i>Plagiochila fagicola</i> Schiffn.	disyunto hasta 41°S	F.J?. Llanquihue a Magallanes, Malvinas	?

Continuación Tabla 2

Nº	ESPECIES	TIPO DE RANGO	RANGO DE DISTRIBUCIÓN EN CHILE	EF
15	<i>Lepidozia fuegiensis</i> Steph.	disyunto hasta 44°S	F.I. Aisén a Tierra del Fuego, Malvinas	C
16	<i>Drepanolejeunea araucariae</i> Steph. var. <i>chilensis</i> Herzog	disyunto hasta 51°S	F.I. Isla Pazzi (51°S)	C
17	<i>Cololejeunea fernandeziana</i> Solari	disyunto hasta 51°S	F.I. Puerto Toro - Cerro El Morro (51°S) a Seno Otway, 53°30'S, JF	?
18	<i>Lophocolea divaricata</i> Herzog	disyunto hasta ?	F.I. Sur de Chile	E
19	<i>Plagiochila rufescens</i> St.	disyunto hasta ?	F.I. Patagonia occidental	?
20	<i>Calura calyptrifolia</i> (Hook.) Dum.	disyunto hasta ?	F.I. Patagonia occidental a Tierra del Fuego, JF	SC
21	<i>Porella chilensis</i> (Lehm. & Lindenb.) Trev. var. <i>microloba</i> (Herz.) Swalls	continuo	F.I. Chile central, JF	E
22	<i>Frullania magellanica</i> Web. & Nees	continuo	F.I. Valparaíso a Tierra del Fuego, JF, Malvinas	A
23	<i>Schistochila lehmanniana</i> (Lindenb.) Steph. v. <i>quadrifida</i> (Evans) Hassel	continuo	F.I??. Coquimbo a Magallanes, Isla de los Estados	A
24	<i>Mezgeria divaricata</i> Evans	continuo	F.I. Santiago a Brunswick (53°30'S), JF	E
25	<i>Lepidozia laevifolia</i> (Hook.f. & Tayl.) G.L. & N.	continuo	F.I. Chile central a Magallanes, JF, Malvinas	C

DISYUNCIONES GEOGRÁFICAS GENÉRICAS

Géneros compartidos con el Neotrópico (Fig. 10)

Varios géneros de Angiospermas leñosas de Fray Jorge (*Myrceugenia*, *Azara*, *Griselinia* y *Drimys*), y de otros de bosques chilenos son compartidos, con el neotrópico (e.g. *Araucaria*, *Escallonia*, *Crinodendron*, *Lithrea*). También Criptógamas, como por ejemplo el complejo de poblaciones del helecho *Hymenophyllum magellanicum* (de la Sota 1973) y el género *Adiantum*, con la mayoría de las especies de América tropical, algunas compartidas con Chile (*A. chilense* var. *hirsutum*). Entre las Briófitas de Fray Jorge, musgos compartidos con el Neotrópico serían las especies *Rigodium toxarium* y *Neckera chilensis* (Tabla 1) y los géneros *Dicranoloma*, *Thuidiopsis* y *Ptychomnium* (Sehnem 1953); *Porella chilensis* y *Radula decora*, entre las Hepáticas (Tabla 2). También aves de la familia Rhinocryptidae, como los géneros *Scytalopus* y *Rhinocrypta* (Vielliard 1990).

***Myrceugenia*.** La Familia Mirtáceas está representada en Chile por 9 géneros, tres de los cuales son endémicos de los bosques templado-lluviosos del sur de Sudamérica (*Legrandia*, *Luma* y *Amomyrtus*); tres se relacionan con géneros australasianos (*Tepualia*, *Ugni* y *Myrteola*); y los restantes tres (*Myrceugenia*, *Blepharocalyx* y *Myrcianthes*) exhiben distribuciones disyuntas a través de América, tanto en la costa Pacífica de Sudamérica, como al este de los Andes, en el sur de Brasil, Paraguay, Uruguay y noreste de Argentina. *Myrceugenia* integra 12 especies de Chile Continental, 1 de Juan Fernández y 34 del sur del Brasil. Landrum (1981) estudió la taxonomía del género *Myrceugenia* mostrando que, en los distintos cladogramas obtenidos, no se segregan los grupos de especies chilenas de las del Brasil. Los distintos linajes están integrados tanto por especies chilenas como brasileras, sugiriendo que la segregación Pacífico-Atlántico ocurrió como consecuencia de eventos de vicarianza. Sobre la base de estos resultados, el autor propone que el género se originó cuando los bosques subtropicales de Sudamérica estaban interconectados, en el Oligoceno-Mioceno.

***Azara*.** La Familia Flacourtiaceae está representada en Chile solamente por el género *Azara*, con ocho especies en Chile continental, una de las cuáles tiene una variedad en Juan Fernández (*Azara serrata* var. *fernandeziana*). La mayoría de las especies se concentran en los bosques esclerófilo y deciduo de *Nothofagus* de Chile central-sur, y solamente dos especies son componentes importantes de los bosques templado-lluviosos del sur de Chile, *A. lanceolata* y *A. microphylla*, la última con presencia aislada en Fray Jorge y Talinay. Además de Chile, el género está representado en Sudamérica por otras dos especies de los Andes orientales de Bolivia, Uruguay y sur de Brasil. El registro fósil de *Azara* en Chile central (35°47'S), tan antiguamente como el Eoceno Inferior (Troncoso 1992), sugiere que su diversificación ocurrió en esta región, migrando con posterioridad al subtrópico de Sudamérica. Sin embargo, la presencia en las regiones tropicales de América de los otros cinco géneros que conforman la Subtribu Flacourtiaceae-Flacourtiineae, a la cual pertenece *Azara*, sugieren que este taxón pertenece a antiguos linajes neotropicales que llegaron al sur de Sudamérica en el Cretácico-Paleoceno.

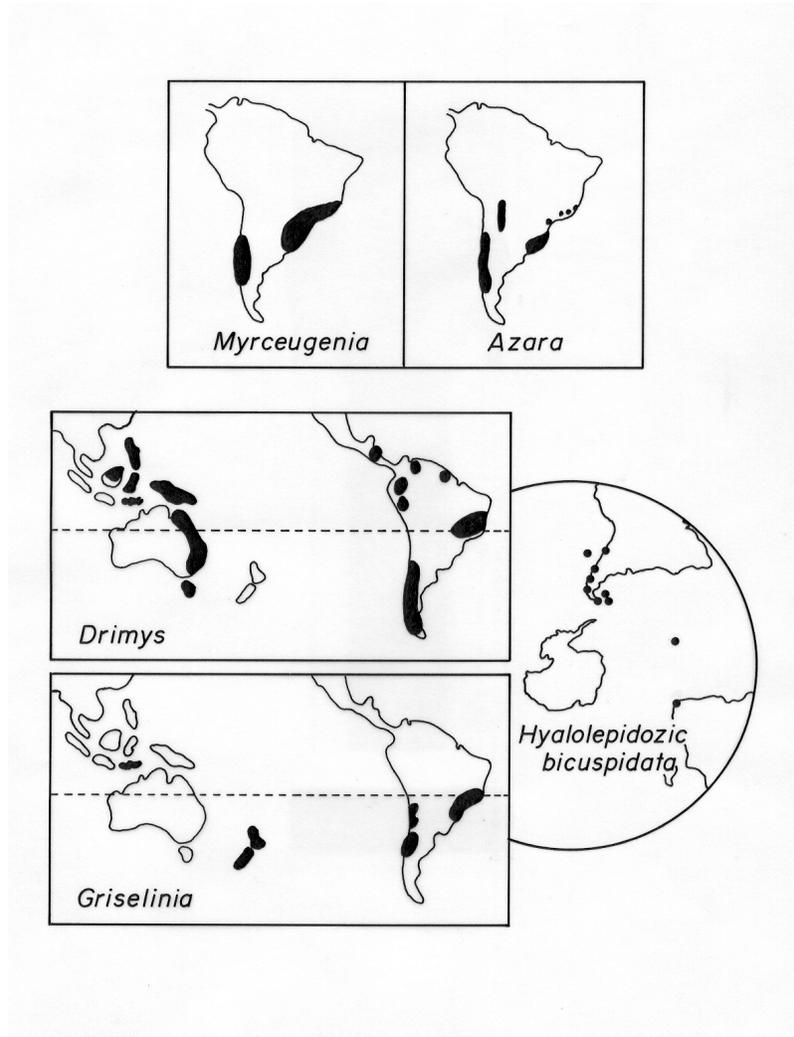


Fig. 10. Mapas mostrando las disyunciones en la distribución de géneros de Fray Jorge, tanto neotropicales (*Azara* y *Myrceugenia*) como australasianos (*Griselinia* y *Drimys*), y de la especie *Hyalolepidozia bicuspidata* (Hepática), en el hemisferio sur.

Géneros compartidos con Australasia (Fig. 10)

***Drimys*.** La familia Winteráceas, representada por el género *Drimys* en Sudamérica, exhibe mayor riqueza de géneros en Australasia. En Sudamérica está representada la sección *Wintera* del género *Drimys*, mientras que la sección *Tasmania* se distribuye en Australasia. Los estudios moleculares (Suh et al. 1993) son concordantes con un origen australasiano para la familia. Por lo tanto, el patrón biogeográfico sugiere que *Drimys* es un aporte austral-antártico a la flora Sudamericana. En Sudamérica, el género está representado por 5 especies: *D. confertifolia* de Juan Fernández; *D. granadensis* de América central y norte de Sudamérica; *D. brasiliensis* del norte de Argentina, Paraguay, sur de Brasil, límite Venezuela-Brasil y Guyana, y dos especies en Chile continental y Argentina, *D. winteri* y *D. andina*. La población de FJ corresponde a *D. winteri*, distribuida desde Coquimbo al Cabo de Hornos, y exhibe

caracteres de las dos variedades descritas: *D. winteri* var. *chilensis* (Coquimbo a Aisén) y *D. winteri* var. *winteri* (Aisén a Cabo de Hornos).

Estudios moleculares en 20 poblaciones chileno-argentinas de *Drimys* (Jara et al. 2002), incluyendo *D. andina*, *D. confertifolia* y las dos variedades de *D. winteri*, muestran que entre las poblaciones de *D. winteri* chilenas existe mayor divergencia genética que entre las de *D. andina* y *D. confertifolia*, y de éstas con las poblaciones argentinas de *D. winteri*. Por otra parte, la población de *D. winteri* de FJ exhibe altos valores de divergencia genética, tanto con las poblaciones de sitios bajos de su misma región, como con las restantes poblaciones de Chile. Este resultado es concordante con la mezcla de caracteres morfológicos de las dos variedades de la especie que exhiben las poblaciones de Fray Jorge (Troncoso et al. 1980). Esto sugiere que la población de FJ es producto de una migración que se produjo antes de la diferenciación de las especies chileno-argentinas (*D. andina* y *D. confertifolia*) y de la variedad *chilensis* descrita para *D. winteri*. El registro fósil de Sudamérica es concordante con la antigüedad del taxón. El género *Drimys* se registra por primera vez en las floras mixtas de Pichileufú (41° S), en el Paleoceno / Eoceno (Berry 1938). Durante el lapso Oligoceno-Mioceno estas floras mixtas, incluyendo probablemente a *Drimys*, son registradas en Chile central. Posteriormente, en el Plioceno, el desarrollo de la Diagonal Árida habría provocado el aislamiento de las poblaciones más boreales, antes de la expansión del bosque esclerófilo y Valdiviano hacia la costa Pacífica.

Griselinia, perteneciente a la Familia monotípica Griselinaceae, exhibe amplia disyunción transpacífica, con 5 especies en Sudamérica y dos en Nueva Zelanda. La mayor primitividad de las dos especies neozelandesas, incluidas junto a una de las especies chilenas (*G. jodinifolia*) en el Subgénero *Eugriselinia*, permiten consignar al género como un aporte austral-antártico a la flora de Fray Jorge (Dillon & Muñoz-Schick 1993). Las restantes cuatro especies sudamericanas se concentran en el litoral de Chile central-sur, con una notable excepción: *G. ruscifolia* var. *itatiatae*, una variedad de una de las especies chilenas, con poblaciones aisladas en el SE de Brasil.

Géneros endémicos

Los géneros monotípicos *Aextoxicon*, *Lapageria*, *Mitraria* y *Sarmienta* son endémicos de los bosques subantárticos del sur de Sudamérica. De acuerdo a estudios moleculares (Vinnersten & Bremer 2001), *Lapageria* se incluiría en la familia Smilacaceae, junto con otro género endémico y monotípico de Chile, *Philesia*; además de un género de Australia, Nueva Zelanda y Nueva Guinea, *Ripogonium*, y el género *Smilax*, de amplia distribución pantropical. De acuerdo al dendrograma propuesto por los autores, el aislamiento de Sudamérica de Australia correspondería con la segregación de *Lapageria* y *Philesia* del género australasiano *Ripogonium*, evento ocurrido hace cerca de 38 millones de años atrás, a finales del Eoceno. De acuerdo a estos antecedentes, *Lapageria* formaría parte de un linaje austral-antártico.

Mitraria y *Sarmienta* pertenecen a la familia Gesneriaceae, representada por tres subfamilias: (1) Gesnerioideae, de distribución neotropical; (2) Coronantheroideae, distribuida en los territorios australes de Chile, Australia y Nueva Zelanda; (3) Cyrtandroideae, de distribución paleotropical. Estudios moleculares de Mayer et al. (2003) muestran que las Cyrtandroideae corresponden a un clado monofilético, que es el grupo hermano de otro grupo formado por las subfamilias Gesnerioideae y

Coronantheroideae. Los dos géneros chilenos *Sarmienta* y *Mitraria* pertenecen a las Coronantheroideae, junto con otro género monotípico chileno, *Asteranthera*. De estos antecedentes se desprende que, probablemente, las dos Gesneriáceas de FJ corresponden a linajes austral-antárticos.

En lo que respecta a *Aextoxicon*, único miembro de la familia Aextoxicaceae, los antecedentes moleculares (Savolainen 2000) indican que su relación más próxima sería con otra familia endémica y monotípica de la flora chilena, Berberidopsidaceae, género *Berberidopsis*. El aislamiento taxonómico de estas dos familias indica su antigüedad, ratificada por registros fósiles de troncos de *Aextoxicon* en el Paleoceno inferior del sur de Sudamérica, 51°33'S (Nishida et al. 1988). Igual que en el caso de las poblaciones chilenas de *Drimys*, estudios moleculares recientes en poblaciones chilenas de olivillo (M. Núñez, trabajo en preparación) muestran mayor divergencia genética de las poblaciones de Fray Jorge y Santa Inés, con respecto a las restantes de Chile central-sur. Por otra parte, la nula diversificación específica de *Aextoxicon* y su distribución restringida principalmente a ambientes oceánicos de la costa Pacífica de Chile central-sur, e islas adyacentes, sugieren que se trata de un taxón especializado a condiciones costeras. De acuerdo a Pérez (1994), las condiciones ambientales oceánicas, con ingresos atmosféricos dominados por aerosoles de sales marinas y bajos niveles de nutrientes en los suelos, explicarían el alto grado de esclerofilia de las hojas de olivillo. Esta especialización morfológica habría conducido a una restricción ambiental y geográfica de la distribución de *Aextoxicon* y su dominancia en los bosques costeros e islas. Epífitas asociadas al olivillo, como *Peperomia* y *Sarmienta*, también exhiben adaptaciones a la sequedad fisiológica característica de los ambientes oceánicos, en este caso, la succulencia de las hojas.

CARÁCTER MIXTO DE LA FLORA DE FRAY JORGE

Como se ha mostrado, el rasgo más característico del bosque de Fray Jorge es el carácter fitogeográfico mixto de su flora, con géneros endémicos y monotípicos del territorio chileno-argentino, algunos de ellos pertenecientes a linajes austral-antárticos (*Mitraria*, *Sarmienta*, *Lapageria*) y otros taxonómicamente aislados y pertenecientes a familias endémicas (*Aextoxicon*); géneros neotropicales, con amplia disyunciones entre la costa Pacífica y Atlántica (*Myrceugenia*, *Azara*, *Rhaphithamnus*); géneros austral-antárticos, extendiendo a veces sus rangos hacia Australasia, Indonesia y América tropical (*Drimys* y *Griselinia*); y géneros pantropicales (*Peperomia*). Por lo demás, el carácter fitogeográficamente mixto es uno de los rasgos más significativos de la flora de todos los tipos de bosques de Chile, con máximo equilibrio entre componentes de distinta procedencia en los bosques de la transición climática mediterráneo-templada, entre 36 y 40°S (Villagrán & Hinojosa 1997). Este rasgo fue destacado, hace más de cuatro décadas, por Schmithüsen (1956), quien propuso un modelo que muestra que las formaciones vegetales de más de dos tercios del territorio chileno, entre 30° y 50°S, exhiben una característica combinación de elementos fitogeográficos de procedencias norte y sur, perteneciendo los ecosistemas forestales chilenos al dominio limítrofe entre los reinos florales Antártico y Neotropical.

ORIGEN PALEÓGENO DE LA FLORA DE FRAY JORGE

La interpretación histórica del carácter fitogeográfico mixto de la actual flora de bosques de Chile, como la resultante de la integración de las sucesivas paleofloras que llegaron al territorio durante el Terciario, hipótesis planteada por Schmithüsen

(1956), es sustentada por el registro fósil del Terciario del sur de Sudamérica y Antártida (e.g. Romero 1978, 1986, Hinojosa & Villagrán, 1997). Las reconstrucciones de vegetación del Paleógeno muestran una sucesión de tres paleofloras distintas, Neotropical (Cretácico-Paleoceno), Mixta (Eoceno) y Antártica (Eoceno-Oligoceno), las cuales se ilustran en la Fig. 11. Hacia finales del Paleógeno, las tafofloras mixtas con *Nothofagus* (*sensu* Romero 1978, 1986) de Chile central, como por ejemplo Cerro Las Águilas (33°19'S) del Eoceno / Oligoceno de la precordillera andina (Hinojosa 1996) y Navidad-Goterones (33°57'S) del Mioceno inferior de la costa (Troncoso 1991), registran varios de los géneros modernos y ya exhiben la mezcla de elementos fitogeográficos de distinta procedencia que caracterizan a los actuales bosques del sur de Sudamérica, con presencia del elemento neotropical (eg. *Myrceugenia*), endémico (eg. *Mitraria*) y fuerte representación del elemento austral-antártico dominado por *Nothofagus* y Coníferas (*Saxegothaea*, *Austrocedrus*, *Podocarpus*).

Componentes leñosos importantes de la flora del bosque de Fray Jorge ya estaban representadas en estas paleofloras paleógenas, como es el caso de *Aextoxicon*, en la Formación Cerro Dorotea, Paleoceno inferior, 51°33'S (Nishida et al. 1988). *Drimys*, en las Formaciones de Pichileufú, Paleoceno/Eoceno, 41°S (Berry 1938); Isla Seymour, Antártica, Eoceno; Caleta Cocholgue, Eoceno Inferior, 36°35'S (Gayó 2001); y Río Turbio, Eoceno medio a superior, 51°33'S (Hünicken 1967). *Myrceugenia*, en la Formación Loreto, del Eoceno/Oligoceno, 53°10'S (Fasola 1969); Formación Lonquimay, del Eoceno / Oligoceno, 38°30'S (Palma-Heldt 1983). *Azara*, en la Formación Quinamávida, del Eoceno Inferior, 35°47'S (Troncoso 1992). Es posible que la mayoría de los géneros endémicos y monotípicos de la actual flora de los bosques chileno-argentinos sean los descendientes de los linajes neotropicales y australasianos que llegaron al territorio durante el Paleógeno. Este pareciera ser el caso de lianas y epífitas, actualmente pertenecientes a géneros endémicos del territorio chileno, como *Lapageria*, *Sarmienta* y *Mitraria* presentes en Fray Jorge.

ORÍGEN NEÓGENO DE LA COMUNIDAD DE FRAY JORGE

Durante el óptimo térmico del Mioceno medio (15-17 millones de años), antes del levantamiento final de los Andes, se produjo en Chile central-sur una expansión de floras boscosas subtropicales cálido-húmedas (Figs. 11 y 12). Dos paleofloras de Chile central documentan este evento, Cerro Los Litres y Boca Pupuya. Cerro Los Litres, del Mioceno medio de la precordillera de Chile central (33° 18'S, Hinojosa 1996, Hinojosa & Villagrán 1997), registra una flora con carácter tropical-subtropical, sin *Nothofagus* ni elementos templado-fríos y dominada por Lauráceas y Monimiáceas. Esta paleoflora constituye el primer antecedente del espectro florístico del actual bosque esclerófilo de Chile central (con registro de *Peumus*, *Persea*, *Cryptocarya*, *Beilschmiedia*, *Myrceugenia*, *Persea*), además de elementos subtropicales de los bosques secos de Sudamérica (*Prosopis*, *Cochlospermum*+, *Leguminosites*) y de Yungas (*Athyana*+). Por otra parte, el afloramiento Navidad-Boca Pupuya, del Mioceno medio a superior de la costa (33°57'S, Troncoso 1991), registra una Paleoflora Mixta caracterizada por la pobreza del componente austral-antártico (2 taxa), en contraste con un notable predominio de taxa de carácter tropical-subtropical. Entre estos últimos destacan Mirtáceas (11 taxa), principalmente neotropicales, y Lauráceas pantropicales (4 taxa). Varios de los géneros fósiles de Mirtáceas presentan afinidades botánicas con géneros actuales, como *Tepualia*

(endémico), *Blepharocalyx* y *Myrcianthes* (ambos neotropicales y disyuntos con el sur del Brasil). Registra además al actual elemento endémico chileno (4 taxa).

Ambas taofloras del Mioceno de Chile central tienen un extraordinario valor biogeográfico por su evidente similitud con los bosques más húmedos del subtropical actual del Cono Sur de Sudamérica como, por ejemplo, el bosque del Planalto del sur de Brasil; el bosque Tucumano-Boliviano de la vertiente oriental andina; los relictos de neblina del Norte Chico de Chile; el bosque esclerófilo méxico de la Cordillera de la Costa de Chile central; el bosque valdiviano dominado por *Aextoxicon* y Mirtáceas, de la vertiente Pacífica de la Cordillera de la Costa de Chile central-sur e islas adyacentes, como Guafo, Mocha y Juan Fernández.

De estos antecedentes se puede concluir que la segregación de los espectros florísticos característicos de los bosques subtropicales actuales de Chile central se habría producido en el Mioceno, como una consecuencia del aumento de las temperaturas, asociadas a humedad durante gran parte del año. Este escenario climático no tendría análogos en la actualidad y habría sido posible gracias al escaso efecto de sombra de lluvias que ejercían las montañas a la influencia de los dos regímenes hídricos que controlan las lluvias del subtropical de Sudamérica, las lluvias invernales procedentes del cinturón de los oeste y las lluvias de verano de fuente amazónica, procedentes del este (Fig. 12, Hinojosa 2003, Hinojosa & Villagrán manuscrito). Las floras subtropicales imperantes durante el Mioceno se habrían estructurado a partir de la Paleoflora Mixta de Chile central, la cual ya habían perdido gran parte del elemento austral-antártico frío, además del aporte de nuevos linajes neotropicales, durante este tiempo de interconexión de las floras a lo ancho del subtropical del continente.

La existencia de bosques subtropicales continuos a lo ancho de Sudamérica, a las latitudes de Chile y Argentina central, durante el Oligoceno-Mioceno, ya había sido propuesto por Landrum (1981), sobre la base de las estrechas relaciones taxonómicas entre distintos grupos de especies de *Myrceugenia*, con poblaciones modernas hoy ampliamente discontinuas entre la costa Pacífica de Chile y Atlántica. Así, las enigmáticas afinidades florísticas de la comunidad vegetal de Fray Jorge, tanto con distantes bosques de la costa Atlántica y Andes orientales de Sudamérica, destacadas por Landrum (1981) y Rambo (1951, 1952, 1953, 1956), como con la asociación costera del bosque templado-lluvioso tipo Valdiviano, ya discutidas, serían explicables si todas estas comunidades procedieran de una misma fuente, como ya lo propusiera Schmithüsen (1956), las floras mixtas cálido-lluviosas que ocuparon el subtropical de Sudamérica durante el Mioceno.

DESMEMBRAMIENTO DEL BOSQUE SUBTROPICAL TERCIARIO

Las evidencias paleobotánicas sugieren que las actuales disyunciones con el neotropical que exhiben los bosques chilenos, incluido Fray Jorge, sería una consecuencia del desmembramiento que experimentó la franja continua de bosques que se extendía a lo ancho del subtropical de Sudamérica durante el Mioceno. Este desmembramiento sería una consecuencia de la aridización del subtropical, en parte debido al creciente efecto de sombra de lluvias ejercido por los Andes, durante su levantamiento final en el Plioceno-Pleistoceno. Este proceso habría estado asociado a la expansión de formaciones xéricas, a lo largo de la así llamada "Diagonal Árida" de Sudamérica (Villagrán & Hinojosa 1997), como lo muestran los pocos registros paleobotánicos del Plioceno, provenientes de la Mesopotamia Argentina (entre los

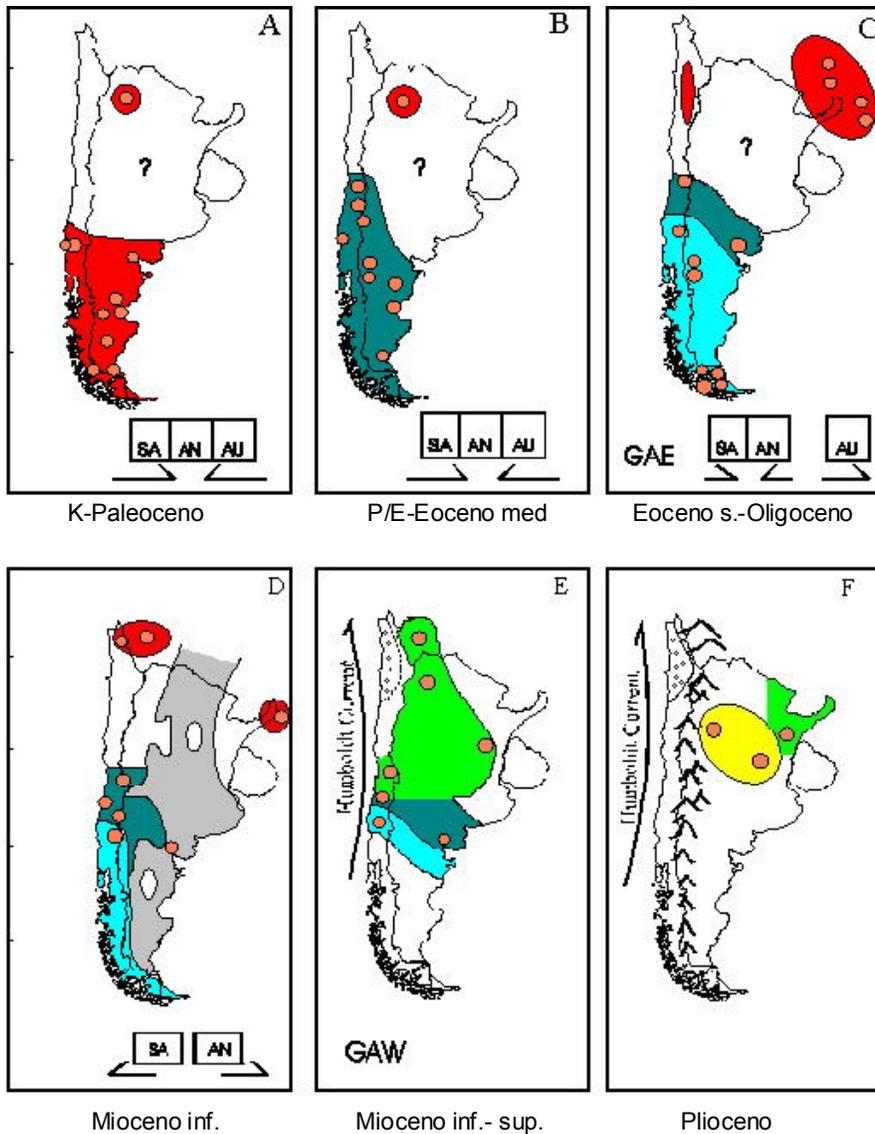


Fig. 11. Distribución de paleofloras de bosques durante el Terciario de Sudamérica. Con círculos naranjas se indican las posiciones de todas las tafofloras fósiles consideradas. En rojo, Paleoflora Neotropical; verde oscuro, Paleoflora Mixta; celeste, Paleoflora Antártica; Verde claro, Paleoflora Subtropical; Amarillo, Paleoflora Subtropical Xérica. Transgresiones marinas, en gris. SA=Sudamérica, AN=Antártica, AU=Australia. GAE=Glaciación Antártica Este. GAW= Glaciación Antártica Oeste (Hinojosa & Villagrán 1997).

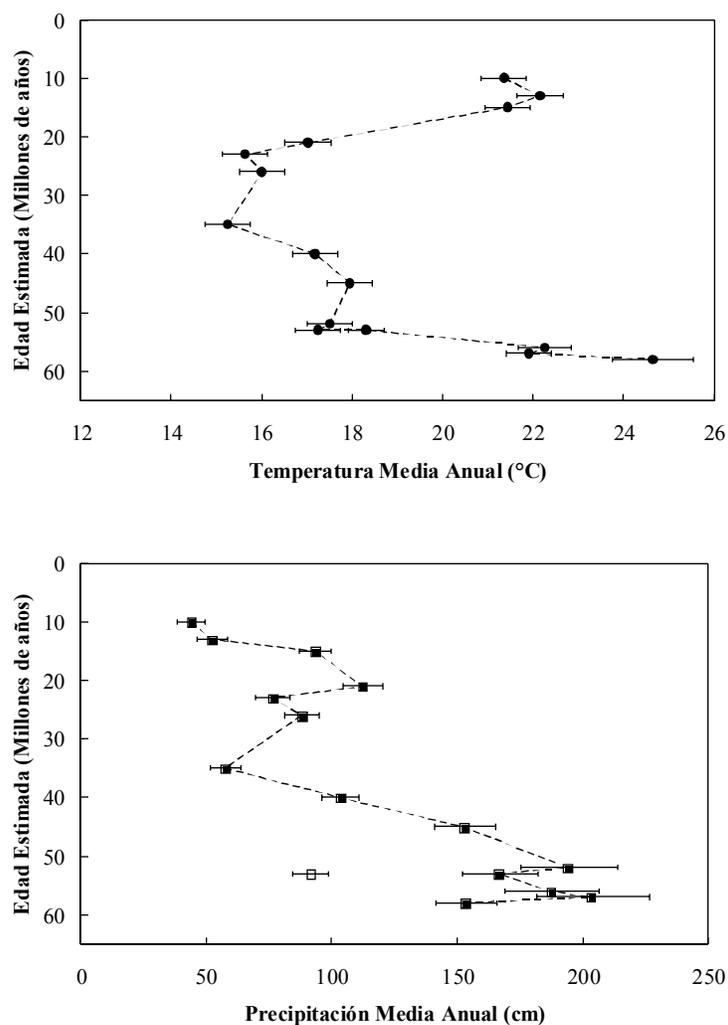


Fig. 12. Paleo-temperaturas (arriba) y paleo-precipitaciones (abajo) del Terciario de Sudamérica, realizadas sobre la base de un análisis fisionómico-climático de 15 taofloras, de acuerdo a Hinojosa (2003).

ríos Paraná y Paraguay, 28°-32°S). Estas taofloras ya muestran elementos xéricos afines con el Chaco actual, como *Schinus*, *Schinopsis*, *Celtis* (Anzotegui & Lutz 1987) y de Leguminosas afines a *Acacia* (26°S, Menéndez 1962). De acuerdo a recientes evidencias isotópicas de C y O en el NO argentino, en paleosuelos y dientes fósiles (Latorre et al. 1996), la estacionalidad habría incrementado en esta región, a partir del Mioceno superior y Plioceno (7-4 MA), evento que ha sido asociado al origen de las plantas C4.

La aridización de gran parte de los subtropicos de Sudamérica sería sincrónica con el enfriamiento del Océano Antártico, comienzo de la acumulación de hielo en Antártida occidental (Kvasov & Verbitski 1981, Flohn 1978, Kennett 1978), en el Mioceno/Plioceno, a los 4 -5 MA (Drewry 1978) e inicio de las glaciaciones

patagónicas en el sur de Sudamérica, a los 3,5 MA (Mercer 1976). Estos eventos habrían determinado un desplazamiento hacia el norte del cinturón de los oeste de las latitudes templadas. Las aguas subantárticas frías, que antes de la glaciación de Antártica oeste fluían a través del Paso de Drake, se habrían incorporado a la Corriente de Humboldt. Por otra parte, el levantamiento final de los Andes en el Plio-Pleistoceno, habría acentuado el efecto desecante de la Corriente fría de Humboldt, instaurada en su forma actual desde inicios del Plioceno (Zinsmeister 1978).

La interacción de todos estos factores habría determinado la formación de la Diagonal Árida, la cual tuvo tres efectos significativos en el problema analizado:

1. Desmembramiento de los bosques terciarios subtropicales del Cono Sur y su restricción a los Andes orientales y costas Pacífica y Atlántica del continente, áreas que quedaron separadas entre sí por varios cientos de kilómetros de formaciones áridas, imposibilitado así cualquier intercambio florístico posterior de los bosques chilenos con el neotrópico.

2.. Expansión de los bosques subtropicales esclerófilos en Chile central, adaptados a sequía de verano, una consecuencia del desarrollo del clima estacional mediterráneo, determinado por el efecto de sombra de lluvias de los Andes al flujo de los vientos de fuente Amazónica.

3. Fragmentación, y posterior eliminación, del borde norte de los bosques subtropicales de la costa Pacífica, al norte de 30°S, debido a la hiperaridez asociada al desarrollo del Desierto de Atacama. Así lo sugiere la presencia de flora emparentada con la relictual, alrededor de 650 km al norte del bosque de Fray Jorge, en quebradas desérticas costeras del Desierto de Atacama (24° y 25° S), representada por poblaciones aisladas escasas y pequeñas de plantas epífitas y enredaderas como *Peperomia doelli* (también presente en Fray Jorge), *Griselinia carlomunozii*, *Polypodium masafuerae*, *P. espinosae* y *Asplenium fragile* var. *lomense* (Dillon & Muñoz-Schick 1993, Marticorena & Rodríguez 1995).

4. Fragmentación del bosque subtropical al este de los Andes, en las actuales provincias del Monte y Chaco, debido al desarrollo de un clima tropical con sequía de invierno. Así, en las Sierras Pampeanas del noroeste Argentina, entre 28 y 30° S, se han descrito una serie de manchones de bosque húmedo discontinuos del área principal de distribución del bosque Tucumano-Boliviano, distribuido en la vertiente oriental del sur de Bolivia y noroeste de Argentina. Los ensamblajes florísticos y las aves de selva, varias de las cuales muestran diferencias subespecíficas, son similares entre sí han sido postulados como relictos de una banda continua de bosques que se extendía en el pasado más al suroeste de su actual latitud (Nores & Cerana 1990).

EL AISLAMIENTO DEL BOSQUE DE FRAY JORGE EN EL PLEISTOCENO

Un modelo de la vegetación glacial

Las características estructurales, y la conformación de los patrones de distribución actuales de los bosques del sur de Sudamérica, están estrechamente vinculados a los cambios climáticos del Cuaternario, particularmente las notables fluctuaciones del área de bosques ocurridas durante los ciclos glaciales-interglaciales del Pleistoceno.

De manera similar al caso del bosque de Fray Jorge, a lo largo de la Cordillera de la Costa de Chile se desarrollan otras poblaciones y comunidades de plantas que exhiben rangos discontinuos. Estas poblaciones se encuentran aisladas en cimas de cerros en el extremo norte de su área de distribución, constituyendo todas ellas la “huella biogeográfica” de las avanzadas glaciales. Uno de los casos notables son los bosques de *Nothofagus* (*N. obliqua* y *N. dombeyi*) y las comunidades altoandinas que conforman ‘islas’ biogeográficas en las cimas de la Cordillera de la Costa de Chile central. Otros ejemplos son los bosques mixtos de *Nothofagus* con coníferas (e.g. *Fitzroya cupressoides*, *Araucaria araucana*, *Prumnopitys andina*, *Austrocedrus chilensis*, *Lepidothamnus fonckii*) y las Tundras Magallánicas (e.g. *Donatia fascicularis*, *Astelia pumila*, *Drosera uniflora*, *Gaimardia australis*, *Pinguicula antarctica*), que ocupan las cimas costeras de Chile central-sur, entre 38-42° S (Villagrán 1994).

Tomando como base la correlación entre los registros palinológicos de la última glaciación de la Región de los Lagos del sur de Chile, que ha sido intensamente investigada durante las tres últimas décadas, Villagrán (2001) propuso un modelo paleogeográfico para esta región. Este modelo postula que, durante las edades glaciales, el elemento más higrófilo y resistente al frío de la vegetación austral, hoy restringido a cimas de cerros en sus rangos norte, habría sobrevivido en sitios bajos dentro de la región de los Lagos, siendo reemplazados en el Tardiglacial y Holoceno por los bosques Nordpatagónico y Valdiviano, que ocupan actualmente estas áreas. Además del registro polínico, sustenta este modelo el reciente hallazgo de numerosos troncos subfósiles de *Nothofagus* y coníferas, como alerce y ciprés (*Fitzroya cupressoides*, *Pilgerodendron uviferum*), remanentes del bosque glacial, en nueve localidades litorales de Llanquihue y Chiloé, fechados entre 42.600 y 49.780 años AP (Villagrán et al. 2003).

Del modelo enunciado es posible inferir migraciones glaciales de bosques similares en otras regiones de Chile. Por ejemplo, los bosques deciduos de roble (*Nothofagus obliqua*), actualmente aislados en las cimas de la Cordillera de la Costa de Chile central, entre 32° y 34°S. El único registro glacial disponible para la región central de Chile, Laguna Tagua Tagua (Heusser 1990), es consistente con el modelo, ya que muestra la presencia en el Llano Longitudinal de una vegetación dominada por *Nothofagus* y Coníferas, entre 43.000 y 10.000 años A.P.

La edad del bosque de Fray Jorge

De acuerdo al modelo discutido, las actuales poblaciones boreales aisladas del bosque de olivillo, pueden ser interpretadas como remanentes de la vegetación glacial, que ocupó los sitios bajos de la costa de Chile central (30° - 42°S), durante los repetidos avances de glaciares del Pleistoceno, bajo condiciones de clima más frío y probablemente más húmedas que las actuales (Troncoso et al. 1980). La existencia de tal comunidad es consistente con la paleodistribución de los bosques chilenos discutida para finales del Terciario, como asimismo con las evidencias paleoclimáticas cuaternarias que sugieren un desplazamiento hacia el norte del cinturón de los vientos del oeste (Heusser 1990) y un descenso de la capa de inversión térmica durante las edades glaciales (Veit 1995).

En el caso del aislamiento actual del bosque de Fray Jorge que nos preocupa, los datos geológicos, así como las evidencias edáficas y fitogeográficas ya presentadas, permiten precisar mejor los límites de edades para este evento. Por una parte, los

antecedentes geológicos muestran que la edad de llegada de la comunidad tipo Fray Jorge a las cimas que hoy ocupan en las Alturas de Talinay, no puede ser más antigua que el Pleistoceno temprano a medio, ya que solamente a partir de este tiempo las alturas han estado emergidas (Troncoso et al 1980). Por otra parte, la edad mínima del bosque de Fray Jorge tampoco parece corresponder a un avance de la flora austral durante la última glaciación, argumento sostenido por Looser (1935) y Skottsberg (1948), sobre la base de las relaciones valdivianas y ausencia de diferenciación de especies en Fray Jorge. Sin embargo, una especie vascular es endémica de los relictos de Fray Jorge y Talinay, *Peperomia coquimbensis* y, entre las Briófitas hemos ya mostrado varios ejemplos de especies y variedades restringidas a esa localidad y que podrían representar endemismos. Más aún, los estudios moleculares en *Drimys*, ya discutidos, muestran que existe diferenciación genética entre las poblaciones de las cimas de Fray Jorge, tanto con las de los sitios bajos de la misma región, como con todas las poblaciones de la variedad *chilensis* de Chile central-sur (Jara et al. 2002).

Adicionalmente, una serie de rasgos singulares de la vegetación de Fray Jorge, ya discutidos y que se sintetizan a continuación, no son compatibles con una edad tan reciente como el Pleistoceno tardío para el bosque de Fray Jorge:

1) La ausencia de especies esclerófilas en los bosques de Fray Jorge y Talinay, ya destacada por Schmithüsen (1956), hecho que sugiere que la colonización de las cimas de Talinay se produjo antes de la expansión del bosque esclerófilo en la costa de Chile centro-norte que ahora ocupa.

2) Los valores equivalentes de similitud florística entre el bosque de Fray Jorge y las distintas comunidades esclerófilas y Maulinas de Chile central y Valdivianas del sur de Chile (Fig. 4A) no apoyan la hipótesis de migraciones glaciales recientes de la flora austral hasta Fray Jorge, en cuyo caso se esperaría un decrecimiento gradual de la similitud florística de norte a sur, correspondiente a la distancia geográfica. Alternativamente, el patrón de similitud observado sugiere que el desmembramiento de los relictos del norte se produjo a partir de una comunidad boscosa más antigua y de amplio rango geográfico en el litoral chileno.

3) Relaciones generalizadas con el bosque Valdiviano, es decir, pese a las diferencias florísticas, contrastes ambientales y distribución altitudinal de las distintas asociaciones valdivianas, todas ellas exhiben valores de similitud similares con las comunidades relictas (Fig. 4C). De este resultado se desprende que las relaciones biogeográficas entre los bosques relictos y la flora de la región Valdiviana se remontarían a un tiempo anterior a la segregación espacial y florística de sus actuales asociaciones.

4) Carácter más conservativo de la flora y de los suelos de los extremos norte (Fray Jorge) y sur (Isla Guafo) del rango del bosque de olivillo, hecho que nuevamente sugiere que el aislamiento de estos sitios se produjo tempranamente, antes de la expansión y diferenciación de las asociaciones esclerófilas y de las templado-lluviosas actuales, las cuales se han mezclado con las especies relictas en un amplio rango geográfico de Chile centro-sur. De acuerdo al modelo palinológico de la Región de los Lagos, ya citado (Villagrán 2001), las asociaciones del bosque Valdiviano recién ocuparon su actual área en el Holoceno.

5) El hiato distribucional que exhiben los rangos de numerosas especies, con notables disyunciones entre las poblaciones boreales y las australes, separadas por distancias generalmente de más de 700 km de distancia, también sugiere que la comunidad relictual fue desestructurada en Chile central por la expansión de especies esclerófilas. Esto explicaría el abrupto decrecimiento de la similitud florística que se observa entre FJ y las localidades de Chile central (Fig. 4A).

6) Otro antecedente que reafirma la idea de que la vegetación relictual se fue desmembrando y aislando paulatinamente, desde el norte hacia el sur, es la presencia de flora emparentada con la de Fray Jorge en quebradas desérticas costeras del Desierto de Atacama (24° y 25° S). Ninguna de las especies de estas quebradas está representada actualmente en la flora esclerófila ni valdiviana, razón por la cual estas vanguardias no parecen corresponder a avances recientes de flora austral durante el Pleistoceno tardío, sino que más bien sugieren una distribución pasada aún más boreal de la flora relictual, una idea ya sugerida por Wolfhügel (1949), probablemente durante el desarrollo de la Diagonal Árida.

7) De manera similar, una cadena de fragmentos de bosque húmedo distribuidos en las Sierras Pampeanas del noroeste Argentina, entre 28 y 30° S, al SO y discontinuos del área principal de distribución del bosque Tucumano-Boliviano, sugieren que la fragmentación de esta banda de bosques sería una consecuencia del desarrollo de la Diagonal Árida.

FRAGMENTACIÓN Y REDUCCIÓN AREAL DEL BOSQUE DE FRAY JORGE EN EL HOLOCENO

El bosque de Fray Jorge es el más extenso de los bosques relictos. Está constituido por numerosos fragmentos, cuyas áreas varían entre 1 y 20 ha (Cornelius et al. 2001), dispersos en las cimas costeras de las Alturas de Talinay (450-550 m) y rodeados por vegetación semiárida, marcadamente xerofítica, dominada por arbustos deciduos de verano y cactáceas (Fig. 13). Los fragmentos de bosques persisten en las cimas debido a que los árboles alcanzan tamaños y alturas suficientes como para interceptar humedad, transportada por las neblinas costeras que ocurren con más frecuencia por sobre los 400 m de altitud. La intercepción de niebla sería además favorecida por la presencia de enredaderas y epífitas que crecen sobre los grandes árboles de olivillo (Fig. 13), aumentando así la superficie expuesta a las neblinas (Capítulo 9). En consecuencia, los fragmentos de bosque se encuentran restringidos al nivel altitudinal por sobre 400 m (Pérez & Villagrán 1994). La intercepción de neblinas aportaría hasta 1.000 mm de precipitación al bosque (Kummerow 1966), compensando así el reducido aporte de las lluvias regionales, las cuales no sobrepasan los 200 mm anuales en promedio, una cantidad insuficiente para sostener vegetación boscosa.

Los cambios climáticos postglaciales, asociados a un marcado incremento de la aridez en Chile centro-norte durante el Holoceno temprano a medio (Villagrán & Varela 1990, Villa-Martínez & Villagrán 1997, Jenny et al. 2002) y fuertes fluctuaciones en los montos de precipitación anual durante el Holoceno tardío (Jenny et al. 2002, Maldonado & Villagrán 2002), habrían tenido efectos significativos en la distribución y estructura de la vegetación relictual. Por un lado, la sequía habría incrementado el grado de discontinuidad de la comunidad de bosques relictos costeros y, al mismo tiempo, su aislamiento en las cumbres de cerros, en donde las neblinas costeras permiten la mantención de las condiciones microclimáticas

favorables. La restricción gradual de los bosques a las cimas con neblina permanente puede haber resultado en la pérdida de eslabones que conectaban FJ a los otros bosques relictos de más al sur, especialmente en cumbres más bajas, donde la neblina costera era menos frecuente. Aunque no se ha mostrado, es indudable que el número de especie que se conservaron en los relictos aislados tiene una estrecha relación con el área de los fragmentos remanentes después de la aridización del Holoceno. Un ejemplo de este efecto es el bosque relicto del cerro Huentelauquén, el de área más pequeña y menor número de especies (Villagrán & Armesto 1980). Actualmente, este fragmento se encuentra prácticamente extinto por efecto de perturbaciones humanas.

Por otra parte, el bosque ya aislado en las Alturas de Talinay habría experimentado una extensa fragmentación durante el Holoceno (Fig. 13). De acuerdo a Veit (1995), la capa de inversión térmica habría ascendido durante este período y, por ende, se habría reducido el área de influencia de neblinas, restringiéndola a las zonas más expuestas y de mayor altitud. Estudios recientes han demostrado que los fragmentos de bosque de FJ se comportan como pequeños “islotos” para las especies de aves e insectos (Cornelius et al. 2001, Barbosa et al. 2002), conservando especies que no aparecen en las zonas de vegetación xerofítica aledaña. Estos antecedentes sugieren que ha habido pérdidas de especies de aves, en comparación con los bosques más continuos del sur de Chile, lo cual sería un efecto directo del proceso de fragmentación. El tamaño de los fragmentos también influye en la composición y estructura florística, como lo ha mostrado Pérez y Villagrán (1985) para Fray Jorge.

La fuerte dependencia de la neblina que exhiben los actuales fragmentos de bosque es evidente al observar su ubicación topográfica, ya que ocupan exclusivamente las zonas con mayor flujo de humedad costera (Capítulo 8). Además, el borde de los fragmentos de bosque más expuesto al viento desarrolla árboles de más altura, mientras que en la zona opuesta del fragmento, donde la intercepción de niebla es menor, muchos árboles presentan desecamiento y mortalidad (Capítulo 9). Esto sugiere que los fragmentos tienen una dinámica asociada a la intercepción de neblinas, que podría ser fluctuante dependiendo de las variaciones en frecuencia e intensidad del flujo de niebla. Es posible que los aportes de niebla experimenten fluctuaciones interanuales, en correspondencia con las grandes variaciones de precipitación y temperaturas asociadas a los cambios de la Oscilación del Sur (Eventos El Niño y La Niña, ENOS), pero estas variaciones no han sido documentadas, por períodos suficientemente largos, como para analizar su posible efecto sobre el bosque (ver Capítulo 16). Si existen fluctuaciones en los aportes de niebla, los fragmentos podrían experimentar expansiones y reducciones de su área en función de estas variaciones, lo que tiene relevancia para la conservación del bosque relicto. Los datos palinológicos muestran que solamente después de 3.000 años A.P., en el Holoceno tardío, ha habido mayor recurrencia de oscilaciones climáticas tipo ENOS en Chile central y Norte Chico (Maldonado & Villagrán 2002, Villa-Martínez et al. 2003).

Paralelamente al proceso de fragmentación y pérdida de especies de los relictos aislados por efecto de la sequía del Holoceno, se habría producido un fuerte aumento de la dominancia de olivillo en los ensambles (Pérez & Villagrán 1985). Por sus características esclerófilas, ya discutidas, esta especie estaría pre-adaptada para tolerar la creciente aridez (Capítulo 12). También el proceso de fragmentación, asociado al incremento de luz en el piso del bosque, habría favorecido la regeneración de olivillo, que es una especie semi-tolerante que requiere de claros de

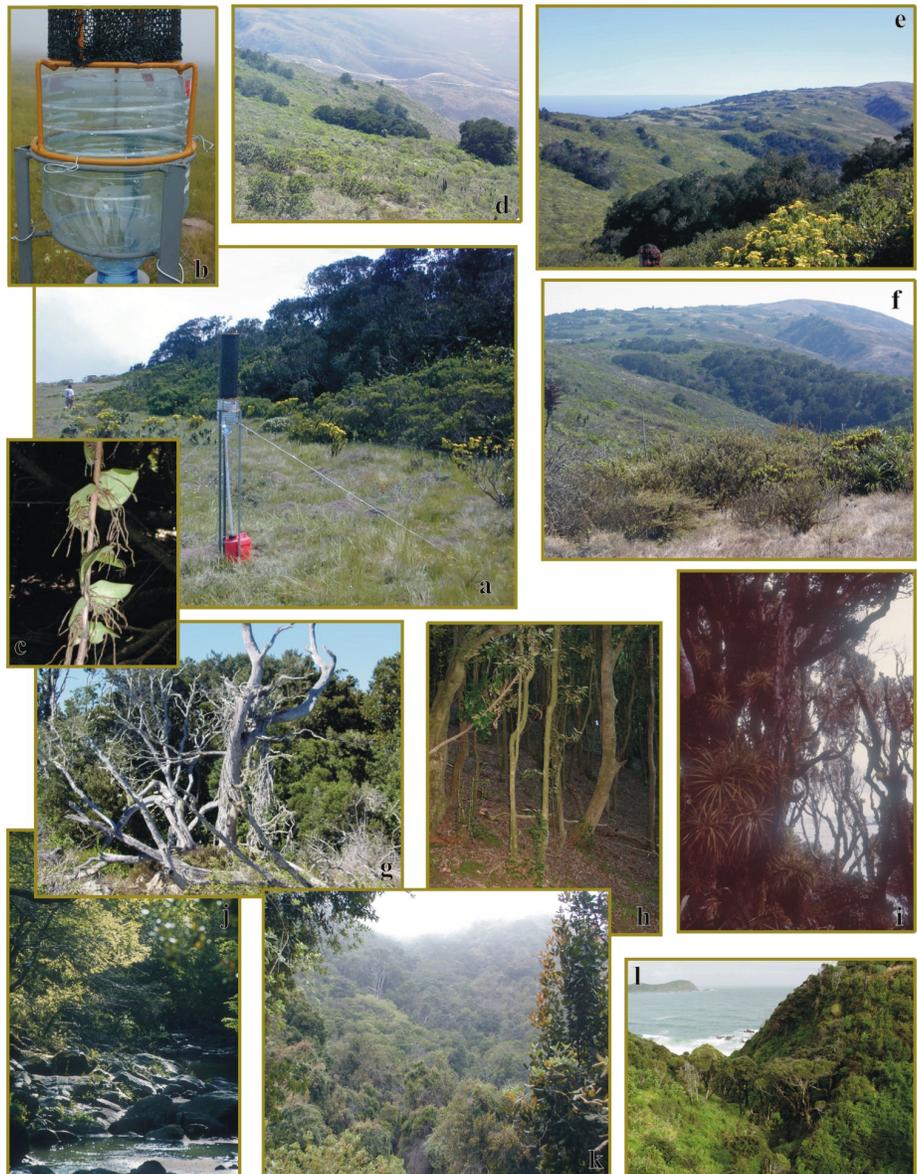


Fig. 13. (a-b). Colector de neblina instalado en Fray Jorge. (c) Una de las plantas más importantes en la captación de neblina, *Griselinia scandens*. (d-f) Aspecto y detalles del proceso de fragmentación que exhibe actualmente el bosque de Fray Jorge. (g) Petrillas muertas en el borde los fragmentos, uno de los efectos de la fragmentación. (h) Aspecto del sotobosque del relicto de Cerro Santa Inés. (i) Bosque de olivillo en Isla Mayor mostrando la profusión de epífitas. (j) Olivillos y petrillas mezclados con especies deciduas (*Nothofagus obliqua*) en Quebrada El Roble, Chile central. (k) Olivillos y petrillas mezclados con especies esclerófilas, especialmente peumo, boldo y belloto, en Quebrada El Tigre, Chile central. (l) Poblaciones puras de olivillo en el acantilado costero de Guabún, Isla Grande de Chiloé.

pequeña escala para alcanzar el dosel (LeQuesne et al. 1999).

Finalmente, la perturbación humana también ha influido en la situación actual de los relictos. El mismo nombre de Fray Jorge alude a un monje de La Serena que, por iluminación divina, habría conducido al descubrimiento del bosque, como fuente de madera para la construcción de las iglesias de La Serena (Capítulo 9). Por otra parte, la ocupación humana ha sido intensiva en la costa del Norte Chico, como lo muestran los más de 200 registros arqueológicos documentados en la costa de Los Vilos (Maldonado 1999).

SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

Sobre la base de la discusión precedente, podemos concluir que el enigmático origen y desarrollo del bosque de Fray Jorge reside en su estrecha vinculación histórica con los eventos tectónicos y climáticos, y la compleja paleodistribución de los bosques del cono sur de Sudamérica y Chile durante el Terciario y Cuaternario. A continuación, se resumen cronológicamente los eventos más significativos de la historia del bosque de Fray Jorge.

1) Los componentes leñosos de la flora de Fray Jorge se encuentran presentes en las Paleofloras Mixtas del Paleógeno (inicios del Terciario) y corresponden a linajes neotropicales y australasianos que llegaron al continente antes del desmembramiento del Gondwana occidental, poblando las latitudes medias y altas, bajo condiciones climáticas más cálidas y lluviosas que las actuales.

2) La segregación de los espectros florísticos característicos de los bosques subtropicales actuales de Chile, tanto de los relictos de neblina (tipo FJ) como del bosque esclerófilo, se habría producido durante el calentamiento del Mioceno, a partir de las Floras Mixtas de Chile central, que perdieron gran parte del elemento austral-antártico frío y se enriquecieron por aporte de nuevos linajes neotropicales, durante un período de interconexión con las floras del subtropico americano, bajo condiciones cálidas y un régimen pluviométrico biestacional, con lluvias invernales procedentes del oeste y lluvias estivales del este.

3) A finales del Terciario, en el Plioceno-Pleistoceno, la conjugación de una serie de eventos tales como la glaciación de la Antártica occidental y Patagonia, formación de la Corriente fría de Humbolt y levantamiento final de los Andes, determinaron el desarrollo de la “Diagonal Árida”, la cual tuvo tres efectos significativos en el problema analizado:

3.1. Desmembramiento de los bosques subtropicales Terciarios del Cono Sur y su restricción a las costas Pacífica y Atlántica del continente, separados por varios cientos de kilómetros de formaciones áridas.

3.2. Fragmentación, y subsiguiente extirpación del margen norte de los bosques subtropicales de la costa Pacífica, debido al aumento de la aridez en el Desierto de Atacama, al norte de 30° S.

3.3. Expansión de los bosques subtropicales esclerófilos en Chile central, adaptados a la intensa sequía de verano característica del clima estacional mediterráneo, determinada por el efecto de sombra de lluvias de los Andes al flujo de los vientos húmedos de fuente Amazónica.

4. Paralelamente, el paulatino levantamiento tectónico de las Alturas de Talinay, durante el Pleistoceno temprano a medio, proporcionó un refugio y propició el concomitante aislamiento de los remanentes más boreales, i.e., bosque de FJ, separado posteriormente de su análogo más próximo, el bosque de Talinay por la excavación del lecho del río Limarí. Probablemente, el aislamiento de la cadena de relictos del Norte Chico, al sur de Fray Jorge, se produjo con posterioridad y gradualmente, desde el norte hacia el sur, como lo sugieren los patrones latitudinales de afinidad florística y edáfica ya discutidos.

4) Durante los repetidos y prolongados períodos glaciales del Pleistoceno, los desplazamientos hacia el norte de los vientos del oeste, y concomitantes cambios de la Diagonal Árida, determinaron climas más húmedos y fríos en Chile central-sur, con repetidos avances de los bosques australes, dominados por *Nothofagus* y coníferas, hacia latitudes más bajas que las actuales. Los bosques más calidófilos, como el bosque Valdiviano y Esclerófilo habrían encontrado refugio en el litoral y en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa de Chile central-sur. Probablemente, el clima glacial más húmedo permitió la subsistencia y continuidad de la comunidad boscosa relictual a lo largo de la costa de Chile central, aunque la paulatina incorporación de los componentes del bosque esclerófilo y la incorporación de especies valdivianas habrían alterando paulatinamente, y repetidamente, su flora y estructura vegetal.

5) Los períodos interglaciales, en contraste, representaron marcados incrementos de aridez, que acentuaron paulatinamente la discontinuidad de la comunidad relictual costera de olivillo y, al mismo tiempo, determinaron su aislamiento en las cimas de los cerros favorecidos por la niebla. La expansión del matorral semi-árido y restricción gradual de los bosques relictos a las cimas con neblina permanente, habría conducido bastante tempranamente a la pérdida de eslabones que conectaban FJ con Chile central, como lo demuestra la ausencia del elemento esclerófilo en los relictos del Norte Chico. La pérdida de especies, asociada a la reducción y fragmentación de los manchones de bosque, habría determinado la fuerte dominancia actual del olivillo, una especie pre-adaptada a la sequía.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero del Departamento de Investigación de la Universidad de Chile y FONDECYT en la investigación de varios aspectos, ya publicados por los autores, que sirvieron de base a esta integración. El modelo glacial aplicado al problema de esta publicación, fue desarrollado en el marco del actual proyecto FONDECYT de la primera autora (FONDECYT 1000905). El modelo terciario fue desarrollado durante la Tesis doctoral del tercer autor, financiada por FONDECYT 2000025. JJA agradece el apoyo de FONDAP-FONDECYT 1501-0001.

LITERATURA CITADA

- ANZOTEGUI LM & AI LUTZ (1987) Paleocomunidades vegetales del Terciario superior (Formación Ituzaingó) de la Mesopotamia argentina. Revista Asociación de Ciencias Naturales del Litoral (Santa Fé, Argentina) 18: 131-144.
- BARBOSA O & PA MARQUET (2002) Effects of forest fragmentation on the beetle assemblage at the relict forest of Fray Jorge, Chile. *Oecologia* (Berlin), 132, 296-306.

- BERRY E (1938) Tertiary flora from the río Pichileufú, Argentina. Geol. Soc. America. Special Papers 12, 149 pp.
- BROTHERUS V (1924) Musci nonnulli Chilense a C. Skottsberg. Anno 1917 lectae. Acta Horti Gothoburgensis 1: 189-195.
- CORNELIUS C, H COFRÉ & PA MARQUET (2000) Effects of habitat fragmentation on bird species in a relict temperate forest in semiarid Chile. Conserv Biol 14:534–523
- CROIZAT L (1962) On the age of Fray Jorge and Talinay in Chile. Revista Universitaria 47: 57-61.
- DE LA SOTA ER (1973) La distribución geográfica de las Pteridófitas en el Cono Sur de América meridional. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 15: 23-34.
- DILLON MO & M MUÑOZ-SCHICK (1993) A revision of the dioecious genus *Griselinia* (Griselinaceae), including a new species from the coastal Atacama Desert of northern Chile. Brittonia 45 (4): 261-274.
- DREWRY DJ (1978) Aspects of the early evolution of West Antarctic ice. En: EM Van Zinderen Bakker (ed) Antarctic Glacial History and World Palaeoenvironments: 25-32. AA Balkema, Rotterdam.
- ENGEL JJ (1978) A taxonomic and phytogeographic study of Brunswick Peninsula (Strait of Magellan). Hepaticae and Anthocerotae. Fieldiana, Botany 41: 1-319.
- ENGEL JJ (1990) Falkland Islands (islas Malvinas) Hepaticae and Anthocerotophyta: A taxonomic and phytogeographic study. Fieldiana, Botany 23, New Series: 1-209.
- ESPINOSA MR (1940) Hepáticas chilenas fernandezianas y del continente. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural (Chile) 18: 125-128.
- FASOLA A (1969) Estudio palinológico de la Formación Loreto (Terciario medio), Provincia de Magallanes, Chile. Ameghiniana 6: 3-19.
- FLOHN H (1978) Comparison of Antarctic and Arctic climate and its relevance to climatic evolution. En: EM Van Zinderen Bakker (ed) Antarctic Glacial History and World Palaeoenvironments: 3-13. AA Balkema, Rotterdam.
- GAYÓ E (2001) Estudio de improntas terciarias y estimaciones paleoclimáticas en la zona de Concepción, VIII Región del Biobío, Chile. Tesis. Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas. Universidad de Concepción, p.52.
- HÄSSEL DE, G MENÉNDEZ & S SOLARI (1985) Catálogo de las Hepáticas. En: O Boelcke, DM Moore & FA Roig (eds) Transecta Botánica de la Patagonia Austral: 299 – 342. Buenos Aires.
- HE S (1998) A Checklist of the Mosses of Chile. J. Hattori Bot. Lab. N° 85:103-189.
- HERZOG TH (1944) Eine leine Lebermoss Sammlung aus Chile. Acta Horti Gotoburgensis 5: 157-163.
- HEUSSER CJ (1990) Ice age vegetation and climate of subtropical Chile. Palaeogeography, Paleoclimatology, Paleoecology 80: 107-127.
- HINOJOSA LF (1996) Estudio paleobotánico de dos tafófloras terciarias en la Precordillera de Chile Central (La Dehesa) e inferencias sobre la vegetación y el clima terciario de Austrosudamérica. MS Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago. 157 pp.
- HINOJOSA LF (2003) Fisionomía foliar y clima de las paleofloras mixtas del Terciario de Sudamérica. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. 174 pp.
- HINOJOSA LF & C VILLAGRÁN (1997) Historia de los bosques del sur de sudamerica, I: Antecedentes paleobotánicos, geológicos y climáticos del Terciario del cono sur de América. Revista Chilena de Historia Natural 70: 225-239.

- HÜNICKEN M (1967) Flora terciaria de los estratos de Río Turbio, Santa Cruz. Revista Facultad de Cs. Exactas, Físicas y Naturales, Universidad de Córdoba, Ciencias Naturales 27: 139-227.
- JARA P, FA SQUEO & M HERSHKOVITZ (2002) Divergencia genética en *Drimys* (canelo) en Chile, mediante análisis con RAPD. Biological Research 35: R-54.
- JENNY B, BL VALERO-GARCÉS, R VILLA-MARTÍNEZ, R URRUTIA, M GEYH & H VEIT (2002) Early to Mid-Holocene aridity in central Chile and the southern westerlies: The Laguna Aculeo record (34 S). Quaternary Research, 58, 1-11.
- KENNETT JP (1978) Cenozoic evolution of circumantarctic palaeoceanography. En: EM Van Zinderen Bakker (ed). Antarctic Glacial History and World Palaeoenvironments: 41-56. AA Balkema, Rotterdam.
- KVASOV DD & M VERBITSKY (1981) Causes of Antarctic Glaciation in the Cenozoic. Quaternary Research 15: 1-17.
- KUMMEROW J (1966) Aporte al conocimiento de las condiciones climáticas del bosque de Fray-Jorge. Boletín Técnico de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile 24: 21-28.
- LANDRUM LR (1981) The Phylogeny and Geography of *Myrceugenia* (Myrtaceae). Brittonia 33: 105-129.
- LATORRE C, J QUADE & WC MCINTOSH (1996) The expansion of C4 grasses and global change in the Late Miocene: Stable isotope evidence from the Americas. Earth and Planetary Science Letters 146: 83-96.
- LEQUESNE C, C VILLAGRÁN & R VILLA (1999) Historia de los bosques relictos de "olivillo" (*Aextoxicon punctatum*) y Mirtáceas de la Isla Mocha, Chile, durante el Holoceno tardío. Revista Chilena de Historia Natural 72: 31-47.
- LOOSER G (1935) Argumentos botánicos a favor de un cambio de clima en Chile Central en tiempos geológicos recientes. Revista Universitaria 20: 843-857.
- MALDONADO A (1999) Historia de los bosques pantanosos de la costa de Los Vilos (IV Región, Chile) durante el Holoceno medio y tardío. MS Tesis, Universidad de Chile, Santiago.
- MALDONADO A & C VILLAGRÁN (2002) Paleoenvironmental changes in the semiarid coast of Chile (32° S) during the last 6200 cal years inferred from a swamp forest pollen records. Quaternary Research 58: 130-138.
- MAGURRAN AE (1988) Ecological diversity and its measurement. Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey.
- MARTICORENA C & R RODRÍGUEZ (1995) Flora de Chile. Volumen I. Ediciones Universidad de Concepción, Concepción. 351 pp.
- MATTERI C (1985) Catálogo de los Musgos. En: O Boelcke, DM Moore & FA Roig (eds.) Transecta Botánica de la Patagonia Austral: 265-298. Buenos Aires.
- MAYER V, M MÖLLER, M PERRET & A WEBER (2003) Phylogenetic position and generic differentiation of Epithemateae (Gesneriaceae) inferred from plastid DNA sequence data. American Journal of Botany 90: 231-239.
- MENÉNDEZ C (1962) Leño petrificado de una Leguminosa del terciario de Tiopunco, Provincia de Tucumán. Ameghiniana 2: 121-126.
- MERCER JH (1976) Glacial history of southernmost South America. Quaternary Research 6: 125-166.
- MUÑOZ C & E PISANO (1947) Estudio de la vegetación y flora de los Parques Nacionales Fray Jorge y Talinay. Agricultura Técnica 7: 71-190.
- NISHIDA M, H NISHIDA & T OHSAWA (1988) Preliminary notes on the petrified woods from the Tertiary of Cerro Dorotea, Última Esperanza, Chile. A Report of the Botanical Survey to Bolivia and Southern Chile (1986-87), Faculty of Science, Chiba University, Japan: 16-25.

- NORES M & MM CERANA (1990) Biogeography of forest relics in northwestern Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* 63: 37-46.
- OBERDORFER E (1960) *Pflanzensoziologische Studien in Chile*. J. Cramer, Weinheim. 208 pp.
- PALMA-HELDT S (1983) Estudio palinológico del Terciario sedimentario de Lonquimay, Provincia de Malleco, Chile. *Revista Geológica de Chile* 18: 55-75.
- PÉREZ C (1994) Índices de esclerofilia en relación a la calidad química de la hojarasca y al grado de mineralización potencial del Nitrógeno del suelo superficial del bosque de olivillo (*Aextoxicon punctatum* R. et Pav.) en Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 67: 101-109.
- PÉREZ C (1996) Los procesos de descomposición de la materia orgánica en bosques templados costeros: Interacción entre suelo, clima y vegetación. En: JJ Armesto, C Villagrán & MTK Arroyo (eds). *Ecología de los bosques nativos de Chile*: 301-315. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- PÉREZ C & C VILLAGRÁN (1985) Distribución de abundancias de especies en bosques relictos de la zona mediterránea de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 58: 157-170.
- PÉREZ C & C VILLAGRÁN (1994) Influencia del clima en el cambio florístico, vegetacional y edáfico de los bosques de olivillo (*Aextoxicon punctatum* R. et Pav.) de la Cordillera de la Costa de Chile: Implicancias biogeográficas. *Revista Chilena de Historia Natural* 67: 77-88.
- PHILIPPI F (1884) A visit to the northernmost forest of Chile. *Journal of Botany* 22: 202-211.
- RAMBO B (1951) O Elemento Andino no Pinhal Riograndense. *Sellowia* 3: 7-39.
- RAMBO B (1952) Análise geográfica das compostas sulbrasileiras. *Sellowia* 4: 87-159.
- RAMBO B (1953) História da flora do Planalto Riograndense. *Sellowia* 5: 185-232.
- RAMBO B (1956) A flora fanerogâmica dos Aparados Riograndenses. *Sellowia* 7: 235-298.
- ROMERO EJ (1978) Paleoecología y paleofitogeografía de las taofloras del Cenofítico de Argentina y áreas vecinas. *Ameghiniana* 15: 209-227.
- ROMERO EJ (1986) Paleogene phytogeography and climatology of South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 73: 449-461.
- ROBINSON R (1975) The mosses of Juan Fernández Islands. *Smithsonian Contributions to Botany* 27: 1-88.
- SAVOLAINEN V (2000) Phylogenetic of flowering plants based on combined analysis of plastid atpDNA and rbcL sequences. *Systematic Biology* 49: 306-362.
- SCOTT G & STONE I (1976) *The Mosses of Southern Australia*. Academic Press, 495 pp.
- SEKI T (1974) Moss Flora of Provincia de Aisén, Chile. *Journal of Science of the Hiroshima University, Series B, Div. 2 (Botany)* 15: 9-101.
- SCHMITHÜSEN J (1956) Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. *Bonner Geographische Abhandlungen* 17: 1-86.
- SEHNEM A (1953) *Bryologia Riograndensis*. *Sellowia* 5: 95-106.
- SKOTTSBERG C (1948) Apuntes sobre la flora y vegetación de Frai Jorge (Coquimbo, Chile). *Acta Horti Gotoburgensis* 18: 91-184.
- SQUEO FA, G ARANCIO & JR GUTIÉRREZ (2001) *Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su conservación: Región de Coquimbo*. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena. 372 pp + xii
- STUESSY TF, KA FOLAND, JF SUTTER, RW SANDERS & M SILVA (1984) Botanical and geological significance of potassium-argon dates from the Juan Fernández Islands. *Science* 225: 49-51

- SUH Y, L THIEN, H REEVE & E ZIMMER (1993) Molecular evolution and phylogenetic implications of internal transcribed base sequences of ribosomal DNA in Winteraceae. *American Journal of Botany* 80: 1042-1055.
- TRONCOSO A (1991) Paleomegaflora de la Formación Navidad, Miembro Navidad (Mioceno), en el área de Matanzas, Chile central occidental. *Boletín Museo Nacional de Historia Natural (Chile)* 42: 131-168.
- TRONCOSO A (1992) La taoflora terciaria de Quinamávida (VII Región, Chile). *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural (Chile)* 43: 155-178.
- TRONCOSO A, C VILLAGRÁN & 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.
- VEIT H (1995) Jungquartäre Landschafts-und Klimaentwicklung der zentralen Andes und ihres westlichen Vorlandes: Kenntnisstand und Probleme. *Geomethodica* 20: 163-194.
- VIELLIARD J (1990) Estudio bioacústico das aves do Brasil: o gênero *Scytalopus*. *Ararajuba* 1: 5-18.
- VILLAGRÁN C (1994) Quaternary history of the mediterranean vegetation of Chile. En: MTK Arroyo, P Zedler & M Fox (eds). *Ecology and Biogeography of Mediterranean Ecosystem in Chile, California and Australia*: 3-20. Springer Verlag, New York.
- VILLAGRÁN C (2001) Un modelo de la historia de la vegetación de la Cordillera de la Costa de Chile central-sur: la hipótesis glacial de Darwin. *Revista Chilena de Historia Natural* 74: 793-803.
- VILLAGRÁN C & JJ 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.
- VILLAGRÁN C & J VARELA (1990) Palynological Evidence for Increased Aridity on the Central Chilean Coast during the Holocene. *Quaternary Research* 34: 198-207.
- VILLAGRÁN C & LF HINOJOSA (1997) Historia de los bosques del sur de Sudamérica, II: Análisis fitogeográfico. *Revista Chilena de Historia Natural* 70: 241-267.
- VILLAGRÁN C, A LEÓN & F ROIG (2003) Paleodistribución glacial del alerce (*Fitzroya cupressoides*) en la Región de los Lagos de Chile. Manuscrito enviado a *Revista de Geología de Chile*.
- VILLA-MARTÍNEZ R & C VILLAGRÁN (1997) Historia de la vegetación de los bosques pantanosos de la costa de Chile central durante el Holoceno medio y tardío. *Revista Chilena de Historia Natural* 70: 391-401.
- VILLA-MARTÍNEZ R, C VILLAGRÁN & B JENNY (2003) Pollen evidence for Late Holocene climatic variability at Laguna Aculeo, central Chile (34°S). *The Holocene*: en prensa.
- VINNERSTEN A & K BREMER (2001) Age and biogeography of major clades in Liliales. *American Journal of Botany* 88: 1695-1703.
- WOLFHÜGEL (1949) Rätsel der Notohyalea. *Revista Sudamericana de Botánica* 8: 45-58.
- ZINSMEISTER W (1978) Effect of formation of the West Antarctic ice sheet on shallow water faunas of Chile. *Antarctic Journal US* 13: 25-26.

Capítulo 2

Antecedentes bioclimáticos del Parque Nacional Bosque Fray Jorge.

FRANCISCO LÓPEZ-CORTÉS & DAVID LÓPEZ

RESUMEN

Los principales factores que influyen en el clima regional corresponden a la presencia de células de alta presión del Anticiclón del Pacífico Sur, la Corriente fría de Humboldt, y el relieve regional, en especial la presencia de la Cordillera de la Costa y de Los Andes. Climáticamente se ubica en la zona mediterránea árida de Chile. A menor escala y considerando variantes del clima mediterráneo, es posible reconocer el clima mediterráneo litoral con influencias oceánicas. Esta zonificación ha sido más extensamente discutida, asignándole la tipología de clima de estepa con nubosidad abundante (BSn). Es en esta zona donde se ubica el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Con una superficie de 9.959 ha, el Parque Nacional Bosque Fray Jorge alberga una diversidad de ambientes naturales con características climáticas particulares. En términos generales, las masas de aire transportadas en sentido sur-este desde el océano, y la presencia de la capa de inversión térmica, generan una marcada ocurrencia de nubosidad costera bajo los mil metros de altitud. Tales masas de aire, cuyo grosor es cercano a 250 m, son interceptadas por los cordones montañosos por encima de los 400 m, es en esta zona donde hay mayor influencia de la neblina como fuente de recursos hídricos. Finalmente, el efecto de succión de las zonas a sotavento acentúa un desplazamiento de la neblina, aunque con menor cantidad de vapor de agua, hacia las zonas interiores en sentido oeste-este. De especial interés y en función de la disponibilidad de antecedentes climáticos, se analiza la zona boscosa (bosque higrófilo), restringida a la cima de los cerros de la Cordillera de la Costa, caracterizada por presentar altos valores de humedad relativa, y bajas oscilaciones térmicas. La zona mediterránea (matorral seco), con menor influencia de la neblina se caracteriza por presentar altas temperaturas, menores valores de humedad relativa y una mayor dependencia de las precipitaciones. Así, la neblina constituye una fuente de agua más estable en el tiempo que las precipitaciones, las cuales están sujetas a una marcada variabilidad interanual. Finalmente, en este capítulo se entregan antecedentes de los principales elementos del clima local y se discuten algunas consideraciones acerca del futuro escenario micro-climático de los dos principales ambientes del Parque Nacional Bosque Fray Jorge.

Palabras Clave: Clima, precipitación, neblina, temperatura, humedad relativa.

INTRODUCCIÓN

La interacción de factores atmosféricos, oceánicos y orográficos determinan la distribución espacial de los principales elementos del clima en el Norte de Chile. La combinación e intensidad de la interacción de estos factores, determina el clima en la Cuarta Región de Coquimbo, ubicada en la zona árida de la vertiente occidental de Sudamérica, entre los 29° 00' y los 32° 10' de latitud Sur (Sánchez & Morales 1998). Corresponde a una región de transición entre el Desierto de Atacama y las zonas más mésicas del centro del país. Es afectada por la presencia permanente de la Corriente fría de Humboldt, que corresponde a un complejo flujo superficial y sub-superficial de aguas de origen polar que se desplazan hacia el norte influenciando la temperatura del aire superficial y del mar, provocando valores inferiores a lo esperado por el descenso latitudinal de la temperatura del mar (Cereceda & Errázuriz 1991), registrándose en las costas del norte de Chile temperaturas menores a 17° C (Romero 1985, Romero et al. 1988, Vásquez et al. 1998, Luna-Jorquera & Culik 1999).

El efecto del Anticiclón del Pacífico subtropical, que corresponde a un sistema semi permanente de altas presiones situado cerca de los 35°S, 90°O en enero y a 25°S, 90°O en Julio (Kalthoff et al. 2002), influencia la intrusión de frentes de inestabilidad polar, estabiliza la atmósfera debido a la subsidencia atmosférica, inhibe la formación de nubes en la media y alta atmósfera y en particular, cuando estas corrientes de aire descendente se enfrentan con la superficie oceánica fría, se genera una capa de inversión térmica, es decir, una capa de aire de mayor temperatura entre dos capas de aire frío, contrario a la condición normal de descenso de la temperatura con el incremento de la altitud.

A lo largo de la costa del norte de Chile, la capa de inversión térmica resulta en el establecimiento de una capa de estratos nubosos permanentes durante el año (Miller 1976), que ocupan cientos de kilómetros de extensión norte-sur con grosor aproximado de 250 m (Rundel et al. 1991), y cuya altitud media varía latitudinalmente, así por ejemplo en las cercanías de Antofagasta se ubica entre los 800-900 m (Miller 1976), Pan de Azúcar entre los 300 y 800 m (Thompson et al. 2003), La Serena entre los 500 y 800 (Weischet 1970, Miller 1976) y Quintero a 500 m (Miller 1976).

La topografía, en especial la Cordillera de la Costa, ejerce un control orográfico bloqueando la penetración de masas de aire marino, que arrastradas por los vientos se dirigen hacia las tierras interiores del continente (Rundel et al. 1991) y la Cordillera de Los Andes que actúa como biombo climático de la influencia climática oriental, y a causa de su abrupto levantamiento provoca un control de los flujos regionales de los vientos (Kalthoff et al. 2002), y un notorio gradiente climático-altitudinal, especialmente de la temperatura y la precipitación.

Utilizando criterios bioclimáticos, la Cuarta Región de Coquimbo se ubica en la zona mediterránea árida de Chile (Di Castri & Hajek 1976), la que se extiende hasta cerca de los 33° de latitud Sur. En ella las precipitaciones se concentran en la estación fría del año, con sequía en los meses cálidos (estival), aunque con una marcada variabilidad de los montos pluviométricos intra e interanual. Las temperaturas muestran fluctuaciones estacionales, aunque con notable homegeneidad a lo largo de los años (Espinoza & Hajek 1988).

Al considerar la diferenciación latitudinal y longitudinal de los elementos climáticos, es posible distinguir variantes del clima mediterráneo (Di Castri & Hajek 1976). Se reconoce el clima mediterráneo litoral con influencia oceánica, mediterráneo interior y mediterráneo montano (Di Castri & Hajek 1976). Tal diferenciación fue discutida por Koeppen (1948), quién reconoce para los climas semiáridos las variantes de estepa con nublados abundantes (BSn), estepa templada marginal (BSIW), estepa templada con precipitaciones invernales (BSks), estepa fría de montaña (BSk'G) y tundra de alta montaña (EB) (Fig. 1). La estepa con nublados abundantes corresponde a la zona costera que se extiende desde La Serena a Los Vilos y se caracteriza por la influencia oceánica y la presencia de abundante nubosidad nocturna y matinal (Antonioletti et al. 1972), con cerca de 100 días del año en promedio despejados, amplitud térmica débil (5-6°C), elevada humedad relativa y régimen de vientos predominantemente suroeste (Paskoff 1993), y que de acuerdo a este último autor correspondería al clima semiárido litoral.

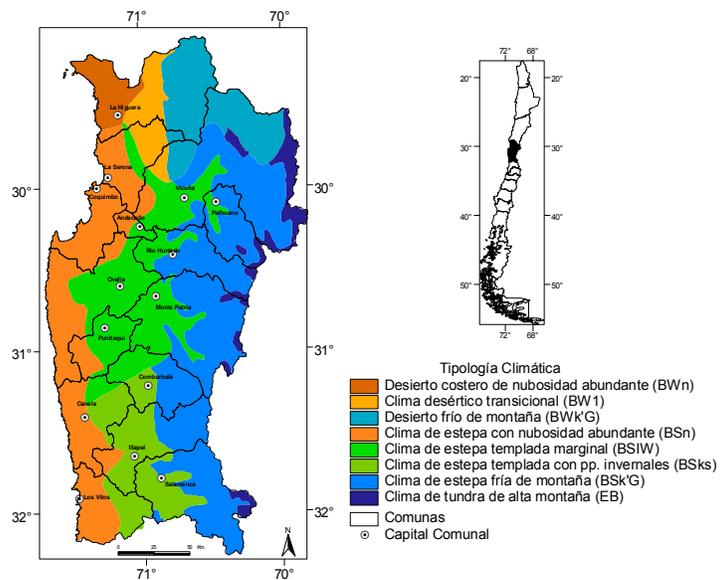


Fig. 1. Tipología climática de la Cuarta Región (modificado de Romero et al. 1988)

ANTECEDENTES BIOCLIMÁTICOS DEL P.N. BOSQUE FRAY JORGE

El Parque Nacional Bosque Fray Jorge (30°38' S - 71°40' O) se ubica en la zona mediterránea árida con influencias oceánicas. Localizado en la comuna de Ovalle, Provincia de Limarí, IV Región de Coquimbo, a 110 km al Sur de la ciudad de La Serena. (ver Capítulo 9) ocupa una extensión de 9.959 ha (Squeo et al. 2001).

A nivel local, los factores atmosféricos, cuya acción es más evidente a mayor escala, incluyen el debilitamiento latitudinal del frente polar y la influencia marítima polar. El régimen local de vientos, que a lo largo de la línea de costa se desplazan en dirección oeste bajo los mil metros (Paskoff 1993, Kalthoff et al. 2002) fluyen hacia el continente transportando masas de aire cargados de humedad desde el océano, las que al enfrentarse a la Corriente fría de Humboldt, en especial en las cercanías del

litoral, favorecen la formación de estratos nubosos, en una atmósfera estabilizada y cuyo techo altitudinal corresponde a la capa de inversión térmica.

En el Parque Nacional Bosque Fray Jorge, la angosta extensión de las terrazas marinas de abrasión (cerca de 5 km) es interrumpida abruptamente por los macizos de la Cordillera de la Costa (Paskoff 1993), en particular Los Altos del Talinay que alcanzan cerca de 700 m de altitud (Novoa & López 2001). En áreas donde el relieve supera los 400 m de altitud, las masas de aire marino son interceptadas y forzadas a ascender por la vertiente occidental (Fig. 2), con lo cual disminuye su capacidad de retención de humedad, creándose un ambiente lo suficiente húmedo como para sostener comunidades vegetales (Rundel & Mahu 1976, Marquet et al. 1998, ver Capítulo 16).

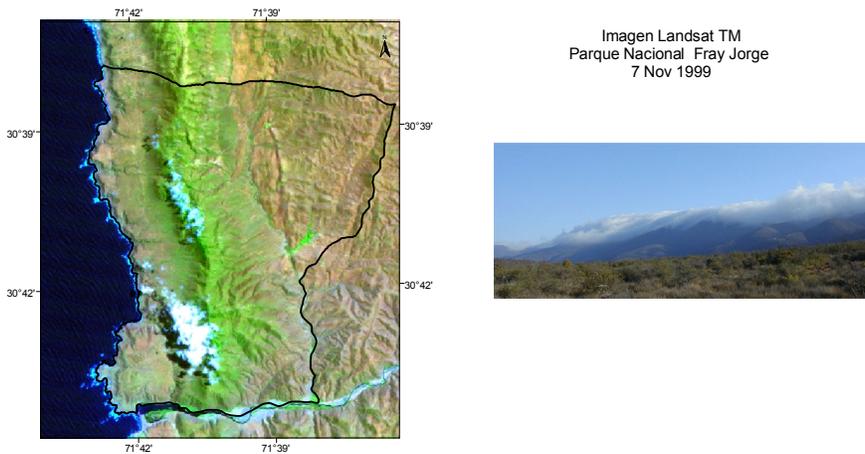


Fig. 2. Imagen satelital del Parque Nacional Bosque Fray Jorge.

Una vez que la neblina atraviesa la cima de los cerros, y debido a la menor presión atmosférica en la vertiente oriental como causa de su mayor insolación, se genera un gradiente de presión que favorece el descenso rápido de la masa de aire, la que ahora con una menor cantidad de vapor de agua y una mayor temperatura (Peña & Schneider 1982) alcanza la zona mediterránea.

ANTECEDENTES DE LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS EN EL P.N. BOSQUE FRAY JORGE

Precipitaciones

Las regiones áridas y semiáridas se caracterizan por presentar precipitaciones anuales inferiores a 250 mm (Noy-Meir 1973, Strahler 1979, Cuadrat & Pita 1997) altamente variables entre años como dentro de estos.

A escala inter-anual, y para una serie de 21 años de registro (1983-2003), el promedio anual de precipitación en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge es de 147 mm (Fig. 3). Una alta variabilidad (coeficiente de variabilidad = 81%) es evidente ya que se presentan años extremadamente lluviosos (i.e. 1987, 1991, 1997, 2002), que pueden ser seguidos por uno o varios años secos (i.e., 1990, 1998), a intervalos

variables entre 2 a 5 años. La recurrencia de años secos y lluviosos estaría asociada al fenómeno de ENOS (El Niño / Oscilación del Sur), el cual favorece la ocurrencia de precipitaciones en la franja costera del norte del Perú hasta Chile Central. No obstante en algunos años ENOS la precipitación puede ser deficitaria (i.e., 1986), o menos intensa que lo observado en Chile central en los mismos años. Adicionalmente, estudios recientes muestran que la tendencia secular (i.e., de más de 50 años) de la precipitación en Chile central es hacia una disminución de la precipitación (Santibáñez & Uribe 1999).

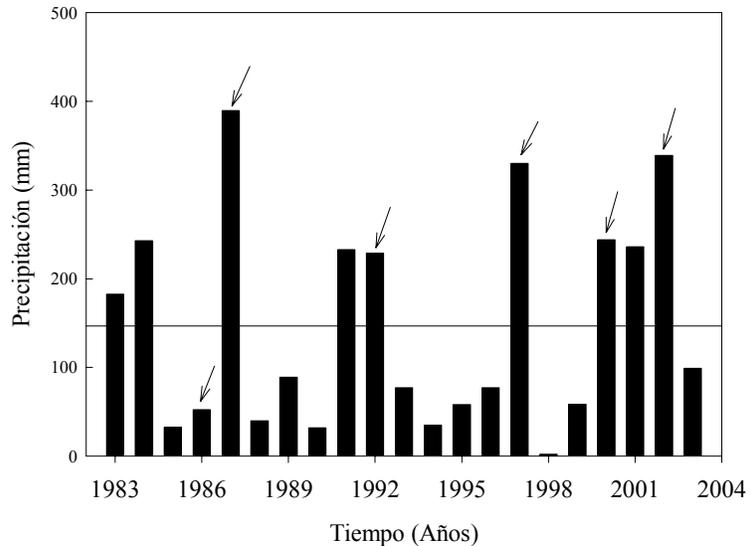


Fig. 3. Precipitación anual en el P. N. Bosque Fray Jorge. Las flechas indican años ENOS. La línea horizontal corresponde al promedio del período 1983-2003.

La conducta de años lluviosos separados por un número variable de años secos y sus efectos sobre la biota terrestre han sido extensamente estudiados en el sector del matorral xerófito del Parque Nacional Fray Jorge por Meserve et al. (1995, 2003), Gutiérrez et al. (1993a), Gutiérrez & Meserve (2003), Holmgren et al. (2001), Holmgren & Scheffer (2001), aunque menor atención ha sido prestada a los efectos de ENOS en el sector del bosque.

A escala intra-anual, la precipitación se concentra en la estación de invierno, acumulándose entre junio y agosto. Excepcionalmente la estación de lluvias puede extenderse entre abril a octubre. Debido a la falta de información climática secular del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, y utilizando los antecedentes recopilados por la estación meteorológica automática ubicada al interior del Parque en la Quebrada Las Vacas, se analizó la tendencia de la precipitación dentro de cada año. Para un período de 5 años de registro, 1999 a 2002, encontramos que la estación húmeda se extendió desde mayo a septiembre, acumulándose entre junio y agosto más del 50% de la precipitación anual total. El mes más lluvioso en 1999 correspondió a octubre (acumulando el 25% del monto anual), junio (58%) en el año 2000, julio (51%) en el 2001 y junio (35%) el año 2002 (Fig. 4).

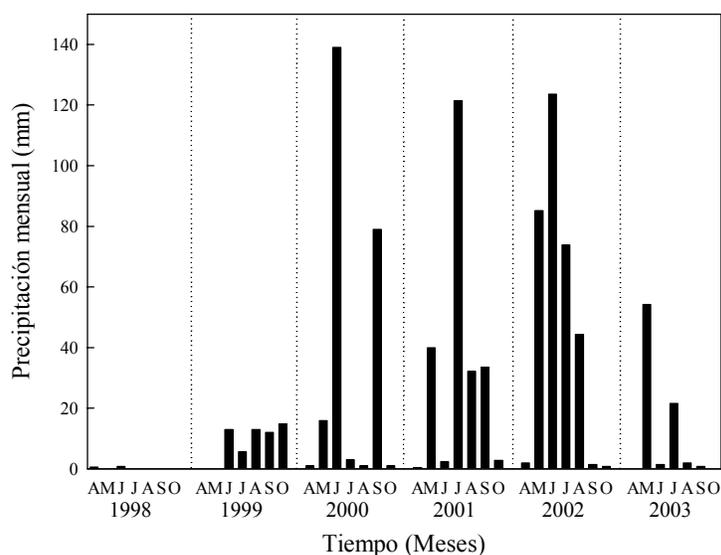


Fig. 4. Precipitación mensual registrada en el P. N. Bosque Fray Jorge. Se muestran sólo los meses con presencia de lluvia (Abril a Octubre). Datos de Estación Quebrada Las Vacas.

Al analizar los montos pluviométricos diarios dentro de la estación de lluvias, es notorio que el agua caída durante un año ocurre en eventos intensos de corta duración, los que en general duran unas pocas horas. Esto es la conducta habitual en áreas desérticas, especialmente en zonas donde los eventos de precipitación son impredecibles (Fuentes 1988). Por ejemplo, al considerar el mes más lluvioso de cada año entre 1999 a 2002, período para el cual se cuenta con registros detallados, encontramos que el 89% del monto total del mes de octubre de 1999 precipitó en un evento de 6 h, dicho de otra manera, el 22% del monto anual ocurrió en ese tiempo. En el año 2000, el monto total del mes más lluvioso (139 mm) estuvo concentrado en tres eventos: dos de 15 h de duración (34% y 35% del monto mensual) y otro de 21 h. En el año 2001 en un evento de 16 h precipitó el 53% del monto del mes más lluvioso (julio= 121,4 mm), mientras que en el año 2002, el 76% del monto de junio (123,6 mm) precipitó en un evento de 23 h. Los restantes montos de cada año se encuentran discretamente distribuidos a lo largo de la estación lluviosa.

Estos eventos intensos de lluvia (*pulsos*), aunque de corta duración, tienen un importante impacto sobre los ecosistemas áridos, ya que pueden corresponder a umbrales de germinación de semillas (véase Vidiella & Armesto 1989, Armesto et al. 1993), favorecer la mayor presencia de agua en la capa superficial del suelo, especialmente en áreas bajo arbustos (véase Gutiérrez et al. 1993b, Gutiérrez 2001), la que puede ser utilizada por especies con sistema radicular superficial (Squeo et al. 1999, Torres et al. 2002) y desencadenar aumentos de la actividad microbiana, especialmente en áreas bajo el dosel arbustivo (Aguilera et al. 1999).

Para el sector de bosque se dispone de escasa información, sin embargo algunas investigaciones que analizaron el contenido de agua del suelo (Kummerow 1966, Hajek & Saiz 1976) entre el sector del bosque higrófilo y la zona de matorral, sugieren que el efecto de la lluvia no es claramente detectable en el bosque, pero si

en el matorral, donde estos ingresos pueden tener consecuencias biológicas más evidentes. Asimismo, plantean que la precipitación de neblina (Kummerow 1966), es clave para mantener los niveles de humedad de suelo necesarios para el desarrollo de la actividad biológica en el bosque.

Humedad del Suelo

El contenido volumétrico de agua en el suelo, medido con sensores automáticos instalados en tres niveles de profundidad (0-5 cm, 5-10 cm y 10-15 cm) en la zona de matorral (Quebrada Las Vacas) durante los meses con registros de precipitaciones (mayo a septiembre) del año 2002, aumenta en respuesta a los eventos de precipitación (Fig. 5). Así por ejemplo, el evento del 13 y 14 de mayo (31,6 mm) generó un aumento del contenido volumétrico de agua del suelo desde 3% (valor modal para la estación libre de precipitaciones) a 16% en el nivel más superficial.

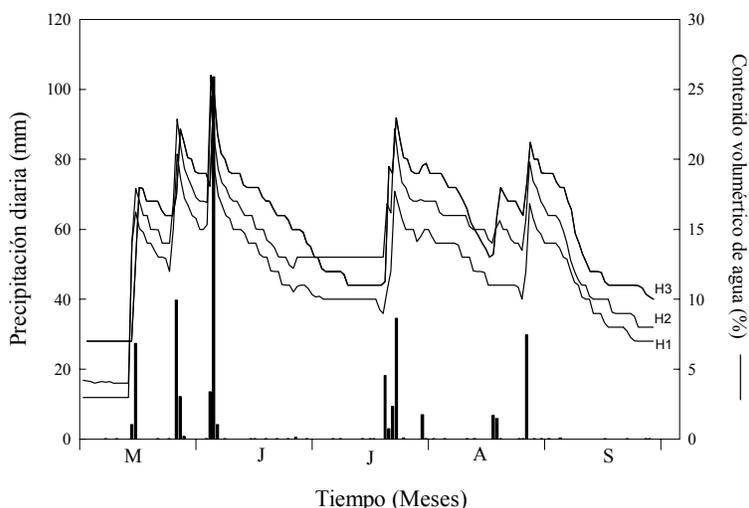


Fig. 5. Precipitación y contenido volumétrico de agua diaria del suelo en tres niveles de profundidad durante la estación lluviosa del año 2002 (1 de Mayo al 30 de septiembre). H₁ (0-5 cm), H₂ (5-10 cm) y H₃ (10-15 cm de profundidad)

Durante la estación de lluvias, los eventos de precipitación, aunque distanciado en el tiempo, permiten mantener la humedad del suelo en valores superiores al 10%, los que se mantienen bajos en los meses de verano (ca. 2 - 3 %).

La respuesta a los *pulsos* de precipitación en los estratos más profundos del suelo es retrasada con respecto a los más superficiales, aunque proyecta la misma conducta. Sin embargo, la disponibilidad de agua en el tiempo es mayor en los estratos más profundos del suelo (Fig. 5). Este comportamiento acoplado de respuesta de la humedad del suelo en los distintos niveles de profundidad y los eventos de precipitación, es dependiente de la magnitud de los eventos, así como de las características particulares del suelo de la zona de estudio.

No podemos determinar la contribución directa de la neblina sobre la humedad del suelo en el sector del matorral. Sin embargo, al analizar los meses de primavera-verano, que corresponden a las estaciones con mayor influencia de neblina

(Capítulo 16), no detectamos cambios importantes en la humedad del suelo, en especial en el nivel más superficial. La neblina tendría un efecto más evidente sobre la temperatura superficial del suelo, y por ende sobre la evapotranspiración. En cambio, en el sector del bosque la neblina tendría efectos claros e importantes como aporte de agua al suelo (Hajek & Saiz 1976), provocando altos niveles de humedad del suelo en los meses ausentes de precipitaciones. Esto ha impulsado recientes investigaciones acerca del aporte de la neblina como fuente de agua al ecosistema boscoso (Capítulos 9 y 16) y sus posibles aplicaciones en aspectos de reforestación que son tratados en este libro (Capítulos 17 y 18).

Humedad Relativa del Aire

Los valores de humedad relativa del aire varían tanto a escala espacial como temporal. En términos espaciales estos dependen de la ubicación del sitio en estudio, encontrándose montos diferentes entre zonas de laderas a barlovento y cimas, que sujetos a efectos locales según la altitud, inclinación, exposición de la ladera, velocidad del viento y estructura vegetacional (Capítulo 9 y 12) son menores en la vertiente oriental (matorrales), donde por efectos orográficos es mayor la disipación y pérdida de humedad.

En términos temporales hay una variación entre años e intra-anual. A escala interanual se han notado diferencias en la frecuencia de días nublados y consecuentemente de los valores de humedad relativa entre años El Niño/La Niña, siendo mayores durante la Niña (Dawson & Vidiella 1998).

Para 5 años de registro en el sector de Quebrada Las Vacas (1998-2003) la humedad relativa promedio fue 74%, el promedio más alto se presentó el año 2002 (75,3 %), mientras el menor fue el año 2000 (70,8%), el cual es estadísticamente menor que los restantes años (Anova; $p < 0,05$) (Fig. 6).

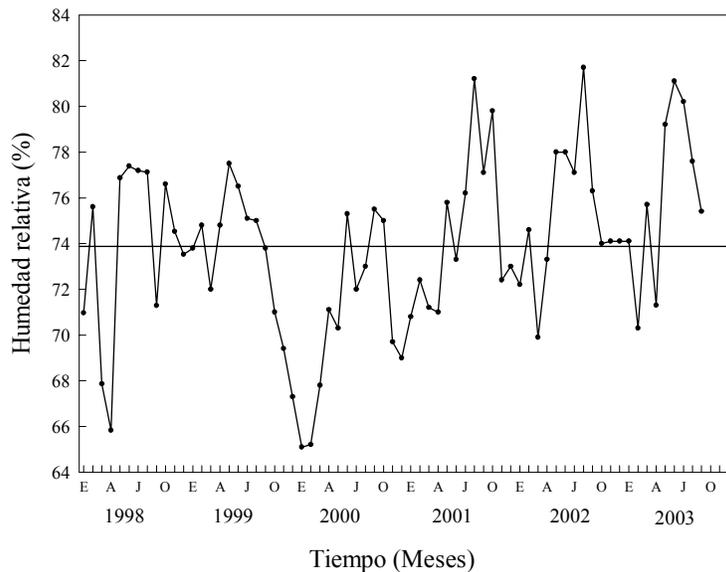


Fig. 6. Humedad relativa mensual en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. La línea horizontal corresponde al promedio del período 1998-2003.

Dentro de cada año se detectan variaciones estacionales, con valores mayores de humedad en los meses de primavera y verano. Para una serie de seis años (1998 y 2003) de registros en el sector matorral, los mayores valores de humedad se alcanzan en los meses de primavera (Fig. 6), aunque en años con bajo aporte de precipitaciones, los meses de fines de invierno (junio-agosto) muestran mayores valores. Desgraciadamente no se dispone de más antecedentes para poner a prueba si esto constituye una regularidad.

En una escala de tiempo menor, durante parte del año 1999 (abril-diciembre) se realizaron mediciones diarias de temperatura y humedad relativa (medias, máximas, mínimas) en fragmentos de bosque, considerando situaciones control (sin remoción de vegetación) y de parches de bosques con extracción de *Griselinia scandens*, (ver Capítulo 17).

Se detecta la variación estacional de la humedad relativa independiente de la condición de manejo del bosque (componente temporal), aunque se observa que en bosques abiertos (con remoción) existen notorias variaciones en los valores máximos y promedio de humedad relativa en los meses de primavera y verano (Fig. 7a) que corresponden a las estaciones en que la humedad ambiental es máxima y que coinciden con el período de germinación de las semillas y crecimiento de la vegetación arbórea (ver Capítulo 17). Estos datos al ser contrastados con los registros de la zona de matorrales, muestran que la humedad relativa media, máxima y mínima es mayor en los bosques (componente espacial), con valores más altos en bosques cerrados.

Cuando existen altos valores de humedad relativa del aire, el vapor de agua contenido en éste bajo ciertas condiciones de temperatura y presión llega a formar neblinas, las que en sistemas desérticos constituyen un importante aporte hídrico que es posible cuantificar. Kummerow (1966) utilizando neblinómetros estimó para cinco años un promedio anual de agua a través de la neblina en 661 mm en la zona del bosque de Fray Jorge, los que sujetos claramente a variaciones estacionales e interanuales, constituyen aportes promedio diez veces superiores a los de precipitación. Recientemente Cruzat (ver Capítulo 16), utilizando neblinómetros, estimó la captación de agua de neblina del sector norte del bosque en $3.117 \pm 526 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (27 meses, entre abril de 1998 a junio de 2000).

Temperatura

Para el período entre 1998 al 2003 se observa una baja variación del promedio anual de temperatura del aire en la zona de Quebrada Las Vacas (13,6 °C). Esto es característico en zonas con influencia marítima (Paskof 1993). Al comparar entre los años, es notoria la estacionalidad en la tendencia de la temperatura mensual, registrándose las menores temperaturas en los meses de invierno (junio-julio) y las mayores en verano, especialmente enero y febrero (Fig. 7b). La temperatura media del mes más frío del período fue 9,7 °C (julio de 1999), mientras que el mes más cálido correspondió a enero de 1998 con 18,5 °C.

Registros detallados de la temperatura diaria y mensual durante el año 2002 muestran una media anual de 13,7 °C. El mes más cálido fue enero (17,05 °C) y el más frío julio (10,9 °C). La temperatura más baja del año ocurrió en julio (0,2 °C) y la mayor en enero (28 °C). El día más frío presentó una temperatura promedio de 7,2 °C (Fig. 8).

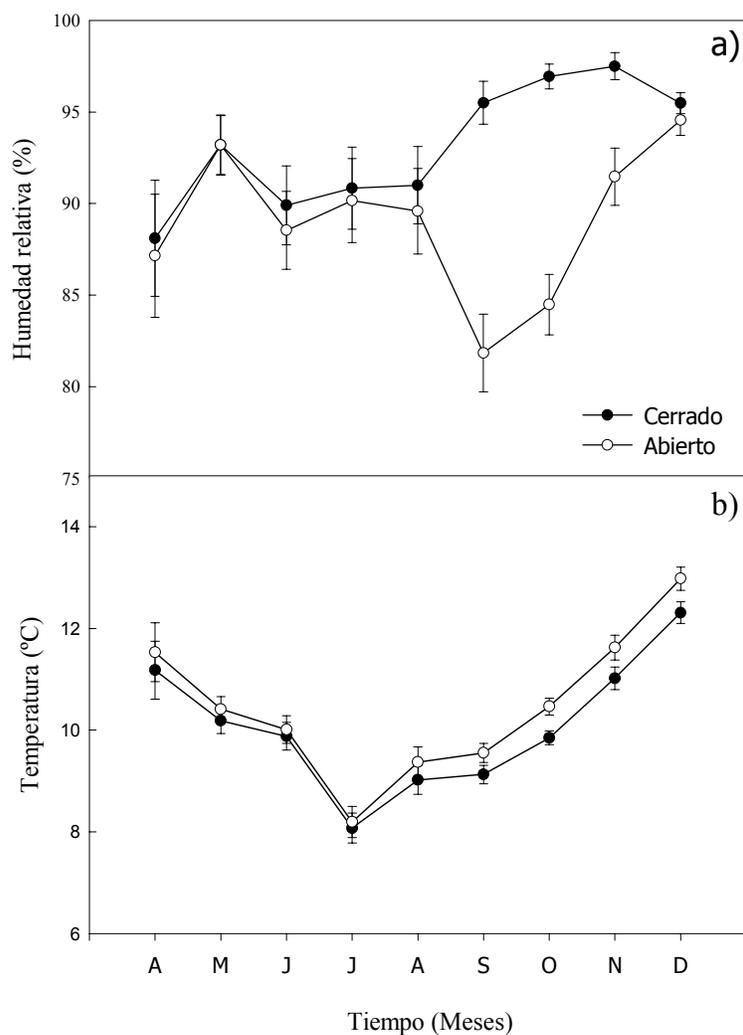


Fig. 7. Humedad relativa (a) y temperatura del aire (b) promedio en fragmentos de bosque, con y sin remoción de *Griselinia scandens* (Yelmo). Las líneas verticales representan ± 1 error estándar. Datos de F.A. Squeo (no publicados).

Al analizar la temperatura del suelo en tres niveles de profundidad para el mismo año, se observa un descenso de la temperatura media anual con la profundidad, con 20,6 °C en el perfil más superficial (0-5 cm), 19,6 °C (entre 5-10 cm) y 19,7 °C en el perfil más profundo (10-15 cm). El perfil superficial (0-5 cm), está sujeto a las mayores variaciones de la temperatura, diaria y mensual. La mayor temperatura promedio mensual se registra en enero (30 °C), y la menor en julio (11,8 °C), similar a la tendencia observada en la temperatura del aire. Los valores absolutos mínimos y máximos de temperatura en el mismo perfil durante el 2002 son de 5,3 °C en julio y 44 °C en enero (Fig. 9).

La temperatura diaria del aire en el curso de un año siempre es menor que la registrada en el suelo, excepto en algunas semanas de los meses de invierno (Fig. 9),

cuando el suelo registra temperaturas cercanas a los 5 °C. La amplitud térmica entre el aire y suelo aumenta claramente hacia los meses de verano, cuando se llegan a registrar hasta 22 °C de oscilación diaria.

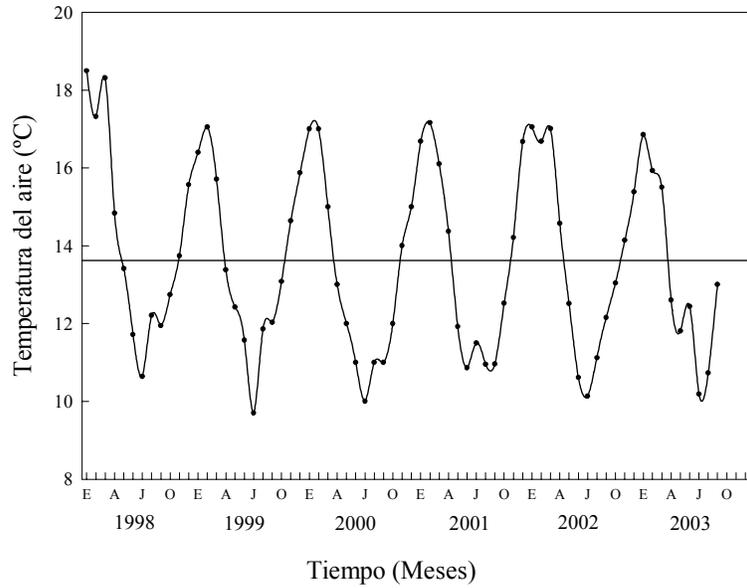


Fig. 8. Tendencia mensual de la temperatura del aire en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. La línea horizontal corresponde al promedio del periodo 1998-2003.

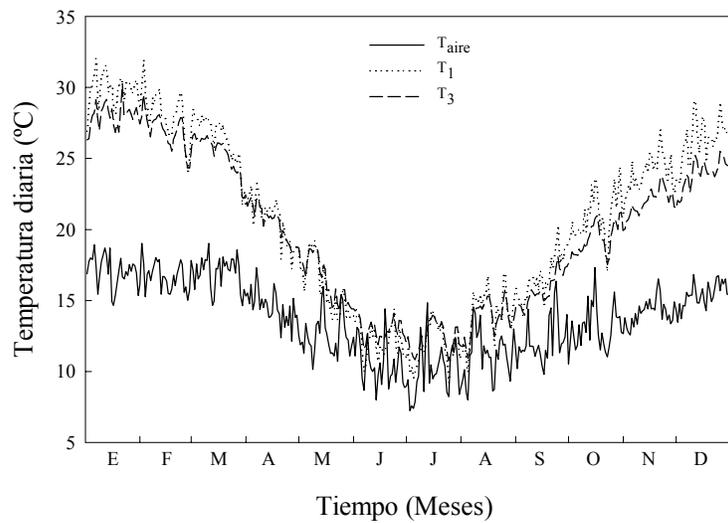


Fig. 9. Temperatura diaria del aire (T_{aire}) y del suelo en dos niveles de profundidad ($T_1 = 0-5$ cm, $T_3 = 10-15$ cm) durante el año 2002.

El análisis de imágenes termales con sensores satelitales Landsat TM7 permite evidenciar la variación espacial a mesoescala, de la temperatura superficial en diferentes zonas del Parque Nacional Bosque Fray Jorge (Fig. 10). Espacialmente es notoria la diferencia de temperatura entre el océano, laderas occidentales, cimas de los cerros de la Cordillera de la Costa y ladera oriental. Para septiembre del año 2002 la temperatura de la superficie del mar en la costa de Fray Jorge era cercana a los 12 °C, mientras que en las zonas de la ladera occidental la temperatura variaba entre 16 °C y 20 °C. En la zona de quebradas y planicies de la vertiente oriental la temperatura superficial alcanzó valores entre 20° y 30 °C. Esto significa que, para un mismo día y hora, se establecen diferencias térmicas cercanas a 15 °C entre ambas laderas (Fig. 10).

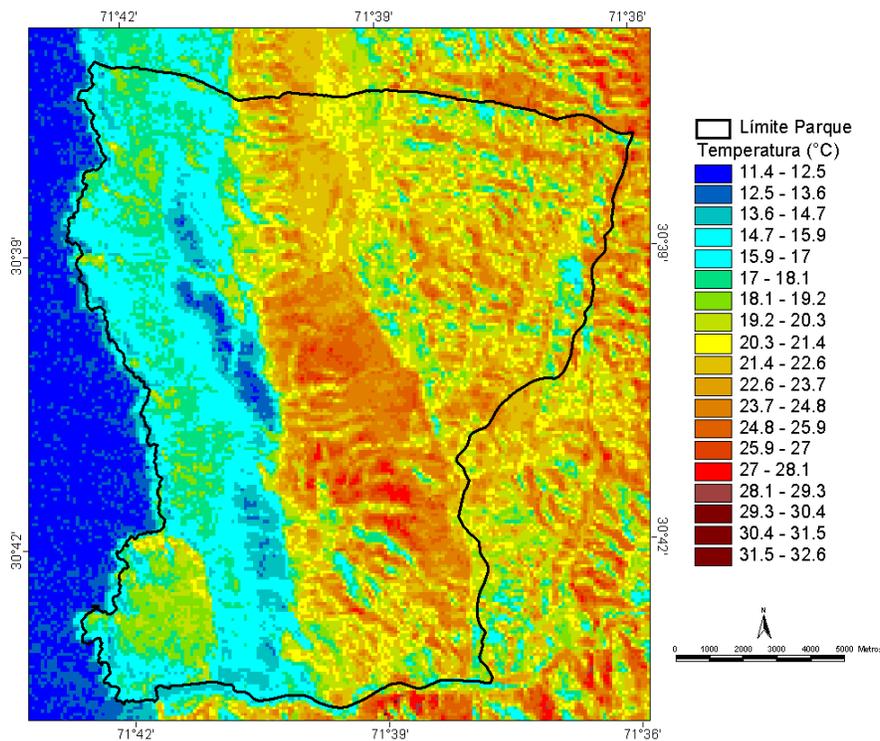


Fig. 10. Temperatura superficial (20 septiembre 2002) basado en imagen satelital del Landsat TM7 en la zona del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. La imagen no presenta influencia de nubosidad.

Por otra parte, resulta interesante que en la zona de las cimas de los cerros se registran los menores valores de temperatura superficial, cercanos a lo registrado en el océano. En estas áreas de baja temperatura (núcleos de baja temperatura) se ubican los bosquetes del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, en los que se mantiene una temperatura promedio cercana a los 12 °C (Fig. 10). En la zona donde se encuentra la mayor representación areal de los bosquetes, se registran valores de temperatura cercanas a los 11 °C, probablemente asociadas a un enfriamiento por mayores tasas de transpiración del bosque en comparación con el matorral xerofítico. En términos generales, la menor temperatura en el área cubierta por el bosque es influenciada por

el movimiento de masas de aire húmedo desde el océano, conjuntamente con atributos de los fragmentos boscosos (tamaño, estructura de la vegetación).

Al comparar la temperatura registrada con la imagen del Landsat TM7 de septiembre de 1999 (un año La Niña) con la temperatura de terreno mostrada en la figura 7b, en ambos casos es cercana a 9 °C. En un año El Niño (2002), la temperatura de esta zona es cercana a los 12 °C. Tal diferencia en temperatura superficial durante 1999 y 2002 podrían estar asociadas a los efectos de la alternancia La Niña / El Niño sobre la temperatura del mar entre años.

Finalmente el análisis de la temperatura provee pistas para establecer la diferenciación micro-climática del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, en el cual la variación espacial de dos variables de importancia biológica como son la temperatura en conjunción con la humedad relativa, permiten comprender la existencia de zonas con vegetación higrófila inmersa en áreas eminentemente áridas.

Por último es preciso destacar la necesidad de realizar estudios detallados del clima del Parque Nacional Fray Jorge considerando una escala de tiempo mayor, lo cual requiere de la mantención, sistematización y organización de registros meteorológicos completos para una serie de tiempo más larga, tal que en el mediano plazo se disponga de una base de datos climáticos detallada que permita comprender cuestiones relacionadas con el cambio del clima a escala local, efectos de las influencias globales (ENOS), riesgos climáticos (incendios, zonas de riesgo), y en particular la modelación del clima sobre los componentes ecosistémicos en áreas silvestres protegidas del estado.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Julio Gutiérrez (FONDECYT 1030225) quién aportó la información meteorológica 1998-2003. Al Dr. Francisco Squeo quién aportó los registros de temperatura y humedad relativa en áreas de bosquetes (B.I.P. 20092545-0). A Rodrigo Contreras de la Secretaría Ministerial de Agricultura IV Región quién aportó la información meteorológica 2000-2003 del Parque Nacional Fray Jorge. Esta es una contribución del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Aridas (CEAZA).

LITERATURA CITADA

- AGUILERA LE, JR GUTIÉRREZ & PL MESERVE (1999) Variation in soil micro-organisms and nutrient underneath and outside the canopy of *Adesmia bedwellii* (Papilionaceae) shrubs in arid coastal Chile following drought and above average rainfall. *Journal of Arid Environments* 42: 61-70.
- ANTONIOLETTI R, H SCHNEIDER, JL BORCOSQUE & E ZARATE (1972) Características climáticas del Norte Chico (26° a 33° latitud sur). Instituto de Investigación de Recursos Naturales, Santiago, 102 pp.
- ARMESTO JJ, PE VIDIELLA & JR GUTIÉRREZ (1993) Plant communities of the fog-free coastal desert of Chile: Plant strategies in a fluctuating environment. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 271-282.
- CERECEDA P & A ERRÁZURIZ (1991) *Ecogeografía: Nueva Geografía de Chile*. Editorial Zig-Zag SA, Santiago, 225 pp.
- CUADRAT JM & MF PITA (1997) *Climatología*. Ediciones Cátedra, Madrid, 496 pp.

- DAWSON TE & PE VIDIELLA (1998) Plant-fog interactions in California and Chile. 225-228. First International Conference on Fog & Fog Collection. Vancouver, Canadá. 19-24 Julio.
- DI CASTRI F & E HAJEK (1976) Bioclimatología de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 107 pp.
- ESPINOZA GA & ER HAJEK (1988) Riesgos climáticos: Evidencias en Chile central. En: ER Fuentes & S Prenafeta (eds) Ecología del paisaje en Chile central. Estudios sobre sus espacios montañosos: 31-41. Ediciones Universidad Católica, Santiago, 125 pp.
- FUENTES ER (1988) Sinopsis de paisajes de Chile Central. En: ER Fuentes & S Prenafeta (eds) Ecología del paisaje en Chile central. Estudios sobre sus espacios montañosos: 17-27. Ediciones Universidad Católica, Santiago, 125 pp.
- GUTIÉRREZ JR (2001) Importancia de los arbustos leñosos en los ecosistemas de la IV Región. En: FA Squeo, G Arancio & JR Gutiérrez (eds). Libro Rojo de la Flora de la Región de Coquimbo y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo: 253-260. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, 386 pp.
- GUTIÉRREZ JR & PL MESERVE (2003) El Niño effects on soil seed bank dynamics in north-central Chile. *Oecologia* 134: 511-517.
- GUTIÉRREZ JR, PL MESERVE, FM JAKSIC, LC CONTRERAS, S HERRERA & H VÁSQUEZ (1993a) Structure and dynamics of vegetation in a Chilean semiarid thorn-scrub community. *Acta Oecologica* 14: 271-285.
- GUTIÉRREZ JR, PL MESERVE, LC CONTRERAS, H VÁSQUEZ & FM JAKSIC (1993b) Spatial distribution of soil nutrients and ephemeral plants underneath and outside the canopy of *Porlieria chilensis* (Zygophyllaceae) shrubs in arid coastal Chile. *Oecologia* 95: 347-352.
- HAJEK ER & F SAIZ (1976) Aplicación del método de la sacarosa a la caracterización microclimática del Parque Nacional Fray Jorge, Chile. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso* 9:163-172.
- HOLMGREN M & M SCHEFFER (2001) El Niño as a window of opportunity for the restoration of degraded arid ecosystems. *Ecosystems* 4: 151-159.
- HOLMGREN M, M SCHEFFER, E EZCURRA, JR GUTIÉRREZ & F MOHREN (2001) El Niño effects on the dynamics of terrestrial ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 16: 89-94.
- KALTHOFF N, I BISCHOFF-GAU, M FIEBIG-WITTMAACK, F FIEDLER, J THÜRAUF, JE NOVOA, C PIZARRO, R CASTILLO, L GALLARDO, R RONDANELLI & M KOHLER (2002) Mesoscale wind regime in Chile at 30°S. *American Meteorological Society* 41: 953-970.
- KOEPPE W (1948) *Climatología*. Fondo de Cultura Económica, México, 478 pp.
- KUMMEROW J (1966) Aporte al conocimiento de las condiciones climáticas del Bosque de Fray Jorge. *Boletín Técnico Universidad de Chile, Facultad de Agronomía* 24: 21-24
- LUNA-JORQUERA G & BM CULIK (1999) Diving behaviour of Humboldt Penguins *Spheniscus humboldtii* in northern Chile. *Marine Ornithology* 27: 67-76.
- MARQUET PA, F BOZINOVIC, GA BRADSHAW, C CORNELLIUS, H GONZÁLEZ, JR GUTIÉRREZ, E HAJEK, JA LAGOS, FJ LÓPEZ-CORTES, L NUÑEZ, EF ROSELLO, C SANTORO, H SAMANIEGO, VG STANDEN, JC TORRES-MURA & FM JAKSIC (1998) Ecosistemas del desierto de Atacama y área Andina adyacente. *Revista Chilena de Historia Natural* 71:593-617.
- MESERVE PL, DA KELT, WB MILSTEAD & JR GUTIÉRREZ (2003) Thirteen years of shifting top-down and bottom-up control. *BioScience* 53: 663-645

- MESERVE PL, JA YUNGER, JR GUTIÉRREZ, LC CONTRERAS, WB MILSTEAD, BK LANG, KL CRAMER, S HERRERA, VO LAGOS, SI SILVA, EL TABILO, MA TORREALBA & FM JAKSIC (1995) Heterogeneous responses of small mammals to an El Niño (ENSO) event in north-central semiarid Chile and the importance of ecological scale. *Journal of Mammalogy* 76:580-595.
- MILLER A (1976) The climate of Chile. En: W Schwerdtfeger (ed.) *Climate of Central and South America*. Elsevier Scientific, World Survey of Climatology: 113-145.
- NOVOA JE & DA LÓPEZ (2001) IV Región: El Escenario Geográfico Físico. En: FA Squeo, G Arancio & JR Gutiérrez (eds) *Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo*: 13-28. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, 372 pp.
- NOY-MEIR I (1973) Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 25-51.
- PASKOFF R (1993) *Geomorfología de Chile Semiárido*. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, 321 pp.
- PEÑA O & H SCHNEIDER (1982) *Diccionario de Climatología*. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Valparaíso, 288 pp.
- ROMERO H (1985) *Geografía de los Climas*, Colección Geografía de Chile. Editorial Instituto Geográfico Militar, Santiago, 243 pp.
- ROMERO H, A ROVIRA & G VÉLIZ (1988) *Geografía IV Región de Coquimbo*, Colección Geografía de Chile. Editorial Instituto Geográfico Militar, Santiago, 425 pp.
- RUNDEL PW & M MAHU (1976) Community structure and diversity of a coastal fog zone in northern Chile. *Flora* 165: 493-505.
- RUNDEL PW, MO DILLON, B PALMA, HA MOONEY, SL GULMON & JR EHLERINGER (1991) The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian Deserts. *Aliso* 13:1-49.
- SÁNCHEZ A & R MORALES (1998) *Las Regiones de Chile, Espacio Físico y Humano-económico*, Segunda Edición. Editorial Universitaria. Santiago, 263 pp.
- SANTIBAÑEZ F & J URIBE (1999) Origen, Variabilidad y Aspectos Agroclimáticos de las Sequías en Chile. En: A Norero & C Bonilla (eds) *Las Sequías en Chile: Causas, Consecuencias y Mitigación*: 23-32. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, 119 pp.
- SQUEO FA, N OLIVARES, S OLIVARES, A POLLASTRI, E AGUIRRE, R ARAVENA, C JORQUERA & JR EHLERINGER (1999) Grupos funcionales en arbustos desérticos definidos en base a las fuentes de agua utilizadas. *Gayana Botánica* 56: 1-15.
- SQUEO FA, D LÓPEZ & JE NOVOA (2001) Listado y antecedentes de los sitios prioritarios para la conservación de la flora nativa con problemas de conservación de la Región de Coquimbo. En: FA Squeo, G Arancio & JR Gutiérrez (eds). *Libro Rojo de la Flora de la Región de Coquimbo y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo*: 195-202. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, 386 pp.
- STRAHLER A (1979) *Geografía Física*. Cuarta Edición. Ediciones Omega, Barcelona, 767 pp.
- THOMPSON MV, B PALMA, KNOWLES JT & HOLBROOK (2003) Multi-annual climate in Parque Nacional Pan de Azúcar, Atacama Desert, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 76: 235-254.
- TORRES R, FA SQUEO, C JORQUERA, E AGUIRRE & JR EHLERINGER (2002) Evaluación de la capacidad estacional de utilizar eventos de precipitación

- en tres especies de arbustos nativos con distintos sistemas radiculares. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 737-749
- VÁSQUEZ J, P CAMUS & FP OJEDA (1998) Diversidad, estructura y funcionamiento de ecosistemas rocosos del norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 479-499.
- VIDIELLA PE & JJ ARMESTO (1989) Emergence of ephemeral plant species from soil samples of the Chilean coastal desert in response to experimental irrigation. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 99-107.
- WEISCHET W (1970) Chile: Seine Länderkundliche Individualität und Struktur (Chile: Its Geographical Individuality and Structure). *Wissenschaftliche Buchgesellschaft*, 618 pp.

Capítulo 3

Geomorfología del Parque Nacional Bosque Fray Jorge: génesis y procesos.

JOSÉ E. NOVOA-JEREZ, JOSÉ M. VIADA-OVALLE,
DAVID LÓPEZ & FRANCISCO A. SQUEO

RESUMEN

Se caracteriza la geomorfología del área del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, mediante el estudio de la génesis del relieve (morfogénesis) y de los procesos que actualmente operan sobre él (morfodinámica). La morfogénesis se explica geológicamente por el tectonismo asociado a la compresión subductiva entre la placa de Nazca y Sudamericana. La morfodinámica, se explica a partir de un modelo de comportamiento potencial que relaciona indicadores de disección vertical y horizontal asociados a la pendiente del terreno y umbrales de energía de desplazamiento de los materiales superficiales del relieve. Se concluye que actualmente predominan en la morfodinámica procesos de remoción en masa y erosión de tipo lineal, mientras que las dinámicas de desprendimiento y deslizamiento son escasas en el área. Tales resultados permiten sustentar criterios de manejo que favorezcan la recuperación del suelo y eviten la pérdida de este recurso.

Palabras Clave: ecosistema semiárido, erosión, geomorfología, morfodinámica, morfogénesis.

INTRODUCCIÓN

Para el presente análisis geomorfológico del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, siguiendo los planteamientos conceptuales de Fairbridge (1968) y Goudie (1994), se entenderá a la geomorfología como el estudio del comportamiento del relieve a partir de sus condiciones morfográficas (formas del relieve), morfogenéticas (factores pasados que han desencadenado una determinada forma del relieve) y morfodinámicas (procesos que provocan actualmente transformaciones en el relieve).

El análisis de relieves costeros en márgenes continentales de subducción, como ocurre en gran parte de Chile respecto de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, presenta como característica geomorfológica fundamental la rapidez de los procesos que desencadenan (Berryman et al. 1992, Rea & Ruff 1996, Tatsumi & Eggins 1997, Giambiagi & Ramos 2002). A modo de ejemplo, estructuralmente (vinculada a la tectónica y sismología) permitiría reconstituir antiguos sistemas de drenaje y con ello la presencia de recursos hídricos subterráneos, climáticamente

sería posible correlacionar condiciones paleoclimáticas con los desplazamientos latitudinales de los continentes o la reconstrucción de paisajes o de paleoambientes.

Altos de Talinay reúne las características morfogénicas señaladas (Paskoff 1993, Pouget et al. 1996) pero carece de interpretaciones morfodinámicas, cuyo reconocimiento permite vislumbrar una serie de aplicaciones concretas en términos de manejo y planificación del paisaje (Cooke & Doornkamp 1990, Tucker & Bras 1998, Huggett 2003).

Es el caso del recurso suelo, dado que la intensidad pedogenética (proceso de generación de suelos) es respuesta directa de la morfodinámica superficial (Nearing et al. 1991, Kooi & Beaumont 1996, Tucker & Bras 1998), en el sentido que a una mayor morfodinámica la respuesta pedogenética será menor y, a la inversa, a una menor morfodinámica corresponderá una generación de suelos más rápida (Gerrard 1995, Novoa 2001, Bonnet & Crave 2003).

El objetivo del presente capítulo es caracterizar la geomorfología del área del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, mediante el estudio de la morfogénesis y morfodinámica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Parque Nacional Bosque Fray Jorge se inserta en el sistema montañoso costero del ecosistema semiárido transicional de la IV Región de Coquimbo. Posee la singularidad topoclimática de concentrar condiciones atípicas de humedad para esta latitud, producto de una aceleración de los procesos de condensación al enfrentarse las masas de aire oceánicas con un cordón montañoso que las obliga a elevarse y concentrar su contenido de humedad, permitiéndole la mantención de un ecosistema vegetacionalmente azonal (ver Capítulo 2).

Al considerar sus características geomorfológicas, se debe tener presente que sus aspectos morfográficos y morfogénicos ya han sido analizados (Paskoff 1993) mediante la interpretación de fotografías aéreas, cartas geológicas y levantamiento de información en terreno. En el área han sido reconocidas tres subunidades (Paskoff 1993, Pouget et al. 1996) que corresponden morfográficamente con las terrazas litorales, el cordón de Altos de Talinay y el sector oriental del mismo (Quebrada Las Vacas) (Fig. 1).

El análisis morfodinámico se fundamentó en criterios morfométricos (Peña 1997, MacLeod 2002) aplicados a las características de pendiente del relieve y sus interpretaciones respecto de la dinámica superficial se sustentó en los principios de la geomorfología climática (Budel 1982, Thorn 1988, Kooi & Beaumont 1996, Roering et al. 1999, Huggett 2003) y las experiencias previas sobre el comportamiento del ecosistema semiárido transicional chileno (Novoa 2001, Novoa et al. 1999).

Para este análisis se utilizó como base de información topográfica las cartas oficiales del Instituto Geográfico Militar (escala 1:50.000). La estructura metodológica (Fig. 2) integró la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la creación de un modelo digital de terreno (MDT) mediante técnicas estandarizadas (Tarboton et al. 1991, Peña 1997, Snyder et al. 2000, Tucker et al.

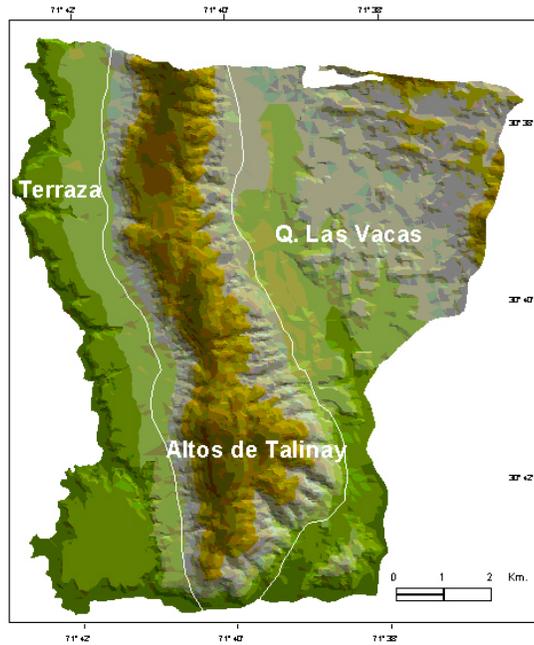


Fig. 1. Distribución de unidades de análisis morfodinámico del Parque Nacional Fray Jorge.

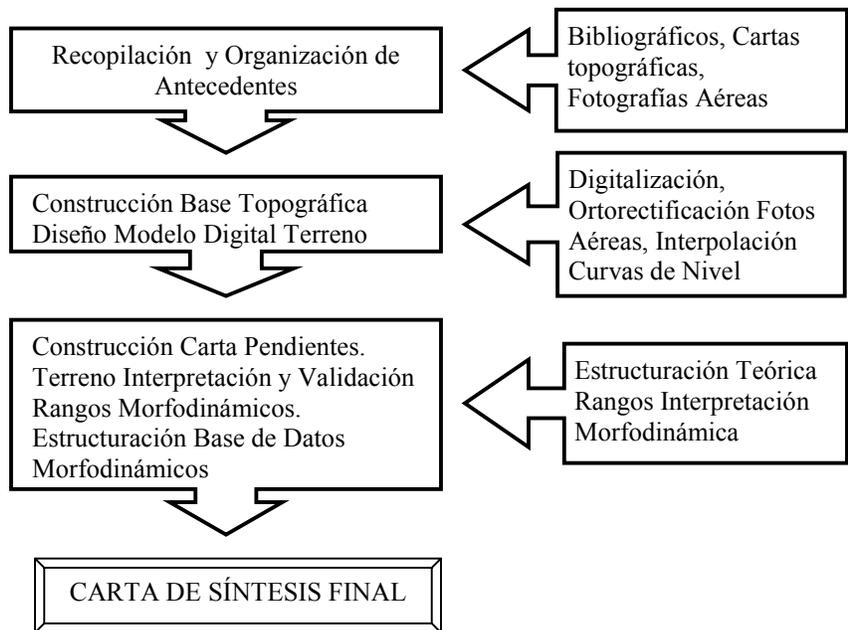


Fig. 2. Esquema Metodológico.

2001) con interpolación de curvas de nivel a escala de detalle, apoyado en interpretación automatizada de fotogramas del año 2001 (escala 1:20.000).

Se utilizaron criterios de interpretación morfodinámico para asociar los resultados del modelo digital de terreno en rangos de respuesta a la pendiente local que presenta el relieve (Díaz et al. 1980, Tarboton et al. 1991, Borgel 1996, Novoa 1996, Snyder et al. 2000), cuya variabilidad espacial provoca procesos de erosión, transporte o sedimentación de los materiales desplazados bajo la influencia de la fuerza de gravedad (Reneau & Dietrich 1991, Peña 1997, Huggett 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La morfología del Parque Nacional Bosque Fray Jorge presenta un conjunto de escalones topográficos que reflejan desniveles en bloques tectónicos de tiempo geológico reciente (Fig. 3), sobre los cuales se han desarrollado dinámicas de erosión torrenciales (Paskoff 1993). Este paisaje permite discriminar tres unidades completamente diferentes de oeste a este: la plataforma litoral, el macizo costero y los bloques basculados, denominados en este documento como “Terraza”, “Altos de Talinay” y “Quebrada Las Vacas” respectivamente (Fig. 1).

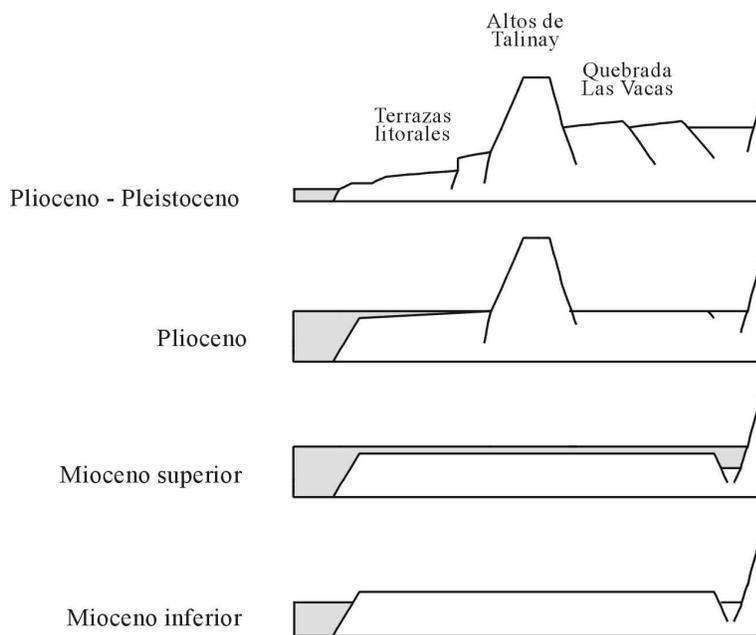


Fig. 3. Esquema morfoestructural del sector Altos de Talinay (modificado a partir de Paskoff 1993). Donde (1) después del Plioceno, (2) Plioceno. (3) Mioceno superior, (4) Mioceno inferior.

Una fosa submarina ubicada a unos 10 kilómetros de la costa, supera los 1.000 metros de profundidad, se orienta paralelamente a los Altos de Talinay y ejemplifica el control geológico de carácter estructural con una dirección predominantemente longitudinal para el área. Su expresión litoral corresponde a un conjunto de terrazas

marinas que no superan los 800 metros de ancho, separadas por antiguos acantilados cuyo desgaste se ve favorecido por la antigüedad de un sustrato rocoso Precámbrico a Paleozoico (Thomas 1967), es decir unos 570 millones de años (Huggett 2003).

Estas formas topográficas han sido datadas por Paskoff (1993) y correlacionadas con 4 niveles marinos que aparecen en torno a las cotas de los 200 msnm para el Plioceno (5 millones de años), 150 msnm para el Plioceno superior a Cuaternario antiguo (5 a 2 millones de años), 30 msnm para el Cuaternario medio (2 a 1 millón de años) y 10 msnm para el Cuaternario reciente a Holoceno (1 millón a 100.000 años).

El sustrato rocoso del macizo costero está constituido por un complejo metamórfico antiguo en el cual se ha transformado la roca originalmente volcánica por compresión tectónica asociada a la dinámica de placas. Este macizo se encuentra delimitado por laderas escarpadas que reflejan movimientos verticales geológicamente recientes, con desniveles que superan los 300 metros hacia el este, una cumbre estrecha que presenta un aplanamiento previo al Plioceno superior y hacia el oeste, laderas más bajas que han sido transformadas en acantilados por la erosión marina y la reactivación tectónica cuaternaria con amplitudes altitudinales de algunas decenas de metros (Paskoff 1993).

Al este del macizo costero, se encuentran bloques tectónicamente inclinados, cuyas crestas de orientación este a oeste se encuentran erosionadas por quebradas con cabeceras que culminan entre los 250 y 400 msnm. Algunas cumbres aisladas como el cerro Mozambique (560 msnm) sobrepasan en 100 metros la topografía de erosión de base local, la que se ensancha paulatinamente de norte a sur para alcanzar unos 15 kilómetros de ancho en las proximidades del río Limarí. Esta unidad morfológica corresponde a dos bloques inclinados delimitados hacia el este por un escarpe de falla tectónica (Paskoff 1993).

Por lo expuesto, Paskoff (1993) define a la morfología y morfogénesis del área de los Altos de Talinay como antiguas superficies de erosión marina miocénica (hace unos 23 millones de años) y plio-pleistocénica (hace unos 3 millones de años), desnivelados por la acción de una tectónica joven en la que dos fases han podido ser distinguidas: una de fines del Terciario (23 millones de años) o del Cuaternario más antiguo (2 a 3 millones de años) que ha provocado la elevación de los macizos costeros, la otra del Cuaternario antiguo (2 millones de años).

La morfodinámica que predomina en la actualidad y que da respuesta a los procesos superficiales del relieve presentado por el área del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, permiten diferenciar seis tipos de procesos dominantes que en orden de importancia areal corresponden a: remoción en masa, erosión lineal, erosión laminar, erosión difusa, deslizamiento y, desprendimiento.

La remoción en masa corresponde a un flujo de materiales con forma elongada, cuyo contenido de humedad es variable y delimitado por las características del sitio a laderas con forma de embudo o utilizando fondos de pequeñas quebradas preexistentes, normalmente en presencia de sedimentos no cohesivos (Summerfield 1991), su velocidad de desplazamiento es muy variable ya que puede superar los 3 metros por segundo o alcanzar menos de 30 centímetros en 5 años (Flageollet 1989).

Los tres tipos de erosión detectados, se asocian con el agua corriente en desplazamiento laderas abajo y presentan activaciones estacionales durante los

períodos de lluvias. La de tipo lineal conforma redes de surcos paralelos con una profundidad que puede variar entre algunos centímetros a decenas de centímetros (Vandaele et al. 1996, Torri & Borselli 2003). La erosión de tipo laminar es el resultado de una escorrentía que elimina en láminas las capas superficiales del suelo y actúa predominantemente en suelos con poca resistencia y pobres en materia orgánica. La erosión difusa corresponde a una situación intermedia entre las dos anteriores (Derruau 1978).

Los deslizamientos corresponden a un tipo específico de remoción en masa que involucra el desplazamiento de materiales rocosos de diversas dimensiones sin requerir una saturación por humedad, normalmente involucran poco espesor del material superficial por lo que se desarrollan en forma paralela a un sustrato rocoso fracturado o bien a lo largo de fracturas geológicas (Summerfield 1991, Iverson 1997, Iverson et al. 1997, Densmore et al. 1998), su velocidad de desplazamiento fluctúa entre 2 centímetros diarios y menos de 30 centímetros en 5 años (Flageollet 1989).

En el desprendimiento predomina la fuerza de gravedad sobre los materiales, la que actúa sobre suelos y rocas que posean un contenido de humedad bajo, pudiendo afectar a unidades areales de gran extensión a la largo de las laderas o bien a caída de bloques individuales desde laderas con elevada pendiente (Summerfield 1991), su velocidad de desplazamiento es extremadamente rápida ya que normalmente supera los 3 metros por segundo (Flageollet 1989). La expresión espacial de estas morfodinámicas superficiales descritas para el área de estudio varía entre una unidad fisiográfica y otra (Tabla 1, Fig. 4). Las dinámicas asociadas a procesos de erosión laminar predominan en el área denominada como “Quebrada Las Vacas” (1290 hectáreas), la erosión difusa se presenta con mayor amplitud espacial en el área denominada como “Terraza” (431 hectáreas), la erosión lineal vuelve a dominar en el sector “Quebrada Las Vacas” (1.127 hectáreas), procesos de remoción en masa y deslizamiento predominan en la unidad “Altos de Talinay” (1.911 y 274 hectáreas respectivamente), finalmente y muy localizadas se encuentra un predominio de procesos de desprendimiento en el área definida como “Terraza” (menos de 1 hectárea).

Tabla 1. Condiciones morfodinámicas del Parque Nacional Fray Jorge expresado en hectáreas.

MORFODINAMICA	Terraza	Altos de Talinay	Quebrada las Vacas	TOTAL
Erosión Laminar	451,1	248,1	1.290,9	1.990,0
Erosión Difusa	431,1	53,3	264,1	748,4
Erosión Lineal	790,1	807,3	1.127,6	2.725,5
Remoción en Masa	371,0	1.911,8	770,3	3.053,2
Deslizamiento	69,7	274,0	18,4	362,2
Desprendimiento	0,4	0,0	0,0	0,4
TOTAL	2.113,4	3.294,5	3.471,3	8.879,7

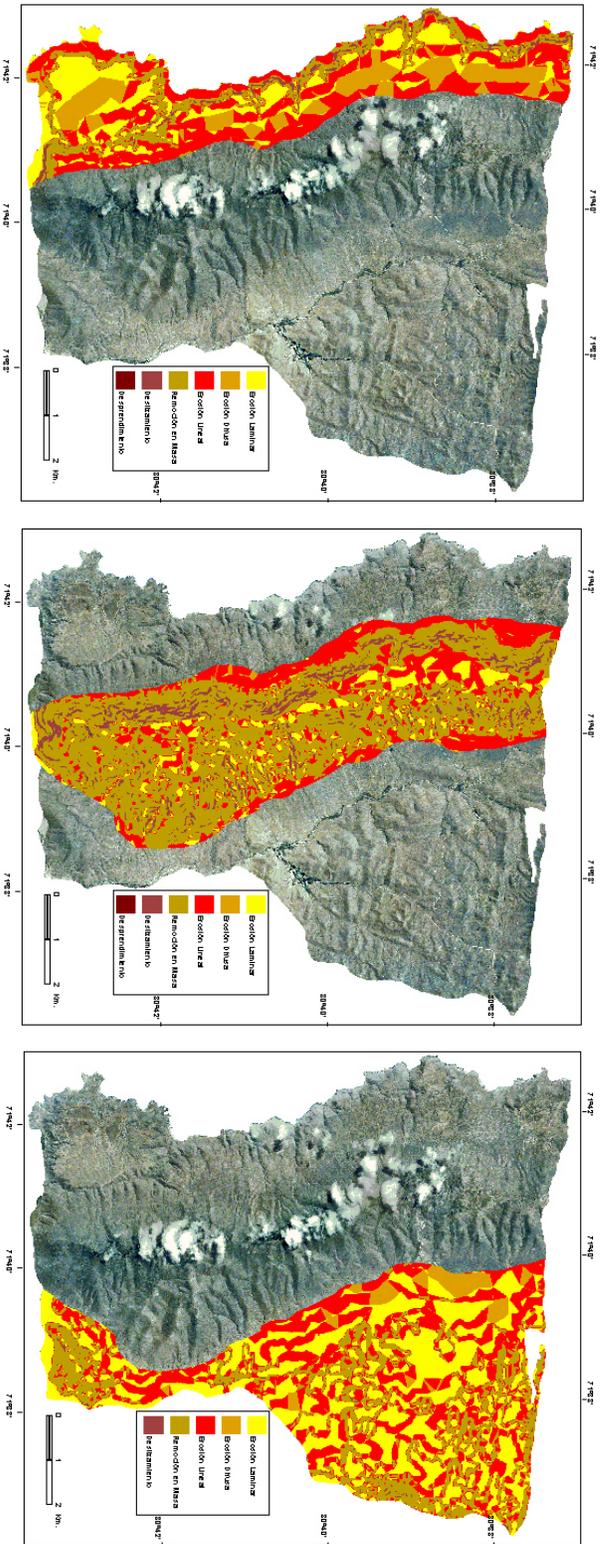


Fig. 4. Morfodinámica sintetizada de las subunidades Terraza (izquierda), Altos de Talinay (centro) y Quebrada Las Vacas (derecha).

La unidad “Terraza” registra un predominio de procesos de erosión lineal y laminar que afectan al 8,9% y 5% del Parque Nacional, mientras “Altos de Talinay” reúne el 21% de los procesos de remoción en masa y, “Quebrada Las Vacas” concentra el 14% y 12% de la superficie afectada por morfodinámicas de erosión lineal y laminar respectivamente de todo el Parque Nacional Bosque Fray Jorge (Fig. 4).

La interpretación de los resultados, permite fundamentar acciones de manejo sustentadas en principios biológicos e ingenieriles para el Parque, ya que se ha logrado determinar las áreas específicas en las cuales los diversos procesos superficiales se encuentran presentes en términos de erosión, transporte y sedimentación.

Así, por ejemplo si se considera al recurso suelo como criterio de manejo, es posible interpretar los sectores que se verían afectados en su regeneración natural, ya que las áreas con menor pendiente se encuentran sujetas a un predominio de dinámicas depositacionales (erosión de tipo laminar y difusa) que facilita la regeneración natural del suelo, mientras las áreas con pendiente intermedia (erosión lineal y remoción en masa) se relacionan con mecanismos de transporte de los sedimentos superficiales (Kooi & Beaumont 1996, Vandaele et al. 1996, Torri & Borselli 2003) y las áreas caracterizadas por una pendiente elevada (deslizamiento y desprendimiento) presentan un alto dinamismo superficial que impide la regeneración natural del suelo, pero a la vez aporta los minerales necesarios para la pedogénesis de los sectores ubicados aguas abajo de ellas (Cooke & Doornkamp 1990).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración prestada por el ingeniero Iván R. Hernández y al personal de CONAF del Parque Nacional Fray Jorge por el apoyo logístico y valiosos comentarios a este trabajo. Este estudio forma parte del proyecto “Investigación de Tratamientos Silviculturales Rescate Parque Nacional Fray Jorge” financiado por el Gobierno Regional de Coquimbo (B.I.P. 20092545-0). Esta es una contribución del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA).

LITERATURA CITADA

- BERRYMAN K, O YOKO & A HULL (1992) Holocene coastal evolution under the influence of episodic tectonic uplift: examples from New Zealand and Japan. *Quaternary International* 15/16: 31-45.
- BONNET S & A CRAVE (2003) Landscape response to climate change: insights from experimental modelling and implications for tectonic versus climatic uplift of topography. *Geology* 31: 123-126.
- BORGEL R (1996) Métodos aplicados al análisis de la cartografía nacional. *Revista de Geografía Norte Grande* 23: 5-9.
- BUDEL J (1982) *Climatic geomorphology*. Princeton University Press, Surrey, 443 pp.
- COOKE R & J DOORNKAMP (1990) *Geomorphology in environmental management: a new introduction*. Clarendon Press, Oxford, 410 pp.

- DENSMORE AL, ELLIS MA & RS ANDERSON (1998) Landsliding and the evolution of normal-fault-bounded mountains. *Geophysical Research Solid Earth* 103: 15203-15219.
- DERRUAU M (1978) *Geomorfología*. Ediciones Ariel, Barcelona, 528 pp.
- DIAZ M, A DUK & G RODRIGUEZ (1980) Elaboración y aplicación de las principales cartas morfométricas. *Boletín Informativo Instituto Geográfico Militar* 1:1-4.
- FAIRBRIDGE RW (1968) *The encyclopedia of geomorphology*. Reinhold Book Corporation, New York, 1295 pp.
- FLAGEOLLET JC (1989) *Les mouvements de terrain et leur prévention*. Masson, París, 224 pp.
- GERRARD J (1995) *Soil geomorphology: an integration of pedology and geomorphology*. Chapman & Hall, London, 269 pp.
- GIAMBIAGI L & V RAMOS (2002) Structural evolution of the Andes in a transitional zone between flat and normal subduction (33 degrees 30'S - 33 degrees 45'S), Argentina and Chile. *Journal Society American Earth Science* 15:101-116.
- GOUDIE A (1994) *The encyclopedic dictionary of physical geography*. Blackwell, Cambridge, 611 pp.
- HUGGETT R (2003) *Fundamentals of geomorphology*. Routledge, London, 386 pp.
- IVERSON RM (1997) The physics of debris flows. *Reviews of Geophysics* 35: 245-296.
- IVERSON RM, ME REID & RG LAHUSEN (1997) Debris-flow mobilization from landslides. *Annual Review Earth & Planetary Sciences* 25: 85-138.
- KOOI H & C BEAUMONT (1996) Large-scale geomorphology: classical concepts reconciled and integrated with contemporary ideas via a surface processes model. *Geophysical Research Solid Earth* 101: 3361-3386.
- MACLEOD N (2002) Geometric morphometrics and geological shape-classification systems. *Earth Science Reviews* 59: 27-47.
- NEARING MA, JM BRADFORD & SC PARKER (1991) Soil detachment by shallow flow at low slopes. *Soil Science* 55: 339-344.
- NOVOA JE (1996) *Cálculos morfométricos en geomorfología*. Ediciones Programa de Geografía Física Aplicada, Universidad de La Serena, 6 pp.
- NOVOA JE (2001) Cambio climático global y pedogénesis en ambientes áridos. *Revista de Estudios Socioterritoriales* 2: 93-120
- NOVOA JE, R CASTILLO & JM VIADA (1999) Morfogénesis aluvional en ambientes semiáridos. *Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas* 1: 88-95.
- PASKOFF R (1993) *Geomorfología de Chile Semiárido*. Ediciones Universidad de La Serena.
- PEÑA J (1997) *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*. Geoforma ediciones, Logroño, España, 227 pp.
- POUGET M, E CAVIEDES, PH HAMELIN, D REMY, R MATHIEU, V LIRA & D ALVAREZ (1996) Ambiente árido y desarrollo sustentable: la provincia de Limarí. Coedición ORSTOM-CEZA, Santiago, 103 pp.
- REA R & L RUFF (1996) Composition and mass flux of sediment entering the world's subduction zones: implications for global sediment budgets, great earthquakes and volcanism. *Earth and Planetary Science Letters* 140: 1-12.
- RENEAU SL & WE DIETRICH (1991) Erosion rates in the southern Oregon coast range: evidence for an equilibrium between hillslope erosion and sediment yield. *Earth Surface Processes & Landforms* 16: 307-322.

- ROERING JJ, JW KIRCHNER & WE DIETRICH (1999) Evidence for nonlinear, diffusive sediment transport on hillslopes and implications for landscape morphology. *Water Resources Research* 35: 853-870.
- SNYDER NP, KX WHIPPLE, GE TUCKER & DJ MERRITTS (2000) Landscape response to tectonic forcing: digital elevation model analysis of stream profiles in the Mendocino triple junction region, northern California. *Geological Society of America Bulletin* 112: 1250-1263.
- SUMMERFIELD MA (1991) *Global geomorphology*. Longman Scientific & Technical, Wiley, London, 535 pp.
- TARBOTON DG, RL BRAS & I RODRIGUEZTURBE (1991) On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological Processes* 5: 81-100.
- TATSUMI Y & S EGGINS (1997). *Subduction zone magmatism*. Blackwell Science, Oxford, 285 pp.
- THOMAS H (1967) Geología de la hoja Ovalle, provincia de Coquimbo. *Boletín* 23, Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, 58 pp.
- THORN C (1988) *Introduction to theoretical geomorphology*. Allen & Unwin, London, 247 pp.
- TORRI D & L BORSELLI (2003) Equation for high-rate gully erosion. *Catena* 50: 449-467.
- TUCKER GE & RL BRAS (1998) Hillslope processes, drainage density, and landscape morphology. *Water Resources Research* 34: 2751-2764.
- TUCKER GE, F CATANI, A RINALDO & RL BRAS (2001) Statistical analysis of drainage density from digital terrain data. *Geomorphology* 36: 187-202.
- VANDAELE K, J POESEN, G GOVERS & B VANWESEMAEL (1996) Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision. *Geomorphology* 16: 161-173.

Capítulo 4

Flora de las cumbres de la Cordillera de la Costa en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge.

GINA ARANCIO, PAOLA JARA, CLODOMIRO MARTICORENA
& FRANCISCO A. SQUEO

RESUMEN

Este estudio describe las especies de plantas vasculares más abundantes, y las con problemas de conservación, que habitan en las cumbres de la Cordillera de la Costa en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Se hace una breve descripción taxonómica de las especies, formas de vida, distribución geográfica e información sobre usos de cada especie. De las 46 especies con problemas de conservación, 7 especies se encuentran en peligro de extinción (3,3%) y 31 especies en categoría vulnerable (14,8%). Las especies en peligro de extinción son: *Atriplex coquimbana*, *Citronella mucronata*, *Drimys winteri*, *Gaultheria mucronata*, *Lapageria rosea*, *Peperomia coquimbensis* y *Senecio coquimbensis*.

Palabras Clave: Estado de conservación, peligro de extinción, vulnerable.

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se hace una reseña de un grupo de plantas nativas que habitan en las cumbres de la Cordillera de la Costa en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Entre las especies seleccionadas se encuentran aquellas con problemas de conservación (según Squeo et al. 2001) y algunas otras –que estando fuera de peligro– son abundantes. Un listado completo de las especies se presenta en el Capítulo 10.

Para cada especie se indica nombre científico, familia, regiones de Chile en que la especie esta presente (más JF= Juan Fernández), una breve descripción taxonómica, su nombre común, uso antrópico y hábitat en el P.N. Bosque Fray Jorge (bosque, periferia del bosque y matorral xérico de la cumbre). Las especies están ordenadas alfabéticamente y por estado de conservación. Entre los trabajos utilizados se encuentran: Arancio et al. (2001), Benoit 1989, Baeza et al. (1989), Marticorena (1990), Marticorena & Quezada (1985), Marticorena & Rodríguez (1995), Muñoz & Pisano (1947), Muñoz et al. (1996) y Rodríguez (1995).

ESPECIES EN PELIGRO DE EXTINCIÓN

Las especies vegetales consideradas como en Peligro de Extinción son aquellas que presentan un escaso número de ejemplares en la naturaleza y cuya existencia es amenazada por factores naturales o humanos. Estas especies deben ser altamente protegidas si se quieren preservar en el lugar que habita.

Atriplex coquimbana Phil.

Chenopodiaceae IV

Arbusto endémico, de hasta 20 cm de altura, monoico. Inflorescencia masculina en espigas terminales, las femeninas en glomérulos. Fruto un aquenio, protegido por 2 brácteas.

Nombre común: desconocido

Uso: forrajera

Hábitat: zona xérica

Citronella mucronata (Ruiz et Pav.)
D. Don

Icacinaceae IV- X, M

Árbol endémico, de hasta 10 m de altura. Hojas perennes, de 4-5 cm de longitud. Inflorescencia en panículas terminales, flores blanco-amarillentas. Fruto una drupa ovalada, de color negro-violáceo.

Nombre común: naranjillo

Uso: combustible, artesanal y ornamental

Hábitat: periferia.

Drimys winteri J.R. Forst. et G. Forst.

Winteraceae IV-XII, M

Árbol nativo, de hasta 25 m de altura, hojas perennes, aovado-oblongas, de 6-15 cm de longitud. Inflorescencia en umbelas; flores con pétalos blanco-nacarado. Fruto una baya de color negro-violácea.

Nombre común: canelo

Uso: apícola, medicinal, artesanal y ornamental

Hábitat: bosque

Gaultheria mucronata (L.f.) Hook. et Arn.

Ericaceae IV, VII- XII

Arbusto nativo, de 10-25 cm de altura. Hojas lanceoladas, agudas, borde dentado. Flores blancas, tubular-acampanadas, solitarias, dispuestas hacia el extremo de las ramas. Fruto una cápsula globosa de color rojo.

Nombre común: chaura

Uso: medicinal

Hábitat: periferia

Lapageria rosea Ruiz et Pav.

Philesiaceae IV-V, VII-X

Arbusto endémico, ramoso, voluble, de 3-4 m de altura. Hojas persistentes, de 4-4,5 cm de longitud. Flores generalmente de color rojo, de 5-10 cm de longitud, colgantes. Fruto una baya verde-amarillenta.

Nombre común: copihue

Uso: alimento, medicinal, artesanal y ornamental.

Hábitat: bosque

Peperomia coquimbensis Skottsbo.

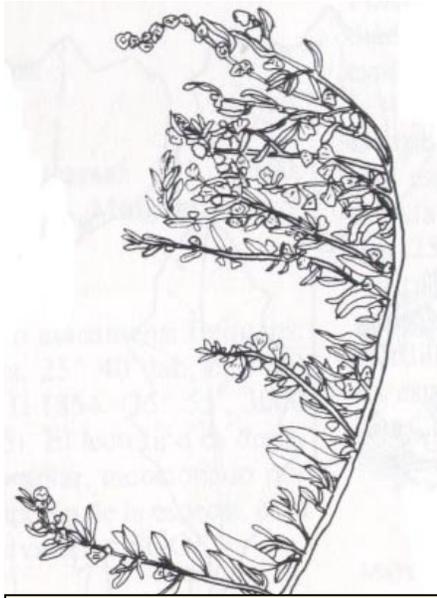
Piperaceae IV

Hierba endémica, perenne, estolonífera, de 10-15 cm de altura; tallo angular. Hojas elíptico-obovadas, 3-5 por nudo. Inflorescencias en espigas terminales. Fruto globoso-ovoideo.

Nombre común: congonilla

Uso: medicinal

Hábitat: bosque



Atriplex coquimbana



Citronella mucronata



Drimys winteri



Gaultheria mucronata



Lapageria rosea



Peperomia coquimbensis

Senecio coquimbensis Phil.

Asteraceae

IV

Arbusto endémico, de 50-60 cm de altura. Hojas oblongo-lineales. Capítulos dispuestos en cimas corimbiformes en el extremo de las ramas; flores dimorfas, amarillas. Fruto un aquenio cilíndrico.

Nombre común: desconocido

Uso: desconocido

Hábitat: periferia y zona xérica

ESPECIES VULNERABLES

Las especies vegetales consideradas como Vulnerables son aquellas que presentan un riesgo inminente de extinción o desaparición. Aunque podrían cambiar de categoría si se modificaran los factores naturales o humanos que la afectan. Estas especies deben ser protegidas si se quieren preservar en el lugar que habitan.

Adenopeltis serrata (W.T. Aiton)
I.M. Johnst.

Euphorbiaceae IV- M, VII-VIII

Arbusto endémico, monoico, latescente, de 1-2 m de altura. Hojas lanceolada-elípticas, de 2-3 cm de longitud. Flores monoicas, agrupadas en espigas axilares o terminales. Fruto una cápsula tricoca.

Nombre común: colliguay macho

Uso: apícola, medicinal, artesanal y ornamental.

Hábitat: bosque, periferia y xérico

Aextoxicon punctatum Ruiz et Pav.

Aextoxicaceae IV-V, VII-X

Árbol nativo, dioico, de 18-20 m de altura. Hojas perennes, oblongas u oblongo-elípticas, de 3,5-9 cm de longitud. Inflorescencia en racimos axilares; flores pequeñas amarillentas. Fruto una drupa, de color violáceo al madurar.

Nombre común: olivillo

Uso: ornamental y forestal

Hábitat: bosque

Astragalus amatus Clos

Fabaceae III-V, VI-IX

Hierba endémica, perenne, cubierta de lanosidad blanca. Hojas con 9-13 pares de foliolos. Flores en racimos, amarillentas con ápice violáceo, alas más cortas que la quilla. Fruto una legumbre arqueada en forma de bote.

Nombre común: hierba loca

Uso: desconocido

Hábitat: zona xérica

Azara microphylla Hook. f.

Flacourtiaceae IV, VII-X

Árbol nativo, de 5-8 m de altura. Hojas perennes, trasaovadas, de 0,8-1,5 cm de longitud. Inflorescencias dispuestas en corimbos axilares; flores amarillo-verdosas. Fruto una baya globosa, rojiza a negruzca.

Nombre común: chin-chin

Uso: apícola y ornamental

Hábitat: bosque



Senecio coquimbensis



Adenopeltis serrata



Aextoxicon punctatum



Astragalus amatus



Azara microphylla

Blechnum cordatum (Desv.) Hieron

Blechnaceae IV-XII, M

Helecho nativo, sufrútice, de hasta 50 cm de altura. Hojas dimorfas; las estériles de 50-150 x 10-40 cm, oval-lanceoladas, las fértiles algo más largas. Los soros cubren íntegramente la cara abaxial.

Nombre común: costilla de vaca

Uso: ornamental

Hábitat: bosque

Crassula connata (Ruiz et Pav.) A. Berger

Crassulaceae I-V, M, VI, X

Hierba nativa, anual, de 1-5 cm de altura. Hojas lineales o elípticas, carnosas, de 1-5 mm de longitud. Flores de 1,5-2 mm de longitud, dispuestas en verticilos axilares blanquecinos o rosados. Fruto formado por 4 folículos.

Nombre común: flor de piedra

Uso: desconocido

Hábitat: zona xérica

Chusquea cumingii Nees

Poaceae IV-VII, M

Arbusto endémico, de hasta 2 m de altura, cañas lisas, cilíndricas. Hojas lanceolado-lineales. Inflorescencia en panoja de 2,5-4 cm de longitud; espiguillas lanceoladas. Fruto cariósido o grano.

Nombre común: colihue

Uso: artesanía

Hábitat: periferia

Caesalpinia angulata (Hook. et Arn.) Baill.

Caesalpinaceae III-IV

Arbusto endémico, postrado, de 0,8-1 m de altura, ramoso desde la base. Hojas compuestas. Inflorescencias en racimos terminales; flores amarillo-anaranjadas. Fruto una legumbre comprimida.

Nombre común: retamo

Uso: forrajera y ornamental

Hábitat: zona xérica

Chorizanthe paniculata Benth

Polygonaceae IV-VI, M

Sufrútice endémico, de 10-30 cm de altura. Hojas lineales, tomentosa-pubescente. Inflorescencia en panojas terminales; involucro cilíndrico, perigonio blanco, tubular. Fruto aquenio triquetro.

Nombre común: sanguinaria

Uso: medicinal

Hábitat: zona xérica

Griselinia scandens (Ruiz et Pav.) Taubert

Cornaceae IV-V, VII-VIII, X-XI

Arbusto endémico, dioico, ramoso, voluble. Hojas de color verde-amarillo, lustroso, oblongo-aovadas, de hasta 10 cm de longitud. Inflorescencia en panículas., pétalos purpúreos. Fruto una drupa violácea.

Nombre común: yelmo

Uso: ornamental

Hábitat: bosque



Blechnum cordatum



Caesalpinia angulata



Crassula connata



Chorizanthe paniculata



Chusquea cumingii



Griselinia scandens

Gunnera tinctoria (Molina) Mirb.

Gunneraceae IV-XII

Hierba nativa, perenne; tallo corto. Hojas con pecíolos de hasta 1,5 m de longitud, lámina suborbicular, más de 1 m en largo y ancho. Inflorescencia en espigas basales, cortas; flores rojizo-verdosas: masculina, femenina y hermafrodita. Fruto: drupa roja.

Nombre común: pangué, nalca

Uso: alimenticio, medicinal y ornamental

Hábitat: periferia

Loasa sclareifolia Juss.

Loasaceae IV-VII, M

Hierba nativa, perenne, con pelos urticantes. Hojas, acorazonadas, lobuladas, de 10-15 x 10-11 cm. Flores pedunculadas, en la dicotomía de los tallos, de color amarillo-oro. Fruto una cápsula.

Nombre común: ortiga brava

Uso: ornamental

Hábitat: bosque.

Megalastrum spectabile (Kaulf.)

A.R.Sm. et R.C. Moran var. *spectabile*

Dryopteridaceae III-IV, VII-XI

Helecho nativo, con rizoma erecto. Hojas de 50-100 cm de longitud, pecíolos gruesos, lámina 2-3 pinnada. Soros sin indusio, aproximadamente 5 a cada lado de la vena del segmento

Nombre común: pesebre

Uso: ornamental.

Hábitat: bosque

Kageneckia oblonga Ruiz et Pav.

Rosaceae IV-VII, M

Árbol endémico, dioico, de hasta 15 m de altura. Hojas perennes, elípticas u obovadas, de 3-10 cm de longitud. Flores masculinas en corimbos y las femeninas solitarias; pétalos blanco. Fruto compuesto con 5 folículos.

Nombre común: bollén

Uso: apícola, artesanal y ornamental.

Hábitat: periferia y zona xérica

Maytenus boaria Molina

Celastraceae III-XII, M

Árbol nativo, monoico, de 8-15 m de altura. Hojas perennes, lanceoladas. Flores solitarias o en fascículos plurifloros; pétalos blanco-verdosos. Fruto una cápsula

Nombre común: maitén

Uso: forrajera, apícola, medicinal y ornamental

Hábitat: zona xérica

Mitraria coccinea Cav.

Gesneriaceae IV, VII-XII

Arbusto nativo, de 1-3 m de altura, voluble. Hojas aovado-oblongas, de 1-3 cm de longitud. Flores solitarias, axilares; corola de color rojo lacre, de 4-5 cm de longitud. Fruto una baya globosa.

Nombre común: botellita

Uso: ornamental y medicinal

Hábitat: bosque



Gunnera tinctoria



Kageneckia oblonga



Loasa sclareifolia



Maytenus boaria



Megalastrum spectabile



Mitraria coccinea

Myrceugenia correifolia (Hook et Arn.) O. Berg.

Myrtaceae IV-VII

Árbol endémico, de 4-5 m de altura. Hojas perennes, aromáticas, de 2-7,5 cm de longitud, oval-elípticas a ovoides. Flores generalmente solitarias, pétalos blancos. Fruto una baya, negra-violácea a rojiza

Nombre común: petrillo

Uso: apícola, medicinal y ornamental

Hábitat: bosque y periferia

Peumus boldus Molina

Monimiaceae IV-X, M

Árbol endémico, dioico, de hasta 20 m de altura. Hojas perennes, ovalado-elípticas, de 2,5-5 cm de longitud. Inflorescencia en racimos laxos; pétalos blanco-amarillentos. Fruto una drupa ovoide.

Nombre común: boldo

Uso: apícola, medicinal, artesanal y ornamental.

Hábitat: zona xérica

Pteromonnina linearifolia (Ruiz et Pav.) B. Eriksen

Polygalaceae IV-IX, M

Sufrútice nativo, de 30-40 cm de altura. Hojas lineal-lanceoladas, lámina de 1,2-2,5 cm de longitud. Inflorescencia en racimos laxos; pétalos azul y blanco-amarillentos. Fruto una cápsula oblonga y comprimida.

Nombre común: agua - rica

Uso: desconocido

Hábitat: zona xérica

Peperomia fernandeziana Miq. f. fernandeziana

Piperaceae IV-V, X

Hierba endémica, perenne, de 10- 25 cm de altura. Hojas ovadas, 3-5 nervadas. Flores sésiles en espigas finas. Fruto una baya pequeña.

Nombre común: congonilla

Uso: medicinal y ornamental

Hábitat: bosque

Porlieria chilensis I.M. Johnst.

Zygophyllaceae IV-VI, M

Arbusto endémico, de hasta 5 m de altura, ramoso, tortuoso. Hojas compuestas. Flores pequeñas, axilares; pétalos violáceos. Fruto una cápsula morada al madurar

Nombre común: guayacán

Uso: artesanal, y apícola

Hábitat: zona xérica

Rhaphithamnus spinosus (Juss.) Moldenke

Verbenaceae IV-XI, M

Árbol nativo, de hasta 7 m de altura, muy ramoso, ramas con espinas. Hojas con forma de lámina variable. Inflorescencia geminadas o cimosas; corola tubiforme, violáceo-oscura. Fruto una drupa subglobosa, azul-violáceo.

Nombre común: arrayán macho

Uso: ornamental

Hábitat: bosque



Mirceugenia correifolia



Peperomia fernandeziana



Peumus boldus



Porlieria chilensis



Pteromonnina linearifolia



Raphithannus spinosus

Rumohra adiantiformis (G. Forst.)

Ching

Dryopteridaceae IV, VIII-XII

Helecho nativo, con rizoma largamente rastrero. Hojas de 30-65 cm de longitud, lámina 3 pinnada. Soros de posición mediana, orbicular; indusio persistente.

Nombre común: calahuala

Uso: ornamental

Hábitat: bosque

Senna stipulacea (Aiton) H.S. Irwin et Barneby var. *anglorum*

Caesalpinaceae IV-V, VII, M

Arbusto endémico, de 1-3,5 cm de altura. Hojas compuestas, de 8-15 cm de longitud. Inflorescencia racemosa; corola amarillo-anaranjada. Fruto una legumbre comprimida, de 2,5-5 cm de longitud.

Nombre común: alcaparra

Uso: ornamental

Hábitat: bosque

Tropaeolum brachyceras Hook. et Arn.

Tropaeolaceae IV-V-M, VII

Hierba endémica, perenne, con túberes; tallos volubles. Hojas con 5-7 lóbulos ovados. Flores con sépalos espolonados, verde-amarillentos; pétalos amarillo dorados, los superiores con listas rojas. Fruto formado de tres partes monospermas.

Nombre común: relicario, pajarito

Uso: ornamental

Hábitat: zona xérica

Sarmienta scandens (J.D. Brandis)

Pers.

Gesneriaceae IV, VII-XI

Sufrútice endémico, epífita, de 20-40 cm de altura. Hojas carnosas, ovoido-orbiculares, de 1-2,5 cm de longitud. Flores solitarias, axilares, rojas. Fruto una cápsula piriforme.

Nombre común: medallita

Uso: desconocido

Hábitat: bosque

Sisyrinchium striatum Sm.

Iridaceae IV- IX, M

Hierba nativa, perenne, de 25-60 cm de altura. Hojas basales, lineales. Inflorescencia en espiga; tépalos amarillos, con venas oscuras. Fruto una cápsula orbicular.

Nombre común: huilmo, lirio del cerro

Uso: ornamental

Hábitat: zona xérica

Tropaeolum hookerianum Barnéoud

Tropaeolaceae IV

Hierba endémica, perenne, con túberes, tallos volubles. Hojas con 6-8 lóbulos ovales, angostos. Flores axilares con los sépalos terminados en un espolón corto; pétalos amarillos. Fruto con tres partes monospermas.

Nombre común: relicario, pajarito

Uso: ornamental

Hábitat: zona xérica



Rumohra adiantiformis



Sarmienta scandens



Senna stipulacea



Sisyrinchium striatum



Tropaeolum brachyceras



Tropaeolum hookerianum

<i>Valeriana peltata</i> Clos		<i>Leucocoryne ixioides</i> (Sims) Lindl.	
Valerianaceae	III-V	Alliaceae	IV-VII, M, IX
Hierba endémica, perenne; tallo peludo: Hojas basales suborbiculares, las del tallo lirado-pinnadas. Inflorescencia terminal, cimoso-corimbosa. Flores de corola pequeña. Fruto: aquenio coronado por vilano plumoso.		Hierba endémica, perenne, planta con bulbo tunicado. Hojas lineales. Inflorescencia en umbelas; flores con 6 tépalos rosado o blanquecinos. Fruto: una cápsula dehiscente.	
Nombre común: valeriana		Nombre común: cebollín	
Uso: desconocido		Uso: ornamental	
Hábitat: zona xérica		Hábitat: zona xérica	

<i>Leucocoryne purpurea</i> Gay			
Alliaceae			IV-V
Hierba perenne, endémica, planta con bulbo tunicado. Hojas lineales, de 25-30 cm de longitud. Inflorescencia umbelada; flores con los tépalos violáceo intenso o blanquisco, en el tercio inferior purpúreo intenso. Fruto una cápsula dehiscente.			
Nombre común: cebollín			
Uso: ornamental			
Hábitat: zona xérica			

ESPECIES FUERA DE PELIGRO

Las especies Fuera de Peligro son aquellas que son abundantes y que no están amenazadas por factores naturales o humanos.

<i>Ageratina glechonophylla</i> (Less.) R.M. King. et H. Rob.		<i>Aristeguetia salvia</i> (Colla) R. M. King. et H. Rob.	
Asteraceae	II, IV- VIII	Asteraceae	IV-VII
Arbusto nativo, de 40-150 cm de altura. Hojas cordiformes o triangular-lanceoladas, glabras. Inflorescencia en capítulos, con flores isomorfas, tubulares, blancas. Involucro acampañado, 6-10 mm de longitud. Fruto aquenios negros, pubescente.		Arbusto endémico, de 1,5-2 m de altura. Hojas lanceoladas, glabras en el haz y viscoso-pubescentes en el envés, de hasta 12 cm de longitud. Inflorescencia en capítulos, flores isomorfas, tubulares, blancas. Fruto aquenios café oscuro.	
Nombre común: barba de viejo		Nombre común: salvia macho	
Uso: apícola, medicinal y ornamental.		Uso: apícola, medicinal y ornamental	
Hábitat: bosque, perifería y xérico		Hábitat: perifería y zona xérica	



Valeriana peltata



Leucocoryne purpurea



Leucocoryne ixioides



Ageratina glechonophylla



Aristeguetia salvia

Baccharis vernalis F.H. Hellwig

Asteraceae IV- VIII

Arbusto endémico, de hasta 2 m de altura, glabro, resinoso. Hojas ovado-oblongas, de hasta 2,5 cm de longitud. Inflorescencia en cabezuelas, dispuestas en glomérulos terminales; flores isomorfas, tubulares, de color blanca. Fruto aquenio recorrido por varias costillas.

Nombre común: vauto

Uso: Apícola, medicinal y ornamental

Hábitat: periferia y zona xérica

Berberis actinacantha Mart.

Berberidaceae II-IX

Arbusto endémico, de 30-50 cm de altura. Hojas elípticas o subredondas, con dientes espinosos, de 1,1-2,5 cm de longitud. Inflorescencia en fascículos; flores amarillo-anaranjadas. Fruto una baya globosa, negro o azulados.

Nombre común: michay

Uso: ornamental

Hábitat: periferia y zona xérica

Erigeron luxurians (Skotts.) Solbrig

Asteraceae IV-V

Sufrútice endémico, de hasta 50 cm de altura, pubescente. Hojas lanceoladas, de 1-3 cm de longitud. Inflorescencia en cabezuelas solitarias, terminales; flores dimorfas, las liguladas blancas y las tubulares amarillas. Fruto un aquenio.

Nombre común: escabiosa

Uso: ornamental

Hábitat: zona xérica

Bahia ambrosioides Lag.

Asteraceae I-VIII, JF

Arbusto, endémico, de 60-80 cm de altura, ramoso. Hojas tripartido-bipinnadas, de 2-3 cm de longitud. Inflorescencia en capítulos pedunculados; flores dimorfas, las liguladas, blanco-cremoso, las centrales tubulares, amarillas. Fruto aquenio algo hirsuto.

Nombre común: chamiza

Uso: apícola, medicinal y ornamental.

Hábitat: zona xérica

Chenopodium petiolare Kunth

Chenopodiaceae I-V

Sufrútice nativo, de 50-120 cm de altura. Hojas enteras con pecíolos largos, láminas subastadas. Inflorescencia en panícula terminal abierta; sépalos unidos hasta la mitad o algo más. Fruto pixidio unilocular envuelto por el perigonio.

Nombre común: no tiene

Uso: no conocido

Hábitat: zona xérica

Eryngium paniculatum Cav. Et
Dombey ex F. Delaroche

Apiaceae IV-X, M

Hierba perenne, nativa, de 60-150 cm de altura, erecta, glabra, Hojas basales en roseta, lineales, dentada-espinescentes, de 10-100 cm de longitud. Inflorescencia en umbela simple; flores blancas, sésiles. Fruto dos mericarpos comprimidos.

Nombre común: cardoncillo

Uso: desconocido

Hábitat: periferia y zona xérica



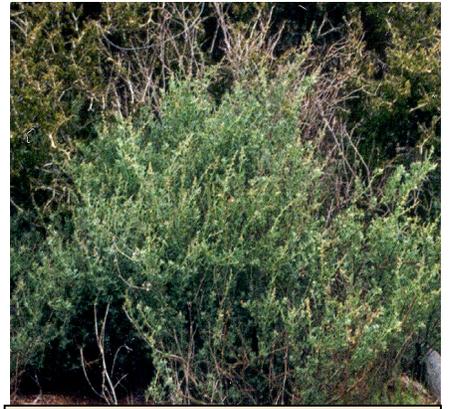
Baccharis vernalis



Bahia ambrosioides



Berberis actinacantha



Chenopodium petiolare



Erigeron luxurians



Eryngium paniculatum

Fuchsia lycioides Andrews

Onagraceae IV-V y M

Arbusto endémico, de 1-3 m de altura, glabro. Hojas lanceolada-ovadas, de 1-3 cm de longitud. Flores solitarias, tubulares, péndulas, colgantes; pétalos de color rojo-fucsia. Fruto una baya de 5-6 mm de longitud, de color purpúreo oscuro.

Nombre común: palo de yegua

Uso: apícola, medicinal y ornamental

Hábitat: periferia y zona xérica

Haplopappus hirtellus Phil.

Asteraceae III-V

Arbusto endémico, de 30-50 cm de altura, hirsuto veloso. Hojas oblongo-espátuladas, dentadas, de 2-3 cm de longitud. Inflorescencia en capítulos solitarios, terminales; flores dimorfas amarillas. Fruto aquenio vellososedo.

Nombre común: no tiene

Uso: desconocido

Hábitat: zona xérica

Puya chilensis Molina

Bromeliaceae IV-VIII, M

Hierba perenne, endémica. Hojas linear-acuminadas de más de 1 m de longitud por 5 cm de ancho, con espinas en los márgenes. Tallo floral de 3-4 m de altura. Inflorescencia en espiga; flores amarillo-verdosas. Fruto una cápsula elipsoidal.

Nombre común: cardón, puya, chagual

Uso: apícola, alimenticio, medicinal, ornamental

Hábitat: zona xérica

Haplopappus foliosus DC.

Asteraceae IV-VII

Arbusto endémico, de 40-80 cm de altura, glabra, hojoso, glabro, resinoso. Hojas obovadas, de 1,3-5 cm de longitud. Inflorescencia en capítulos solitarios, cubiertos casi totalmente por las hojas; flores dimorfas amarillas. Fruto aquenio.

Nombre común: cuerno de cabra

Uso: apícola, medicinal, ornamental

Hábitat: zona xérica

Polypodium feuelli Bertero var. *feuelli*

Polypodiaceae IV-XII

Hierba nativa, perenne, rizoma carnoso, planta epífita. Hojas de hasta 46 cm de longitud, glabra; lámina entera a lobulada, de contorno triangular u ovalado. Soros ovalados, desprovisto de indusio, dispuestos en ángulos de casi 45° con la vena media.

Nombre común: hierba del lagarto

Uso: medicinal y ornamental

Hábitat: bosque

Ribes punctatum Ruiz et Pav.

Saxifragaceae IV-X

Arbusto nativo, de 50-60 cm de altura, glanduloso. Hojas rombo-lanceoladas, trilobadas, de 1,5-5 cm de longitud. Inflorescencia en racimos péndulos; flores tubuliformes, amarillas. Fruto una baya.

Nombre común: zarzaparrilla

Uso: medicinal y ornamental

Hábitat: periferia y zona xérica



Fuchsia lycioides



Haplopappus foliosus



Haplopappus hirtellus



Polypodium feuillei



Puya chilensis



Ribes punctatum

Rhodophiala advena (Ker-Gawl.)
Traub

Amaryllidaceae IV-M

Hierba endémica, con bulbos tunicados, glabra. Hojas lineales, basales, de 15-20 cm de longitud. Escapo de 10-20 cm de altura. Inflorescencia en umbelas pediceladas; flores de 3-4 cm de longitud de color rosada. Fruto una cápsula globosa.

Nombre común: añañuca rosada

Uso: ornamental

Hábitat: zona xérica

Senecio planiflorus Kunze ex Cabrera

Asteraceae IV-VII

Arbusto endémico, muy hojoso, glanduloso-pubescente, de 50-100 cm de altura. Hojas, sésiles, margen lobulado, de 5-9 cm de longitud. Inflorescencia en capítulos apicales, radiados; flores amarillas. Fruto aquenio cilíndrico, pubescente.

Nombre común: no tiene

Uso: ornamental

Hábitat: bosque, periferia y zona xérica

Solanum pinnatum Cav. var. *pinnatum*

Solanaceae II-VI

Sufrútice endémico, de 80-150 cm de altura. Hojas pinnatífidas de 4-8 cm de longitud. Inflorescencia cimosa, dicotoma; flores rotáceas de color violáceas. Fruto una baya amarillo-verdosa.

Nombre común: tomatillo

Uso: ornamental

Hábitat: periferia y zona xérica



Rhodophiala advena



Senecio planiflorus



Solanum pinnatum

Fotografías: Gina Arancio.

Esquema *Atriplex coquimbana* tomado de Rosas (1989)

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a M. Figueroa por la preparación de las fotografías, a Juan Monárdez quien encontró el copihue, a I.R. Hernández y al personal de CONAF del P.N. Bosque Fray Jorge por el apoyo logístico. Este estudio forma parte del proyecto “Investigación de Tratamientos Silviculturales Rescate Parque Nacional Fray Jorge” financiado por el Gobierno Regional de Coquimbo (B.I.P. 20092545-0). Esta es una contribución del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA).

LITERATURA UTILIZADA

- ARANCIO G, M MUÑOZ & FA SQUEO (2001) Descripción de algunas especies con problemas de conservación en la IV región de Coquimbo, Chile. En: Squeo FA, G Arancio & JR Gutiérrez (eds). Libro Rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Coquimbo: 63-103. Ediciones Universidad de La Serena. Chile.
- BENOIT IL (1989) Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile. CONAF. Santiago.
- BAEZA M, E BARRERA, J FLORES C RAMIREZ & R RODRIGUEZ (1998) Categorías de conservación de Pteridophyta nativas de Chile. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural 47: 23-46.
- MARTICORENA C (1990) Contribución a la estadística de la flora vascular de Chile. Gayana Bot. 47: 85-113.
- MARTICORENA C & M. QUEZADA (1985) Catálogo de la flora vascular de Chile. Gayana Bot. 42(1-2): 1-157.
- MARTICORENA C & R RODRÍGUEZ (1995) Flora de Chile. Vol I-2. Universidad de Concepción, Concepción. 351 pp.
- MUÑOZ C & E PISANO (1947) Estudio de la vegetación y flora de los Parques Nacionales de Fray Jorge y Talinay. Apartado Agricultura Técnica Chile 71-72-190.
- MUÑOZ M, NUÑEZ H & J YAÑEZ (1996) Libro Rojo de los Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica en Chile. CONAF, Santiago.
- RODRÍGUEZ R (1995) Pteridophyta. En: JA Simonetti, MTK Arroyo, AE Spotorno & E Lozada (eds): Diversidad Biológica de Chile: 58-65. CONICYT, Santiago.
- ROSAS MR (1989) El género *Atriplex* (Chenopodiaceae) en Chile. Gayana, Bot. 46 (1-2): 3-82.
- SQUEO FA, G ARANCIO & JR GUTIÉRREZ (2001) Libro Rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Coquimbo. Ediciones Universidad de La Serena. Chile, 372 pp.

Capítulo 5

Fauna del Parque Nacional Bosque Fray Jorge: una revisión bibliográfica.

FABIÁN M. JAKSIC, ENRIQUE SILVA-ARANGUIZ & SERGIO I. SILVA

RESUMEN

Analizamos 39 trabajos publicados entre 1963 y mayo de 2003 referentes a la fauna presente en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Treinta y ocho de ellos corresponden a trabajos publicados en la literatura científica y uno es una lista de las posibles especies presentes allí. Más del 76% de los trabajos corresponden a aves y mamíferos, con una mayor proporción en este último grupo (28 trabajos), siendo el grupo más estudiado el de los pequeños mamíferos, abarcando 26 de las 28 publicaciones mastozoológicas. La avifauna más estudiada ha sido el grupo de las rapaces, esto es, siete de ocho publicaciones ornitológicas. El total de especies de animales documentadas para el Parque Nacional Bosque Fray Jorge es de 227, de las cuales 123 (54%) son aves, 74 son artrópodos (33%), 23 son mamíferos (10%), cinco son reptiles (2%) y dos son anfibios (1%). La fauna asociada a los sectores de matorral, específicamente al sector de la Quebrada de las Vacas ha concentrado la mayoría de los estudios. Es notoria la escasez de trabajos sobre la fauna del bosque hidrófilo, en el cual sólo se han realizado dos estudios, uno sobre insectos y otro sobre aves.

Palabras Clave: aves, mamíferos, reptiles, artrópodos, zonas áridas

INTRODUCCIÓN

En Chile existe un sistema de Parques y Reservas naturales para proteger una muestra representativa de los diferentes ecosistemas que se dan a lo largo del país. En la actualidad, el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado incorpora a casi un centenar de unidades que cubren más de 14 millones de hectáreas, lo que corresponde a cerca del 20% del territorio chileno continental. El área del Parque Nacional Bosque Fray Jorge cubre un área de 9.959 ha, representando 0,07% de las Áreas Protegidas del Estado.

El Parque Nacional Bosque Fray Jorge presenta un conjunto de características ecológicas que lo singularizan en el ámbito nacional. Entre ellas cabe destacar la presencia de áreas muy reducidas con diversos tipos de vegetación y la existencia de un bosque relictivo de tipo valdiviano. Las características relictivas del Bosque de Fray Jorge han motivado desde antaño y en forma casi permanente el interés de los científicos, dada sus peculiares características de endemismo. Desde 1884, partiendo

con los trabajos de Philippi (Saiz 1971) se han acumulado una serie de publicaciones relativas a la vegetación y flora, junto a algunos estudios centrados en el clima. Bajo esta perspectiva, se puede decir que el Parque es bien conocido. Sin embargo, desde el punto de vista faunístico no ocurre lo mismo, y la fauna ha concitado el interés de los investigadores sólo a partir de mediados de los años 70, cuando comienzan los primeros muestreos de fauna.

La fauna de Chile es menos diversa que la de otros países, pero destaca por su alto porcentaje de endemismo, con numerosas especies que viven sólo en el país. Estas características llevan a nuestra diversidad biológica a ser sumamente vulnerable a cambios ambientales (Simonetti et al. 1995). En Chile hay unas 12.000 especies de insectos descritos, cifra a la que debe agregarse las especies aún no descritas. La fauna actual de vertebrados terrestres en Chile está compuesta por 99 especies de mamíferos terrestres y 48 marinos, 456 de aves, 94 de reptiles y 43 de anfibios (Simonetti et al. 1995, Jaksic 1997).

En el presente capítulo se entrega una visión del estado del conocimiento de la fauna de vertebrados terrestres en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge, basado en la revisión de 39 trabajos realizados en dicha área (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de los trabajos publicados para cada grupo taxonómico en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge.

Grupo	Número de especies	Porcentaje	Número de trabajos	Porcentaje
Artrópodos	74	32,6	6	12,8
Anfibios	2	0,9	3	6,4
Reptiles	5	2,2	2	4,2
Aves	123	54,2	8	17,0
Mamíferos	23	10,1	28	59,6
Total	227	100,0	47*	100,0

* El total de trabajos es de 39; la suma (47) se debe a que en algunos casos se estudia más de un grupo.

ARTRÓPODOS

Hasta la fecha, existen sólo seis publicaciones sobre artrópodos terrestres en el Parque. En éstos se ha documentado la presencia de 74 especies de artrópodos en dos clases y cuatro órdenes (Tabla 2). Tres tipos de investigaciones se han realizado en este grupo de organismos.

Estudios sistemáticos y de abundancia

Saiz (1969) elaboró una clave para la familia Staphylinidae presente en el Parque, describiendo ocho especies (Tabla 2). Este trabajo informa de la presencia y abundancia relativa de diferentes especies de esta familia en tres formaciones vegetales: matorral espinoso, matorral xerófilo y bosque hidrófilo.

Tabla 2. Lista de especies de artrópodos presentes en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Área estudiada: B = Bosque, M = Matorral; MX = Matorral xerófilo; ME = Matorral espinoso.

Taxa	Fuente	Área estudiada
Arachnida		
Pseudoscorpiones		
<i>Neochelanops fraternus</i>	Covarrubias et al. 1964	B, M
<i>Austrochthonius</i> sp.	Covarrubias et al. 1964	B, M
Palpigradi		
<i>Eukoenenia grassii</i>	Covarrubias et al. 1964	B, M
Insecta		
Coleoptera		
Anthixidae		
<i>Licancurus</i> sp.	Barbosa & Marquet 2002	B,
Bruchidae		
<i>Lithraeus egenus</i>	Barbosa & Marquet 2002	B
Curculionidae		
<i>Acalles rotundatum</i>	Barbosa & Marquet 2002	B
<i>Acalles</i> sp.	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Anaballus cristatiger</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Chemecoelus valparadisi</i>	Barbosa & Marquet 2002	B
<i>Cnemecoelus</i> sp.	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Euphryum</i> sp.	Sáiz 1975, Barbosa & Marquet 2002	B
<i>Geniocreminus angustirostris</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Minurus rufescens</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Neopsinorhinus</i> sp.	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Porteriella</i> sp.	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Puranius inecualis</i>	Barbosa & Marquet 2002	B
<i>Puranius</i> sp.	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Rhyephenes squamiger</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Scotoeborus</i> sp.	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Sibinia albovitata</i>	Sáiz 1975, Barbosa & Marquet 2002	B, MX, ME
<i>Trachodema tuberculosa</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Zeacalles</i> sp.	Sáiz 1975	B, MX, ME
Biphyllidae		
<i>Diplocoelus</i> sp.	Barbosa & Marquet 2002	B
Chrysomelidae		
<i>Chaetochema</i> sp.	Barbosa & Marquet 2002	B
<i>Protopsilapha</i>	Barbosa & Marquet 2002	B
Colydiidae		
<i>Synchita</i> sp.	Barbosa & Marquet 2002	B
Melyridae		
<i>Amecocerus girandi</i>	Barbosa & Marquet 2002	B
<i>Arthrobrachus nigromaculatus</i>	Barbosa & Marquet 2002	B
Languriidae		
<i>Loberus</i> sp.	Barbosa & Marquet 2002	B
Lathridiidae		
<i>Adistemia bicarinata</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Dicastris temporalis</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Metophtalmoides castris</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
Leiodidae		

Taxa	Fuente	Área estudiada
<i>Eunemadus</i> sp.	Barbosa & Marquet 2002	B
Pselaphidae		
<i>Kuscheliotes brunneus</i>	Covarrubias et al. 1964	B, M
<i>Kuscheliotes rugosus</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Paractium microphthalmum</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Pteracmes angulicollis</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
Ptiniidae		
<i>Ptinus</i> sp.	Barbosa & Marquet 2002	B
Scarabaeidae		
<i>Sericoides</i> sp.	Barbosa & Marquet 2002	B
<i>Trox ballatus</i>	Barbosa & Marquet 2002	B
Scolytidae		
<i>Gnatotrichus cortiloides</i>	Barbosa & Marquet 2002	B
Scydmaenidae		
<i>Euconus castrii</i>	Covarrubias et al. 1964	B, M
<i>Euconus hayeki</i>	Covarrubias et al. 1964	B, M
<i>Pseudoeudesis castrii</i>	Covarrubias et al. 1964	B, M
Staphylinidae		
<i>Atheta obscuripennis</i>	Sáiz 1969, 1971, 1975	B, MX, ME
<i>Bolitobius seriaticollis</i>	Sáiz 1969, 1971, 1975	B, MX, ME
<i>Cheilocolpus fulvicollis</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Cheilocolpus pyrostoma</i>	Sáiz 1969, 1971	B, MX, ME
<i>Eudera sculptilis</i>	Sáiz 1969, 1971, 1975	B, MX, ME
<i>Homalotrichus striatus</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Loncovilius discoideus</i>	Sáiz 1969, 1971, 1975	B, MX, ME
<i>Longivilius</i> sp.	Barbosa & Marquet 2002	B
<i>Medon obscuripennis</i>	Sáiz 1969, 1971	B, MX, ME
<i>Medon vittatipennis</i>	Sáiz 1969, 1971	B, MX, ME
<i>Omaliopsis russatum</i>	Sáiz 1969, 1971	B, MX, ME
Tenebrionidae		
<i>Apocrypha baloghi</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Archeocrypticus chilensis</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Aspidolobus piliger</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Discopleurus quadricollis</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Enneboeus chilensis</i>	Barbosa & Marquet 2002	B
<i>Euryeitopini</i> sp.	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Gyriosomus luzoti</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Heliofugus coquimboensis</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Hypselops oblonga</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Myrmecodema michelbacheri</i>	Barbosa & Marquet 2002	B
<i>Nictopetus</i> sp.	Barbosa & Marquet 2002	B
<i>Nycterinus rugiceps rugiceps</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Nyctopetus maculipennis</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Praocis</i> sp.	Barbosa & Marquet 2002	B
<i>Praosis hirtella</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Praosis spinolai</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Psectrascelis kuscheli</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Scotobius kirbyi</i>	Sáiz 1975	B, MX, ME
<i>Tribolium</i> sp.	Barbosa & Marquet 2002	B
Psocoptera		
Lepidopsosidae		

Taxa	Fuente	Área estudiada
<i>Schmepteryx terricolis</i>	Covarrubias et al. 1964	B, M
<i>Lipinotus reticulatus</i>	Covarrubias et al. 1964	B, M
<i>Liposelis bostrychophilus</i>	Covarrubias et al. 1964	B, M

Otras tres publicaciones de Sáiz (1963, 1971, 1975) corresponden a estimaciones de abundancia de artrópodos en distintos tipos de hábitat dentro del Parque. Sáiz (1963) realizó estimaciones de la abundancia de los artrópodos terrestres, mencionando la presencia de 18 órdenes. Este autor establece que la abundancia numérica de los órdenes es más estable en el bosque que en el valle, donde las variaciones estacionales son bastante más acentuadas, similares a las de Chile central. Sáiz (1971) realizó una comparación de la abundancia de los estafilínidos en tres tipos de vegetación (bosque hidrófilo, matorral xerófilo y matorral espinoso), determinando la coleopterofauna característica de cada uno de estos ambientes, identificando un total de ocho especies de estafilínidos, todas concentradas en la zona con influencia de neblina. Finalmente, Sáiz (1975) realizó una comparación de la abundancia de todos los coleópteros en los mismos tres tipos de vegetación, identificando un total de 40 especies. Este autor señaló que la mayor abundancia de individuos de coleópteros se encuentra dentro del bosque hidrófilo. En cuanto a la diversidad de especies de coleópteros, es mínima en el matorral espinoso y máxima en el matorral xerófilo. Además, planteó que los coleópteros presentes en el bosque no son un relicto austral, sino un semi-relicto de la coleopterofauna de Chile central.

Estudio biogeográfico

Covarrubias et al. (1964) analizaron la abundancia de la fauna de artrópodos edáficos en el Parque en un contexto biogeográfico, identificando 10 especies (Tabla 2). Estos autores destacaron la poca variabilidad estacional de los artrópodos en el bosque y su mayor fluctuación fuera de él. En un contexto biogeográfico mencionaron que la abundancia de fauna edáfica decrece desde el bosque esclerófilo (47 especies), hacia la sabana (28 especies) y la estepa (9 especies).

Estudio de conservación biológica

Durante cada estación calendario de 1998, Barbosa & Marquet (2002) estudiaron el efecto de la fragmentación del bosque sobre el ensamble de coleópteros, identificando un total de 26 especies (Tabla 2). Estos autores encontraron que la relación entre el número de individuos y el número de especies se incrementaba con el tamaño del fragmento de bosque y que era dependiente de la estación calendario. También encontraron que tanto el número de especies como de individuos tienden a incrementar desde el matorral hacia el borde del bosque y a decrecer, incrementar o mantenerse a un nivel constante hacia el interior de éste, dependiendo del tamaño del fragmento. Los resultados obtenidos por estos autores enfatizan que el tamaño del fragmento y la estación calendario tienen un fuerte efecto modulador sobre la respuesta de los coleópteros a la fragmentación y sobre su abundancia y distribución en áreas templadas.

ANFIBIOS

La taxonomía y sistemática de la batracofauna chilena esta razonablemente bien establecida, existiendo una producción sustancial de estudios citotaxonómicos y bioquímicos aplicados a la sistemática (Jaksic 1997). Hasta la fecha, no se han realizado estudios en este grupo de animales en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge, aunque de manera anecdótica se ha documentado la presencia de *Bufo chilensis* (= *spinulosus*; Sáiz 1963, Jaksic et al. 1993, CONAF 1998; Tabla 3).

Tabla 3. Lista de anfibios y reptiles presentes en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Área estudiada: M = Matorral; ME = Matorral espinoso; Todo = Toda el área.

Taxa	Nombre vernáculo	Fuente	Área estudiada
Amphibia			
Anura			
Bufo			
<i>Bufo chilensis</i>	Sapo de rulo	Jaksic et al. 1993, Sáiz 1963	ME
Leptodactylidae			
<i>Pleurodema thaul</i>	Sapo de cuatro ojos	De La Harpe JP, Silva SI com.pers.	ME
Reptilia			
Serpentes			
Colubridae			
<i>Tachymenis chilensis</i>	Culebra de cola corta	CONAF 1998	Todo
<i>Philodryas chamissonis</i>	Culebra de cola larga	CONAF 1998	Todo
Sauria			
Teiidae			
<i>Callopistes palluma</i>	Lagarto	CONAF 1998	Todo
Tropiduridae			
<i>Liolaemus nitidus</i>	Lagarto	CONAF 1998	Todo
<i>Liolaemus nigromaculatus</i>	Lagarto	CONAF 1998, Kelt 2002	M

REPTILES

Dentro del Parque se ha documentado la presencia de dos especies de serpientes y tres de lagartos. Hasta el momento sólo hay dos publicaciones sobre reptiles dentro del Parque (Tabla 3).

Estudio descriptivo

En el Plan de Manejo del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, realizado por la Corporación Nacional Forestal (1998), se entrega un listado de la herpetofauna posible de encontrar dentro de él (Tabla 3).

Estudio de ecología conductual

Kelt et al. (2002) estudiaron, durante los veranos de 2000 y 2001, el efecto de la autotomía de la cola sobre la conducta antidepredación en individuos machos de *Liolaemus nigromaculatus*, encontrando que individuos de tamaño pequeño y mediano exhibieron distancias similares de escape independientemente del tamaño de la cola. No obstante, individuos más grandes y de colas autotomizadas toleraron una mayor aproximación del depredador potencial que aquellos individuos grandes con colas intactas.

AVES

El conocimiento de la avifauna del Parque se concentra en ocho publicaciones (Tabla 4). En conjunto, estas publicaciones documentan 123 especies de aves en 16 órdenes y 38 familias.

Tabla 4. Lista de especies de aves presentes en Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Nombres científicos según Araya et al. (1995). Área (estudiada): M = Matorral; ME = Matorral espinoso; Todo = Toda el área.

Taxa	Nombre vernáculo	Fuente	Área
Aves			
Tinaniformes			
Tinamidae			
<i>Nothoprocta perdicaria</i>	Perdiz	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
Podicipediformes			
Podicipedidae			
<i>Rollandia rolland</i>	Pimpollo	CONAF 1998	Todo
<i>Podiceps occipitalis</i>	Blanquillo	CONAF 1998	Todo
<i>Podiceps major</i>	Huala	CONAF 1998	Todo
<i>Podilymbus podiceps</i>	Picurio	CONAF 1998	Todo
Sphenisciformes			
Spheniscidae			
<i>Spheniscus humboldti</i>	Piguino de Humboldt	CONAF 1998	Todo
Pelecaniformes			
Sulidae			
<i>Sula variegata</i>	Piquero	CONAF 1998	Todo
Pelecanidae			
<i>Pelecanus thagus</i>	Pelicano	CONAF 1998	Todo
Phalacrocoracidae			
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Yeco	CONAF 1998	Todo
<i>Phalacrocorax gaimardi</i>	Lile	CONAF 1998	Todo
<i>Phalacrocorax bougainvillii</i>	Guanay	CONAF 1998	Todo
Ciconiiformes			
Ardeidae			
<i>Ardea cocoi</i>	Garza cuca	CONAF 1998	Todo
<i>Casmerodius albus</i>	Garza grande	CONAF 1998	Todo
<i>Egretta thula</i>	Garza chica	CONAF 1998	Todo
<i>Bubulcus ibis</i>	Garza boyera	CONAF 1998	Todo

Taxa	Nombre vernáculo	Fuente	Área
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Huairavo	CONAF 1998	Todo
Threskiornithidae			
<i>Theristicus melanopis</i>	Bandurria	CONAF 1998	Todo
Phoenicopteridae			
<i>Phoenicopus chilensis</i>	Flamenco chileno	CONAF 1998	Todo
Anseriformes			
Anatidae			
<i>Cygnus melanocorypha</i>	Cisne de cuello negro	CONAF 1998	Todo
<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	CONAF 1998	Todo
<i>Anas specularis</i>	Pato anteojillo	CONAF 1998	Todo
<i>Anas flavirostris</i>	Pato jergón chico	CONAF 1998	Todo
<i>Anas sibilatrix</i>	Pato real	CONAF 1998	Todo
<i>Anas georgica</i>	Pato jergón grande	CONAF 1998	Todo
<i>Anas cyanoptera</i>	Pato colorado	CONAF 1998	Todo
<i>Anas platalea</i>	Pato cuchara	CONAF 1998	Todo
<i>Oxyura jamaicensis</i>	Pato rana de pico ancho	CONAF 1998	Todo
<i>Oxyura vittata</i>	Pato rana de pico delgado	CONAF 1998	Todo
Falconiformes			
Cathartidae			
<i>Coragyps atratus</i>	Jote de cabeza negra	CONAF 1998	Todo
<i>Cathartes aura</i>	Jote de cabeza colorada	CONAF 1998	Todo
Accipitridae			
<i>Pandion haliaetus</i>	Aguila pescadora	CONAF 1998	Todo
<i>Elanus leucurus</i>	Bailarín	Jaksic et al. 1993, CONAF 1998	M
<i>Circus cinereus</i>	Vari	Jaksic et al. 1993, CONAF 1998	M
<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Aguila	Jaksic et al. 1993, 1997, CONAF 1998	M
<i>Parabuteo unicinctus</i>	Peuco	Jaksic et al. 1993, 1997, CONAF 1998	M
<i>Accipiter bicolor</i>	Peuquito	Tala & Mussa (1995)	M
<i>Buteo polyosoma</i>	Aguilucho	Jaksic et al. 1993, 1997, CONAF 1998	M
Falconidae			
<i>Milvago chimango</i>	Tiuque	Jaksic et al. 1993, 1997, CONAF 1998	M
<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo	Jaksic et al. 1993, 1997, CONAF 1998	M

Taxa	Nombre vernáculo	Fuente	Área
<i>Falco femoralis</i>	Halcón perdiguero	Jaksic et al. 1993, 1997, CONAF 1998	M
<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino	Jaksic et al. 1993, 1997, CONAF 1998	M
Galliformes Phasianidae			B
<i>Callipepla californica</i>	Codorniz	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	
Gruiformes Rallidae			
<i>Fulica armillata</i>	Tagua	CONAF 1998	Todo
<i>Fulica leucoptera</i>	Tagua chica	CONAF 1998	Todo
<i>Fulica rufifrons</i>	Tagua de frente roja	CONAF 1998	Todo
<i>Pardirallus sanguinolentus</i>	Pidén	CONAF 1998	Todo
Charadriiformes Charadriidae			
<i>Vanellus chilensis</i>	Queltehue	CONAF 1998	Todo
<i>Pluvialis squatarola</i>	Chorlo ártico	CONAF 1998	Todo
<i>Charadrius collaris</i>	Chorlo de collar	CONAF 1998	Todo
<i>Charadrius alexandrinus</i>	Chorlo nevado	CONAF 1998	Todo
<i>Charadrius falklandicus</i>	Chorlo de doble collar	CONAF 1998	Todo
<i>Charadrius semipalmatus</i>	Chorlo semipalmado	CONAF 1998	Todo
<i>Charadrius modestus</i>	Chorlo chileno	CONAF 1998	Todo
<i>Oreopholus ruficollis</i>	Chorlo de campo	CONAF 1998	Todo
Haematopodidae			
<i>Haematopus palliatus</i>	Pilpilén	CONAF 1998	Todo
<i>Haematopus ater</i>	Pilpilén negro	CONAF 1998	Todo
Scolopacidae			
<i>Tringa melanoleuca</i>	Pitotoy grande	CONAF 1998	Todo
<i>Tringa flavipes</i>	Pitotoy chico	CONAF 1998	Todo
<i>Catoptrophorus semipalmatus</i>	Playero grande	CONAF 1998	Todo
<i>Numenius phaeopus</i>	Zarapito	CONAF 1998	Todo
<i>Limosa haemastica</i>	Zarapito de pico recto	CONAF 1998	Todo
<i>Calidris alba</i>	Playero blanco	CONAF 1998	Todo
<i>Gallinago paraguaiae</i>	Becacina	CONAF 1998	Todo
<i>Phalaropus lobatus</i>	Pollito de mar boreal	CONAF 1998	
Thinocoridae			
<i>Thinocorus rumicivorus</i>	Perdicita	CONAF 1998	Todo
Laridae			

Taxa	Nombre vernáculo	Fuente	Área
<i>Catharacta chilensis</i>	Salteador chileno	CONAF 1998	Todo
<i>Larus modestus</i>	Gaviota garuma	CONAF 1998	Todo
<i>Larus dominicanus</i>	Gaviota dominicana	CONAF 1998	Todo
<i>Larus serranus</i>	Gaviota andina	CONAF 1998	Todo
<i>Larus maculipennis</i>	Gaviota Cahuil	CONAF 1998	Todo
<i>Larus pipixcan</i>	Gaviota de Franklin	CONAF 1998	Todo
<i>Sterna hirundinacea</i>	Gaviotín sudamericano	CONAF 1998	Todo
<i>Sterna elegans</i>	Gaviotín elegante	CONAF 1998	Todo
<i>Rynchops niger</i>	Rayador	CONAF 1998	Todo
Columbiformes Columbidae			
<i>Columba araucana</i>	Torcaza	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Zenaida auriculata</i>	Tórtola	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Columbina picui</i>	Tortolita cuyana	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
Strigiformes Tytonidae			
<i>Tyto alba</i>	Lechuza	Fulk 1976, Jaksic et al. 1993, 1997, CONAF 1998	M
Strigidae			
<i>Bubo magellanicus</i>	Tucúquere	Jaksic et al. 1993, 1997, CONAF 1998	M
<i>Glaucidium nanum</i>	Chuncho	Jaksic et al. 1997, CONAF 1998	M
<i>Speotyto cunicularia</i>	Pequén	Meserve et al. 1987, Silva et al. 1995, Jaksic et al. 1993, 1997, CONAF 1998	M
Caprimulgiformes Caprimulgidae			
<i>Caprimulgus longirostris</i>	Gallina ciega	CONAF 1998	Todo
Apodiformes Trochilidae			
<i>Patagona gigas</i>	Picaflor gigante	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Sephanoides sephaniodes</i>	Picaflor chico	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
Piciformes Picidae			
<i>Picoides lignarius</i>	Carpinterito	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Colaptes pitius</i>	Pitío	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B

Taxa	Nombre vernáculo	Fuente	Área
Passeriformes			
Furnariidae			
<i>Geositta cunicularia</i>	Minero	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Cinclodes nigrofumosus</i>	Churrete costero	CONAF 1998	Todo
<i>Chilia melanura</i>	Chiricoca	CONAF 1998	Todo
<i>Upucerthia dumetaria</i>	Bandurrilla	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Aphrastura spinicauda</i>	Rayadito	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Leptasthenura aegithaloides</i>	Tijeral	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Asthenes humicola</i>	Canastero	Cornelius et al. 2000	B
Rhinocryptidae			
<i>Pterotochos megapodius</i>	Turca	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Scelorchilus albicollis</i>	Tapaculo	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Scytalopus magellanicus</i>	Churrín	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
Tyrannidae			
<i>Lessonia rufa</i>	Colegial	CONAF 1998	Todo
<i>Agriornis livida</i>	Mero	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Muscisaxicola macloviana</i>	Dormilona tontita	Cornelius et al. 2000	B
<i>Xolmis pyrope</i>	Diucón	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Elaenia albiceps</i>	Fío-fío	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Anairetes parulus</i>	Cachudito	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Colorhamphus parvirostris</i>	Viudita	Cornelius et al. 2000	B
<i>Hymenops perspicillatus</i>	Run-run	CONAF 1998	Todo
<i>Tachuris rubrigastra</i>	Siete colores	CONAF 1998	Todo
Phytotomidae			
<i>Phytotoma rara</i>	Rara	Cornelius et al. 2000	B
Hirundinidae			
<i>Tachycineta meyeni</i>	Golondrina chilena	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
Troglodytidae			
<i>Troglodytes aedon</i>	Chercán	Cornelius et al. 2000	B
Muscicapidae			
<i>Turdus falcklandii</i>	Zorzal	Cornelius et al. 2000	B
Mimidae			
<i>Mimus thenca</i>	Tenca	Cornelius et al. 2000	B
Motacillidae			
<i>Anthus correndera</i>	Bailarín chico	Cornelius et al. 2000	B
Emberizidae			
<i>Sicalis luteiventris</i>	Chirihue	CONAF 1998	Todo

Taxa	Nombre vernáculo	Fuente	Área
<i>Zonotrichia capensis</i>	Chincol	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Agelaius thilius</i>	Trile	CONAF 1998	Todo
<i>Sturnella loyca</i>	Loica	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Molothrus bonariensis</i>	Mirlo	CONAF 1998	Todo
<i>Curaeus curaeus</i>	Tordo	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
Fringillidae			
<i>Phrygilus gayi</i>	Cometocino de gay	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Phrygilus fruticeti</i>	Yal	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Phrygilus alaudinus</i>	Platero	Cornelius et al. 2000	B
<i>Diuca diuca</i>	Diuca	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
<i>Carduelis barbata</i>	Jilguero	CONAF 1998, Cornelius et al. 2000	B
Passeridae			
<i>Passer domesticus</i>	Gorrión	CONAF 1998	Todo

Estudios descriptivos

Tala & Mussa (1995) documentaron la presencia de peuquito (*Accipiter bicolor*) en el Parque. También debe destacarse el Plan de Manejo del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, realizado por la Corporación Nacional Forestal (1998), donde se entrega un listado de la avifauna posible de encontrar dentro de él (116 especies).

Estudios de ecología trófica

Los trabajos iniciales en esta categoría describen la composición dietaria de *Tyto alba* y *Speotyto cunicularia* (Fulk 1976, Meserve et al. 1987, respectivamente). Esto sentó las bases para estudios posteriores más sofisticados.

Jaksic et al. (1993) estudiaron desde mayo 1989 a enero 1991 el sistema depredador-presa de vertebrados para determinar posibles respuestas numéricas y/o funcionales a las fluctuaciones en el recurso presa. El sistema depredador estuvo compuesto por tres especies de lechuzas (*Speotyto cunicularia*, *Bubo magellanicus* y *Tyto alba*) y una especie de zorro (*Pseudalopex culpaeus*; Fig. 1). Ninguna de éstas manifestó respuestas numéricas con respecto a la disponibilidad de micromamíferos. Solo *B. magellanicus* incrementó su amplitud dietaria en respuesta a la reducción de los micromamíferos. Todos los depredadores mostraron marcadas preferencias por alguna especie presa, independiente de la abundancia de éstas en el terreno, sin mostrar respuestas funcionales.



Fig. 1. Dos de los principales depredadores presentes en el P.N. Bosque Fray Jorge. Arriba: *Speotyto cunicularia* (Pequén), abajo: *Pseudalopex culpaeus* (Zorro culpeo).

En contraste, Silva et al. (1995) documentaron que *Speotyto cunicularia* muestra respuestas funcionales y numéricas. Cuando la densidad de micromamíferos baja de 10 individuos/ha, *S. cunicularia* se comporta como omnívoro, consumiendo tanto vertebrados como invertebrados. En la medida que los micromamíferos aumentan en abundancia, esta lechuza cambia su dieta desde omnívora a estrictamente carnívora.

Jaksic et al. (1997) compararon los ensambles de depredadores (ver Tabla 4) pre y post evento El Niño (1991-92). La abundancia de Falconiformes y Strigiformes mostró una respuesta diferencial al incremento en abundancia de los

micromamíferos. La abundancia de rapaces antes del evento El Niño era de cuatro individuos/750 ha, aumentando a 11 individuos/750 ha posterior al evento. Además, documentaron que la abundancia de depredadores en relación a la abundancia de micromamíferos muestra una trayectoria contraria al sentido de los punteros del reloj sugiriendo que la dinámica del sistema depende de los niveles de presas.

Estudio de ecología comunitaria

Cornelius et al. (2000) analizan la estructura y composición del ensamble de aves no rapaces (Tabla 4) durante el período mayo 1996-marzo 1997, en seis fragmentos de bosque. Documentaron una correlación positiva entre el número de aves y el área del fragmento. Sin embargo, algunas especies se distribuían en todos los fragmentos sin importar su área, por lo que serían menos afectadas por la fragmentación del hábitat y por ende menos susceptibles a la extinción local. Estos autores afirmaron que la avifauna de Fray Jorge es similar a la de un archipiélago empobrecido, debido a la ausencia de áreas-fuentes cercanas y debido al largo tiempo de aislamiento de este sistema.

MAMÍFEROS

Este es el grupo de organismos más estudiado dentro del Parque, habiéndose publicado hasta la fecha 28 trabajos (Tabla 5). La totalidad de los trabajos realizados en este grupo de animales se ha desarrollado en el sector del matorral espinoso semiárido del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, específicamente en el sector denominado Quebrada de Las Vacas (Tabla 5).

Tabla 5. Lista de especies de mamíferos presentes en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Área (estudiada): M = Matorral; Todo = Toda el área.

Taxa	Nombre vernáculo	Fuente	Área
Mamíferos			
Marsupicarnivora			
Didelphidae			
<i>Thylamys elegans</i>	Yaca	Schamberger & Fulk 1974, Fulk 1975, Meserve & Glanz 1978, Meserve 1981b, Meserve et al. 1987, 1993b, 1995, 1999, 2001, Jaksic et al. 1993, 1997, Cortés et al. 1994, CONAF 1998	M
Chiroptera			
Phyllostomatidae			
<i>Desmodus rotundus</i>	Vampiro	CONAF 1998	Todo
Rodentia			
Muridae			
<i>Phyllotis darwini</i>	Lauchón orejudo	Schamberger & Fulk 1974, Fulk 1975, Meserve 1978, 1981a, b, Meserve & Glanz 1978, Meserve & Le Boulengé 1987, Meserve et al. 1987, 1993b, 1995, 1996, 1999, 2001, Jaksic et al. 1993, 1997, Cortés et al. 1994, 2000, CONAF 1998	M

Taxa	Nombre vernáculo	Fuente	Área
<i>Abrothrix olivaceus</i>	Laucha olivacea	Schamberger & Fulk 1974, Fulk 1975, Meserve 1978, 1981a, b, Meserve & Glanz 1978, Meserve & Le Boulenge 1987, Meserve et al. 1987, 1993b, 1995, 1996, 1999, 2001, Jaksic et al. 1993, 1997, Cortés et al. 1994, 2000, CONAF 1998	M
<i>Abrothrix longipilis</i>	Laucha de pelo largo	Schamberger & Fulk 1974, Fulk 1975, Meserve 1981a, 1981b, Meserve & Glanz 1978, Meserve & Le Boulenge 1987, Meserve et al. 1987, 1993b, 1995, 1996, 1999, 2001, Jaksic et al. 1993, 1997, Cortés et al. 1994, 2000, CONAF 1998	M
<i>Oligoryzomys longicaudatus</i>	Colilargo	Schamberger & Fulk 1974, Fulk 1975, Meserve & Glanz 1978, Meserve 1981b, Meserve et al. 1987, 1993b, 1995, 1996, 1999, 2001, Jaksic et al. 1993, 1997, Cortés et al. 1994, 2000, CONAF 1998	M
<i>Chelemys megalonyx</i>	Ratón topo	Meserve et al. 1987, CONAF 1998	M
<i>Rattus rattus</i>	Rata	Schamberger & Fulk 1974, Fulk 1975	M
Octodontidae			
<i>Octodon degus</i>	Degú	Fulk 1975, Meserve & Glanz 1978, Meserve 1981a, 1981b, 1993a, 1993b, Meserve & Le Boulengé 1987, Lagos 1993, Jaksic et al. 1993, 1997, Cortés et al. 1994, 2000, Meserve et al. 1984, 1987, 1995, 1996, 1999, 2001, Lagos et al. 1995a, 1995b, CONAF 1998, Gutiérrez & Bozinovic 1998, Gutiérrez & Meserve 2000	M
<i>Octodon lunatus</i>	Degú costino	Meserve et al. 1993b, CONAF 1998	M
<i>Spalacopus cyanus</i>	Cururo	Meserve et al. 1987, CONAF 1998	M
Abrocomidae			
<i>Abrocoma bennetti</i>	Ratón chinchilla	Meserve & Glanz 1978, Meserve 1981b, Meserve et al. 1987, 1993b, 1995, 1996, 1999, Jaksic et al. 1993, 1997, CONAF 1998	M
Carnivora			
Canidae			
<i>Pseudalopex griseus</i>	Zorro gris	CONAF 1998	Todo
<i>Pseudalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	Jaksic et al. 1993, 1997, Castro et al. 1994, CONAF 1998, Salvatori et al. 1999	M
Mustelidae			
<i>Galictis cuja</i>	Quique	CONAF 1998	Todo
<i>Conepatus chinga</i>	Chingue	CONAF 1998	Todo
<i>Lutra felina</i>	Chungungo	CONAF 1998	Todo
Felidae			

Taxa	Nombre vernáculo	Fuente	Área
<i>Puma concolor</i>	Puma	CONAF 1998	Todo
<i>Lynchailurus colocolo</i>	Gato colocolo	Schamberger & Fulk 1974, CONAF 1998	M
Otariidae			
<i>Otaria byronia</i>	Lobo marino de un pelo	CONAF 1998	Todo
Artiodactyla Camelidae			
<i>Lama guanicoe</i>	Guanaco	CONAF 1998	Todo
Lagomorpha Leporidae			
<i>Lepus capensis</i>	Liebre	Meserve et al. 1987, CONAF 1998	M
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Conejo	Meserve et al. 1987, CONAF 1998	M

Estudio descriptivo

Dentro de esta categoría cae el Plan de Manejo del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, realizado por la Corporación Nacional Forestal (1998), en donde se listan las especies presentes en el Parque.

Estudios de ecología fisiológica

Meserve (1978) fue el primero en investigar la dependencia hídrica en dos especies de roedores chilenos presentes en el Parque (*Phyllotis darwini* y *Abrothrix olivaceus*). Este autor destacó que a pesar de que ambas especies son dependientes del agua, *P. darwini* manifiesta una mayor independencia del recurso.

Cortés et al. (1994) estudiaron el balance hídrico en seis especies de micromamíferos (Tabla 5). Estos autores encontraron que el balance hídrico de las cinco especies de roedores estudiadas manifiesta un marcado ciclo anual, siendo más negativo en las estaciones secas. Sin embargo, el único marsupial estudiado no demuestra un patrón estacional claro. A pesar de que las seis especies coinciden en tener altas concentraciones osmóticas durante las épocas más secas, no superan los máximos a que ellas pueden concentrar orina en sus riñones. En un trabajo posterior, Cortés et al. (2000) compararon la relación entre la pérdida de agua por evaporación y la producción de agua metabólica en las mismas cinco especies de roedores del trabajo antes mencionado (Tabla 5). La innovación de este trabajo fue la evaluación del costo energético del balance hídrico para estas especies, comparándolas con especies que habitan en otros ambientes. En general, el costo energético para la mantención del balance hídrico fue menor en roedores que se encuentran en ambientes xéricos que aquellos que habitan ambientes méxicos. Por lo tanto, este menor costo sería una adaptación para la conservación del agua.

Estudios de ecología conductual

Lagos (1993) y Lagos et al. (1995a, 1995b) documentaron el efecto de un factor biótico (depredación) y de un factor abiótico (temperatura ambiental), sobre el uso del espacio en el roedor *Octodon degus*. Estos autores documentaron igual uso de

espacios fuera y bajo arbustos en tratamientos sin depredadores y mayor uso de espacio bajo arbustos en tratamientos con depredadores. Respecto del uso de caminos, estos eran más largos y menos rectos en los sitios sin depredadores que con depredadores. En cuanto al efecto de la temperatura ambiental, este roedor restringió el uso del espacio a microhábitats bajo arbustos, donde la temperatura es más baja que en los espacios abiertos durante la época estival. *Octodon degus* entra rápidamente en hipertermia cuando la temperatura del aire es igual o superior a los 30° C.

Sólo un trabajo ha estudiado la actividad, organización e interacción social del zorro *Pseudalopex culpaeus*. Salvatori et al. (1999) examinaron los patrones de actividad y monitorearon la población de culpeos entre octubre de 1993 y octubre de 1994, mediante radiotelemetría. El ámbito de hogar promedio de individuos adultos fue 3.7 km². El ámbito de hogar de las hembras fue tres veces mayor al de los machos; todos los individuos fueron más activos durante la noche. A pesar de la alta sobreposición espacial del ámbito de hogar de la mayoría de los individuos, éstos no usaron las mismas áreas simultáneamente. El efecto de la baja disponibilidad de presas se manifestó tanto sobre los desplazamientos diarios como sobre la actividad de los zorros. En el primer caso los zorros ampliaron sus desplazamientos sobrepasando en algunos casos los límites del Parque, y en el segundo caso, los zorros fueron menos activos durante la noche.

Estudios de ecología trófica

Meserve (1981a, 1981b) describió los hábitos alimentarios, uso del tiempo y del hábitat de seis especies roedores y un marsupial (Tabla 5). Los principales resultados indican que habría dos especies granívoras, dos folívoras, dos insectívoras y una omnívora. Respecto al período de actividad existen especies desde estrictamente diurnas hasta estrictamente nocturnas, con gradaciones intermedias. Por otro lado, casi todas las especies están asociadas al uso del espacio bajo los arbustos. Finalmente, Meserve (1981b) concluyó que la competencia interespecífica generaba los patrones comunitarios y que el riesgo a la depredación generaba los patrones tróficos y temporales.

Gutiérrez & Bozinovic (1998) realizan un estudio de laboratorio sobre selectividad dietaria en *Octodon degus*. Sus resultados muestran que el consumo de las especies vegetales no dependería de la abundancia de ellas, sino más bien estaría relacionada con su calidad nutricional. Este fenómeno se traduciría en una conducta trófica de constante búsqueda de la vegetación que aporta el mayor retorno energético.

Meserve et al. (1987), documentaron la composición dietaria del cánido *Pseudalopex culpaeus* (zorro culpeo), indicando una fuerte selectividad por *Octodon degus* y *Abrocoma bennetti*, a pesar de no ser las presas más abundantes en terreno. De igual manera, Jaksic et al. (1993) mostraron que el zorro responde de manera numérica, pero no funcional ante el cambio de la abundancia de presas micromamíferos.

A pesar de que el consumo de frutos por parte del zorro ha sido documentado desde los primeros trabajos realizados en el parque, sólo Castro et al. (1994) estudiaron el papel del zorro culpeo como dispersor de semillas de pimiento (*Schinus molle*). Estos autores encontraron que los mayores índices de frugivoría se producen

sólo cuando la disponibilidad de presas micromamíferos está por debajo de 10 individuos/ha. Además, describen que el zorro aumenta la tasa de germinación de las semillas de pimiento, favoreciendo con ello la eficiencia de la dispersión de semillas.

Jaksic et al. (1997) investigaron la respuesta de los depredadores al evento El Niño durante un período de 5,5 años. Estos autores documentaron que *P. culpaeus* selecciona positivamente a la presa *Abrocoma bennetti*, mientras que subconsume a las presas *Abrothrix longipilis*, *Abrothrix olivaceus* y *Thylamys elegans*. Mencionan además que el zorro responde numéricamente a la disponibilidad de presas.

Estudios de ecología poblacional

La primera aproximación a este tipo de estudio fue realizada por Schamberger & Fulk (1974), quienes informaron los mamíferos presentes en el Parque (Tabla 5). Fulk (1975) realizó un seguimiento de la plaga de roedores ocurrida entre los años 1972-73, durante la cual dos especies (*Phyllotis darwini* y *Abrothrix olivaceus*) aumentaron su densidad de forma extraordinaria.

Meserve & Glanz (1978) analizaron las abundancias de especies de micromamíferos de nueve localidades entre la II y V Región. Respecto de Fray Jorge, destacan la presencia de cinco especies de cricétidos, un caviomófo y un marsupial (Tabla 5). Además, realizaron una representación gráfica de los hábitos alimentarios de las especies, destacando la similitud trófica entre las distintas localidades analizadas.

Meserve et al. (1984), en un trabajo comparativo entre las localidades de La Dehesa (Región Metropolitana) y Fray Jorge, estudiaron la biología poblacional y reproductiva de roedor *Octodon degus*. La dieta de los individuos de Fray Jorge estuvo compuesta principalmente por follaje, semillas, y tejidos conectivos de arbustos. Estos autores destacaron la similitud demográfica de los degus de ambos sitios, a pesar de las diferencias en los períodos reproductivos, hábitos alimentarios y asociación al hábitat.

Meserve & Le Boulengé (1987) estudiaron las poblaciones de pequeños mamíferos durante 17 meses, como continuación del estudio pionero de Fulk (1975). Los principales resultados se relacionan con la actividad reproductiva de tres especies de cricétidos y una especie de caviomorfo (Tabla 5), resaltando su marcada actividad reproductiva estacional. A pesar de existir fluctuaciones numéricas y proporcionales de las especies, fue notable la mantención constante de los números totales.

Las tendencias poblacionales mensuales de micromamíferos entre los años 1989-1993, cubriendo un período pre y post evento El Niño, fueron investigadas por Meserve et al. (1995). Sus resultados indican que las siete especies de micromamíferos (Tabla 5) presentes aumentaron sus abundancias en respuesta al evento El Niño que ocurrió en 1991-1992. *Abrothrix olivaceus* lo hizo inmediatamente en el año 1991, en cambio, *Octodon degus*, un año más tarde. El resto de las especies manifestó un retraso intermedio en su respuesta demográfica.

Estudios de ecología comunitaria

Meserve et al. (1993a) analizaron el efecto de la depredación sobre la demografía del roedor *Octodon degus*, usando un diseño experimental en donde excluían a los depredadores aéreos y terrestres (ver Capítulo 7). Sus resultados indican que esta especie responde a la exclusión de depredadores, aumentando su abundancia y sobrevivencia. En una publicación posterior (Meserve et al 1993b), los autores utilizaron el mismo diseño experimental anterior, pero esta vez excluyeron a *Octodon degus* con el propósito de observar la respuesta del resto de los micromamíferos. Sus resultados indican que hubo un aumento del número de pequeños mamíferos y plantas, pero asociado al evento El Niño ocurrido en 1991-92, y no al efecto de las exclusiones.

Meserve et al. (1996) realizaron una síntesis de la investigación realizada entre 1989-1993. Analizaron tanto la interacción entre los micromamíferos (Tabla 5) como entre éstos y sus depredadores. Concluyeron que la depredación tiene un efecto importante sobre los micromamíferos, sobre todo en la sobrevivencia. Sin embargo, la magnitud de la depredación dependería de las características demográficas de las presas. Las presas más grandes y abundantes son afectadas más por depredación que por competencia. En tanto que las pequeñas o escasas no demuestran tan claramente dichos efectos. Meserve et al. (1999), en una ampliación de la escala temporal analizada (1989-1996), documentaron un aumento en la abundancia de *O. degus*, *P. darwini* y *A. bennetti* en respuesta a la exclusión de depredadores. Al evaluar este efecto sobre las especies *A. olivaceus*, *A. longipilis* y *O. longicaudatus*, ellas no manifestaron cambios en sus abundancias. La competencia por *O. degus* sólo tuvo efectos significativos sobre *O. longicaudatus*. Todas las especies exhibieron fuertes aumentos frente al evento El Niño 1991-1992, sugiriendo un control por la productividad primaria.

Gutiérrez et al. (1997) y Gutiérrez & Meserve (2000) evaluaron el efecto de la exclusión de *Octodon degus* y depredadores sobre la densidad y biomasa de plantas. Señalaron que la composición de la comunidad vegetal fue afectada en mayor proporción por factores abióticos. Los factores bióticos (herbivoría y depredación) sólo tuvo efecto sobre algunas especies. Por otra parte, la exclusión de herbívoros estuvo asociada al incremento de la cobertura de algunos arbustos y pastos perennes, y al decrecimiento de la cobertura y densidad de semillas de algunas especies herbáceas anuales.

Meserve et al. (2001) estudiaron el efecto de la adición de alimento durante periodos de sequía, con el propósito de evaluar la respuesta del ensamble de micromamíferos ante el aumento artificial de la productividad primaria. Los roedores *Abrothrix longipilis* y *Oligoryzomys longicaudatus* y el marsupial *Thylamys elegans* no mostraron respuestas demográficas a la adición de alimento. En cambio, durante el primer año de experimento, *Octodon degus*, *Phyllotis darwini* y *Abrothrix olivaceus* respondieron positivamente a la adición de alimento. Sin embargo, hacia finales del segundo año, estas tres especies disminuyeron en su abundancia (ver Capítulo 7).

CONCLUSIONES

Desde hace 40 años (1963 a la fecha) que se han publicado estudios sobre la fauna del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. A partir de 1989 comenzó a desarrollarse un

estudio de largo plazo en el Parque. Esto ha tenido como consecuencia que Fray Jorge esté dentro de los Parques Nacionales más estudiados, con 39 publicaciones a la fecha. Es destacable mencionar que el conocimiento que se tiene actualmente en Chile sobre el ecosistema de zonas semiáridas, ha sido gracias al aporte de estudios realizados en gran parte en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge.

A pesar del interés que ha generado el bosque hidrófilo relictivo del Parque, sólo se han realizado estudios descriptivos de insectos y dos estudios en un contexto ecológico contemporáneo. De hecho, las áreas del Parque más investigadas corresponden a la zona denominada matorral, específicamente al sector denominado Quebrada de las Vacas. En esta área, los mamíferos y las aves son los grupos mejor conocidos, particularmente el de los micromamíferos, zorros y aves rapaces. Al contrario, sólo se sabe de la presencia de anfibios, reptiles, paseriformes y mustélidos, sin que hasta la fecha se hayan realizado estudios específicos con respecto a estos grupos. Algo similar ocurre con la fauna presente en los otros ambientes del Parque (e.g. matorral ribereño, planicie costera y bosque).

AGRADECIMIENTOS

FM Jaksic agradece a Proyecto Fondap-FONDECYT 1501-0001.

LITERATURA CITADA

- ARAYA B, M BERNAL, R SCHLATTER & M SALLABERRY (1995) Lista patrón de las aves chilenas. Tercera edición. Santiago, Chile. 35 pp.
- BARBOSA O & PA MARQUET (2002) Effects of forest fragmentation on the beetle assemblage at the relict forest of Fray Jorge, Chile. *Oecologia* 132: 296-306.
- CASTRO SA, SI SILVA, PL MESERVE, JR GUTIÉRREZ, LC CONTRERAS & FM JAKSIC (1994) Frugivoría y dispersión de semillas de pimiento (*Schinus molle*) por el zorro culpeo (*Pseudalopex culpaeus*) en el Parque Nacional Fray Jorge (IV Región, Chile). *Revista Chilena de Historia Natural* 67: 169-176.
- CONAF (1998) Plan de Manejo Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Documento de trabajo N° 297. República de Chile, Ministerio de Agricultura. Corporación Nacional Forestal IV Región, Coquimbo, Chile.
- CORNELIUS C, H COFRÉ & PM MARQUET (2000) Effects of habitat fragmentation on birds species in a relict temperate forest in semiarid Chile. *Conservation Biology* 14: 534-543.
- CORTÉS A, C PINO & M ROSENMAN (1994) Balance hídrico del ensamble de micromamíferos de dos localidades de la región mediterránea árida del norte de Chile central: un estudio de campo. *Revista Chilena de Historia Natural* 67: 65-77.
- CORTÉS A, M ROSENMAN & F BOZINOVIC (2000) Water economy in rodents: evaporative water loss and metabolic water production. *Revista Chilena de Historia Natural* 73: 311-321.
- COVARRUBIAS R, I RUBIO & F DI CASTRI (1964) Observaciones ecológico-cuantitativas sobre la fauna edáfica de zonas semiáridas del norte de Chile (Provincias de Coquimbo y Aconcagua). *Boletín de Producción Animal, Serie A* N° 2. 113 pp.
- FULK GW (1975) Population ecology of rodents in the semiarid shrublands of Chile. *Texas Tech University, The Museum, Occasional Papers* 33: 1-40.

- FULK GW (1976) Owl predation and rodent mortality: a case study. *Mammalia* 40: 423-427.
- GUTIÉRREZ JR & F BOZINOVIC (1998) Diet selection in captivity by a generalist herbivorous rodent (*Octodon degus*) from the Chilean coastal desert. *Journal of Arid Environments* 39: 601-607.
- GUTIÉRREZ JR & PL MESERVE (2000) Density and biomass responses of ephemeral plants to experimental exclusions of small mammals and their vertebrate predators in the Chilean semiarid zone. *Journal of Arid Environments* 45: 173-181.
- GUTIÉRREZ JR, PL MESERVE, S HERRERA, LC CONTRERAS & FM JAKSIC (1997) Effects of small mammals and vertebrate predators on vegetation in the Chilean semiarid zone. *Oecologia* 109: 398-406.
- JAKSIC FM (1997) *Ecología de los vertebrados de Chile*. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago. 262 pp.
- JAKSIC FM, PL MESERVE, JR GUTIÉRREZ & EL TABILO (1993) The components of predation on small mammals in semiarid Chile: preliminary results. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 305-321.
- JAKSIC FM, SI SILVA, PL MESERVE & JR GUTIÉRREZ (1997) A long-term study of vertebrate predator responses to an El Niño (ENSO) disturbance in western South America. *Oikos* 78: 341-354.
- KELT DA, LK NABORS & ML FORISTER (2002) Size-specific differences in tail loss and escape behavior in *Liolaemus nigromaculatus*. *Journal of Herpetology* 36: 322-325.
- LAGOS V (1993) Riesgo de depredación y temperatura ambiente como determinantes del uso de espacio por *Octodon degus*: un estudio de campo. Tesis de Magister, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, xi + 72 pp.
- LAGOS VO, F BOZINOVIC & LC CONTRERAS (1995a) Microhabitat use by a small diurnal rodent (*Octodon degus*) in a semiarid environment: thermoregulatory constraints or predation risk? *Journal of Mammalogy* 76: 900-905.
- LAGOS VO, LC CONTRERAS, PL MESERVE, JR GUTIÉRREZ & FM JAKSIC (1995b) Effects of predation risk on space use by small mammals: a field experiment with a Neotropical rodent. *Oikos* 74: 259-264.
- MESERVE PL (1978) Water dependence in some Chilean arid zone rodents. *Journal of Mammalogy* 59: 217-219.
- MESERVE PL (1981a) Resource partitioning in a Chilean semi-arid small mammal community. *Journal of Animal Ecology* 50: 745-757.
- MESERVE PL (1981b) Trophic relationships among small mammals in a Chilean semiarid thorn scrub community. *Journal of Mammalogy* 62: 304-314.
- MESERVE PL & WE GLANZ (1978) Geographical ecology of small mammals in the northern Chilean arid zone. *Journal of Biogeography* 5: 135-148.
- MESERVE PL & E LE BOULENGÉ (1987) Population dynamics and ecology of small mammals in the northern Chilean semiarid region. En: BD Patterson & RM Timm (eds) *Studies in neotropical mammalogy: essays in honor of Philip Hershkovitz*: 413-431 *Fieldiana Zoology, New Series* 39. vii + 506 pp.
- MESERVE PL, RE MARTIN & J RODRÍGUEZ (1984) Comparative ecology of the caviomorph rodent *Octodon degus* in two Chilean mediterranean-type communities. *Revista Chilena de Historia Natural* 57: 79-89.
- MESERVE LO, EJ SHADRICK & DA KELT (1987) Diet and selectivity of two Chilean predators in the northern semi-arid zone. *Revista chilena de Historia Natural* 60: 93-99.

- MESERVE PL, JR GUTIÉRREZ & FM JAKSIC (1993a) Effects of vertebrate predation on a caviomorph rodent, the degu (*Octodon degus*), in a semiarid thorn scrub community in Chile. *Oecologia* 94: 153-158.
- MESERVE PL, JR GUTIÉRREZ, LC CONTRERAS & FM JAKSIC (1993b) Role of biotic interactions in a semiarid scrub community in north-central Chile: a long term ecological experiment. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 225-241.
- MESERVE PL, JA YUNGER, JR GUTIÉRREZ, LC CONTRERAS, WB MILSTEAD, BK LANG, KL CRAMER, S HERRERA, VO LAGOS, SI SILVA, EL TABILO, MA TORREALBA AND FM JAKSIC (1995) Heterogeneous responses of small mammals to an El Niño Southern Oscillation event in northcentral semiarid Chile and the importance of ecological scale. *Journal of Mammalogy* 76: 580-595.
- MESERVE PL, JR GUTIÉRREZ, JA YUNGER, LC CONTRERAS & FM JAKSIC (1996) Role of biotic interactions in a small mammal assemblage in semiarid Chile. *Ecology* 77: 133-148.
- MESERVE PL, WB MILSTEAD, JR GUTIÉRREZ & FM JAKSIC (1999) The interplay of biotic and abiotic factors in a semiarid Chilean mammal assemblage: results of a long-term experiment. *Oikos* 85: 364-372.
- MESERVE PL, WB MILSTEAD & JR GUTIÉRREZ (2001) Results of a food addition experiment in a north-central Chile small mammal assemblage: evidence for the role of "bottom-up" factors. *Oikos* 94: 548-556.
- SAIZ F (1963) Estudios sinecológicos sobre artrópodos terrestres en el bosque Fray Jorge. *Investigaciones Zoológicas Chilenas* 9: 151-162.
- SAIZ F (1969) Clave para la determinación de Estafilínidos (Coleoptera) del Parque Nacional Fray Jorge. *Noticiero Mensual del Museo de Historia Natural de Chile* 16: 8-12.
- SAIZ F (1971) Notas ecológicas sobre los estafilinidos coleoptera del Parque Nacional "Fray Jorge", Chile. *Boletín del Museo de Historia Natural de Chile* 32: 67-97.
- SAIZ F (1975) Coleopteros epígeos del Parque Nacional "Fray Jorge": aspectos ecológicos y biogeográficos. *Boletín del Museo de Historia Natural de Chile* 34: 137-171.
- SALVATORI V, G VAGLIO-LAURIN, PL MESERVE, L BOITANI & A CAMPANELLA (1999) Spatial organization, activity, and social interactions of culpeo foxes (*Pseudalopex culpaeus*) in north-central Chile. *Journal of Mammalogy* 80: 980-985.
- SCHAMBERGER M & GW FULK (1974) Mamíferos del Parque Nacional Fray Jorge. *Idesia (Chile)* 3: 167-179.
- SILVA SI, I LAZO, E SILVA-ARANGUIZ, FM JAKSIC, PL MESERVE & JR GUTIÉRREZ (1995) Numerical and functional response of burrowing owls to long-term mammal fluctuations in Chile. *Journal of Raptor Research* 29: 250-255.
- SIMONETTI JA, MTK ARROYO, AE SPOTORNO & E LOZADA (1995) *Diversidad Biológica de Chile*. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, Santiago. Xii + 364 pp.
- TALA C & J MUSSA (1995) Observación de peuquito (*Accipiter bicolor chilensis*, Philippi y Landbeck, 1864) en el Parque Nacional Fray Jorge, IV Región. *Boletín Chileno de Ornitología* 2: 24-25.
- VELOSO A & J NAVARRO (1988) Lista sistemática y distribución geográfica de anfibios y reptiles de Chile. *Bollettino del Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino* 6: 481-539.

Capítulo 6

Estructura y dinámica de la vegetación del ecosistema semiárido del Parque Nacional Bosque Fray Jorge entre 1989 y 2002.

JULIO R. GUTIÉRREZ, PETER L. MESERVE & DOUGLAS A. KELT

RESUMEN

Se informa de los valores de cobertura de plantas arbustivas y herbáceas en la Quebrada de Las Vacas (ecosistema semiárido) del Parque Nacional Bosque Fray Jorge desde 1989 hasta el 2002 (14 años de datos). Esta es una de las series continuas de observación de la vegetación más largas registradas en el país. Durante este intervalo de tiempo han ocurrido tres eventos El Niño (1991-1992, 1997, 2002) y un evento La Niña (1998) con efectos notables en las precipitaciones de esos años. Asociados a los eventos El Niño hay precipitaciones hasta tres veces superiores al promedio, mientras que durante el evento de La Niña la precipitación alcanzó sólo 2 mm en el Parque. Las precipitaciones tuvieron un efecto notable sobre la cobertura de la vegetación herbácea anual, especialmente de aquellas especies restringidas a las áreas bajo los arbustos. El efecto de las precipitaciones sobre la cobertura de la vegetación arbustiva fue menor, permaneciendo alrededor de 60% durante todo el período de monitoreo.

Palabras Clave: plantas efímeras, herbáceas anuales, herbáceas perennes, ENOS, zonas áridas

INTRODUCCIÓN

El ambiente árido del Norte Grande y Norte Chico de Chile (entre 18° y 32°S) es causado por un régimen climático dominado por la corriente fría de Humboldt que se mueve de sur a norte y por un centro de alta presión en el Océano Pacífico Occidental que impide el movimiento hacia el norte de tormentas excepto en algunos inviernos. Las condiciones atmosféricas, influenciadas por un anticiclón subtropical estable, resulta en un clima costero uniforme templado con lluvias escasas (Rundel et al. 1991). La corriente de Humboldt produce una anomalía térmica negativa, lo que resulta en temperaturas 3-5°C más bajas que las esperadas para la correspondiente latitud así como también temperaturas altamente uniformes (Ochsenius 1982). La geomorfología del área costera está dominada por la Cordillera de la Costa (ver Capítulo 3). Es usual la presencia de una densa cobertura de nubes estratus por debajo de los 1.000 m durante los meses de invierno. Cuando las laderas abruptas de la Cordillera de la Costa interceptan estas nubes, se desarrolla una zona de neblinas. Esta humedad permite incluso la permanencia de comunidades boscosas como es el caso del bosque de Fray Jorge.

Aunque alrededor de un tercio de la superficie de Chile se puede considerar como desierto o semi-desierto, sólo unos pocos sitios se han establecido como reservas protegidas. Una parte significativa de la vegetación original de la región árida y semiárida de Chile ha sido destruida por actividades humanas. Las plantas leñosas se han utilizado intensiva y extensivamente como combustible para casas y actividades mineras durante los últimos dos siglos (Solbrig 1984). La agricultura de secano en pendientes pronunciadas y el sobrepastoreo por ovejas y cabras han contribuido al proceso de la desertificación sobre una gran porción del Norte Chico (Fuentes & Hajek 1978, 1979, Solbrig 1984). Los Parques Nacionales Bosque Fray Jorge (30°38'S), Llanos de Challe (28°09'S) y Pan de Azúcar (26°07'S) son las únicas tres áreas del desierto costero en la categoría de parques bajo la administración de la Corporación Nacional Forestal. La superficie de estos tres parques combinados representan menos del 1,0% del total del área costera desértica de Chile (Lagos et al. 2001). Estos sitios protegidos, sin embargo, contienen una gran proporción de la flora nativa de la región (Squeo et al. 2001).

El Parque Nacional Bosque Fray Jorge posee una superficie de 9.959 ha, cubiertas con vegetación arbustiva espinosa y parches de bosques relictos (remanentes) en la zona con influencia de neblinas (ver Capítulo 9). El Parque está protegido del pastoreo y alteración humana desde 1941 (Muñoz & Pisano 1947). Este parque está en el límite norte de la zona mediterránea de Chile y en el borde sur del desierto de Atacama, por lo que es una zona transicional donde convergen representantes florísticos de la zona central y norte de Chile. El bosque de Olivillo – Petrillo - Canelo, que comprende sólo 86,8 ha del total del área protegida (Capítulo 8), ha sido objeto de numerosos estudios florísticos y fitogeográficos (Philippi 1884, Looser 1935, Muñoz & Pisano 1947, Skottberg 1950, Schmithusen 1956, Villagrán & Armesto 1980, Troncoso et al. 1980). Se ha puesto bastante menos atención a la vegetación arbustiva espinosa que rodea al bosque. La composición florística de este arbustal espinoso se ha descrito en detalle (Muñoz & Pisano 1947, Skottberg 1950), pero se conoce poco sobre la estructura y dinámica de la vegetación, es decir, cual es la abundancia de las especies de plantas y los cambios que experimenta esta abundancia a través del tiempo. El principal objetivo de este capítulo es describir la composición florística y la abundancia (medida como cobertura del dosel) de las especies de plantas a través del tiempo en una comunidad representativa del arbustal espinoso en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Los censos de la vegetación se realizaron durante 14 años (1989-2002) en la misma área donde anteriormente Fulk (1975), Meserve (1981a,b) y Meserve & Le Boulangé (1987) realizaron estudios demográficos de micromamíferos (p. ej. roedores).

SITIO DE ESTUDIO

El sitio de estudio es un valle (Quebrada de Las Vacas, 230 m de altitud) que tiene una orientación norte-sur y que está en la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge (30°38'S, 71°40'O; Fray Jorge de aquí en adelante), alrededor de 5 km al este de la línea costera del Océano Pacífico (Fig. 1). El clima es semiárido mediterráneo, con 90% de las precipitaciones en los meses de invierno (Mayo-Septiembre). Los meses del verano son cálidos y secos, pero la neblina costera contribuye con humedad adicional durante muchos meses (Kummerow 1966). La temperatura máxima promedio en el mes más caluroso (Enero) es 24°C, y la temperatura mínima promedio del mes más frío (Julio) es 4°C. Los datos climáticos previos a 1998 provienen de la Estación Meteorológica del Parque que está ubicada a 2 km al este del sitio de estudio, y los datos posteriores a

1998 provienen de la Estación Meteorológica instalada en el sitio de estudio. Una característica importante de esta región es la variación interanual extrema en las precipitaciones. Por ejemplo, entre 1928-1946, en Talinay (10 km al sur de Fray Jorge), la precipitación promedio anual fue 209,4 mm (Muñoz & Pisano 1947). Antes de 1965, la precipitación promedio anual en Fray Jorge fue alrededor de 127 mm. En 1965 se registró una precipitación anual excepcionalmente alta de 326 mm (Kummerow 1966). Entre 1969 y 1976 la precipitación promedio anual fue de 68,9 mm (Meserve & Le Boulangé 1987). Los patrones de precipitación en la región muestran actualmente una periodicidad de aproximadamente 3-4 años; un año lluvioso es seguido por 2-3 años con lluvias escasas o en el promedio. Años lluviosos a lo largo de la costa del Pacífico se han asociado al fenómeno de El Niño – Oscilación del Sur (ENOS) (Dillon & Rundel 1990), es decir, perturbaciones infrecuentes pero recurrentes de las corrientes meteorológicas y marinas normales de la cuenca del Pacífico Tropical (Graham & White 1988). Cuando ocurren estas condiciones, las aguas costeras se calientan considerablemente durante los meses de invierno, rompiendo la inversión térmica permitiendo la intrusión de masas de aire húmedo del Pacífico (Rundel et al. 1991).



Fig. 1. Vista panorámica de la Quebrada de Las Vacas, Parque Nacional Bosque Fray Jorge, IV Región, Chile.

La comunidad vegetal general está caracterizada por arbustos esclerófilos siempreverde y deciduos de sequía espinosos de 2-3 m de altura, con una cubierta herbácea de plantas efímeras (anuales y geófitas) y algunas gramíneas perennes. La comunidad específica que ocupa el valle donde este estudio se realizó se ha denominado asociación *Porlieria chilensis-Adesmia bedwellii-Proustia cuneifolia* (= *P. pungens*) que son los arbustos más abundantes (Muñoz & Pisano 1947). La flora de esta región combina elementos de las laderas secas andinas occidentales con unas pocas especies del Desierto de El Monte de el lado opuesto de los Andes (Sarmiento 1975).

MÉTODOS

Para determinar la cobertura de plantas herbáceas perennes y arbustos, usamos cuatro parcelas de 75 x 75 m localizadas al azar en un área de 4 km². Dentro de cada parcela dispusimos cuatro líneas paralelas permanentes separadas por 15 m. En cada línea se marcaron 150 puntos a intervalos de 50 cm. Estas líneas se censaron cada tres meses (en Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre) usando la técnica de punto interceptado (Mueller-Dombois & Elleberg 1974). Para medir la cobertura de hierbas anuales y geófitas (plantas con bulbos subterráneos), se aplicó la técnica de punto interceptado a 10 segmentos de 1,5 m seleccionados al azar a lo largo de las líneas permanentes cada mes durante la estación de crecimiento (invierno-primavera). Cada segmento de 1,5 m fue subdividido en 30 puntos separados a intervalos de 5 cm. Esta técnica de muestreo es consistente con el corto ciclo de vida y recambio de especies de hierbas anuales observada en otras regiones áridas (Gutiérrez & Whitford 1987a). Los resultados mostrados en este capítulo corresponden al mes de Diciembre para los arbustos y hierbas perennes y al valor de máxima cobertura alcanzada en cada año por las plantas efímeras.

RESULTADOS

Precipitación anual

La precipitación anual fue altamente variable en el sitio de estudio (Fig. 2). Esta fue desde tan bajo como 2 mm en 1998 cuando ocurrió un evento La Niña hasta 339 mm en 2002 cuando ocurrió un evento ENOS (El Niño – Oscilación del Sur).

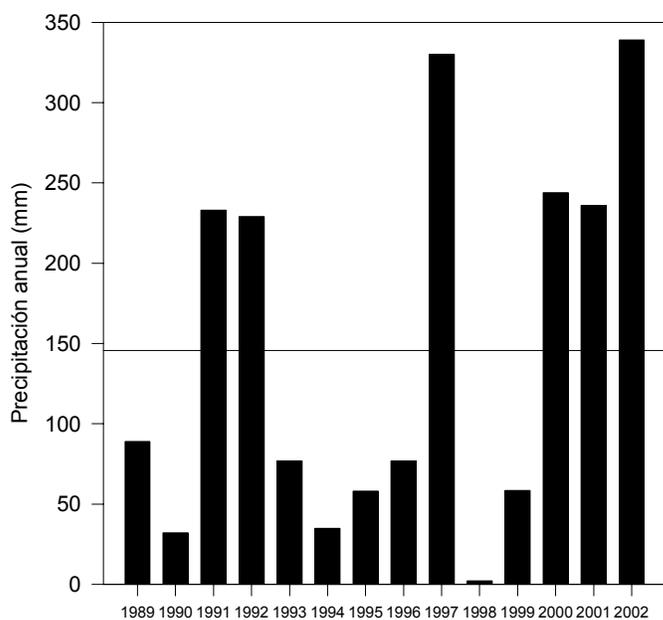


Fig. 2. Precipitaciones anuales desde 1989 hasta 2002 en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge, IV Región Chile. Promedio 145,4 mm.

La precipitación promedio anual para los 14 años de estudio fue de $145,4 \pm 31,3$ (1 E.E.) mm que es más alto que lo informado para las décadas entre 1960 y 1990 con valores inferiores a 100 mm (Gutiérrez et al. 1993a); esto fundamentalmente por que durante estos 14 años hemos tenido tres eventos ENOS (1991-1992, 1997 y 2002). En esos años las precipitaciones anuales fueron de 233, 229, 330 y 339 mm, respectivamente. Llama la atención que los años 2000 y 2001, a pesar de no ser formalmente reconocidos como años ENOS, las precipitaciones anuales fueron de 244 y 236 mm, respectivamente. En ocho de los catorce años la precipitación anual fue menos de 100 mm (Fig. 2).

Arbustos y gramíneas perennes

Las especies se agruparon según las formas de vida definidas por Raunkier (Whittaker 1975), la que considera la posición del tejido perenne (que sobrevive las estaciones desfavorables y da origen a nuevos tejidos durante las estaciones favorables) en relación a la superficie del suelo. Las fanerófitas (arbustos leñosos con sus yemas por sobre los 25 cm de altura) y las caméfitas (semiarbustos con sus yemas por sobre el suelo pero por debajo de 25 cm de altura) fueron las formas de vida más abundantes en la comunidad (Tabla 1). La cobertura de las fanerófitas fue entre 41 y 51% no habiendo una relación significativa entre cobertura y precipitaciones. La cobertura de las caméfitas ha experimentado un importante aumento a partir del año 2000 (26-32%) y similar al que ocurrió en 1992-1993 (23-24%), es decir, después de al menos dos años consecutivos con precipitaciones superiores a los 200 mm. La diferente respuesta de estas dos formas de vida podría estar asociada con sus sistemas radiculares y las fuentes de agua utilizadas. Las fanerófitas principales (*Porlieria chilensis*, *Adesmia bedwellii* y *Proustia cuneifolia*) poseen sistemas radiculares profundos (Squeo & Gutiérrez, datos no publ.) lo que les permite utilizar aguas subterráneas, mientras que las caméfitas (*Chenopodium petiolare*, *Baccharis paniculata*) es muy probable que tengan sistemas radiculares más superficiales utilizando preferentemente el agua de lluvia. Otra forma de vida importante en el valle son las hemicriptofitas (con sus yemas a nivel del suelo) con coberturas entre 3-5%. Su ausencia en 1989-1990 es probablemente un error de muestreo.

Entre las fanerófitas, *Porlieria chilensis* (25-35% de cobertura), *Adesmia bedwellii* (3,4-4,9% de cobertura) y *Proustia cuneifolia* (4-9,2% de cobertura) fueron las especies dominantes. Estas especies caracterizan esta comunidad (Muñoz & Pisano 1947). *P. cuneifolia* es una especie arbustiva espinosa decidua de sequía, que incrementa su cobertura en los años lluviosos ($F_{(1,12)} = 12,59$; $P < 0,005$, Fig. 3) debido al desarrollo de hojas nuevas, rebrotes y nuevas plántulas. *Anisomeria littoralis* es un arbusto deciduo de sequía que no muestra una relación clara con las precipitaciones. Este especie se la encuentra frecuentemente creciendo entrelazada con *P. chilensis*. Sus frutos carnosos son probablemente dispersados por aves (aunque también son consumidos por zorros y lagartos, observación personal) y de ahí su ubicación tan característica. *Senna cumingii* var. *coquimbensis* es un arbusto semideciduo con coberturas entre 2-3%.

Entre las caméfitas, sólo el arbusto sufrutecente *Chenopodium petiolare* que usualmente se encuentra asociado a *P. chilensis*, tiene valores de cobertura sobre el 10% (6-28%). A contar del año 2000 su cobertura fue superior a 20% probablemente asociado a los tres años consecutivos de lluvia. Gutiérrez & Vásquez (1996) mostraron que la biomasa de esta especie aumenta en años lluviosos en Lagunillas,

Tabla 1. Porcentaje de cobertura promedio (1 E.E.) de plantas fanerofitas, camelifas, hemicriptofitas, enredaderas y suculentas en la Quebrada La Vacas, Parque Nacional Bosque de Fray Jorge entre 1989 y 2002.

ESPECIES*	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Fanerofitas														
<i>Adesmia bedwellii</i> Skottsb.	4,42 (2,00)	4,58 (2,53)	4,43 (2,37)	4,91 (2,85)	3,67 (1,64)	3,93 (2,18)	3,71 (2,01)	3,44 (2,00)	3,92 (2,29)	3,96 (2,29)	3,75 (2,12)	4,17 (2,37)	4,25 (2,37)	4,75 (2,70)
<i>Anisomeria litoralis</i> (P. et E.) Moq.	3,46 (1,58)	2,06 (1,05)	1,21 (0,27)	1,37 (0,54)	1,15 (0,52)	1,64 (0,66)	2,46 (1,15)	3,59 (1,46)	1,58 (0,56)	1,50 (0,61)	3,42 (1,81)	3,71 (2,04)	2,04 (0,93)	2,54 (1,36)
<i>Portleria chilensis</i> Johnston.	30,98 (4,28)	25,40 (6,40)	33,48 (4,06)	29,43 (1,27)	32,78 (3,21)	33,96 (3,09)	35,05 (4,47)	32,64 (2,99)	27,75 (2,57)	33,17 (2,96)	30,29 (4,12)	31,67 (4,70)	30,79 (4,38)	29,42 (3,74)
<i>Proustia cuneifolia</i> D Don fma. <i>cuneifolia</i>	5,23 (1,02)	6,13 (1,35)	9,22 (2,07)	8,52 (1,60)	4,60 (0,90)	3,99 (1,74)	5,77 (1,41)	7,32 (1,28)	7,13 (1,32)	5,75 (2,01)	6,46 (1,43)	8,75 (1,61)	8,04 (1,85)	7,58 (1,30)
<i>Senna cunningii</i> var. <i>coquimbensis</i> (Vogel)	0,65 (0,23)	3,15 (1,95)	3,00 (2,15)	2,74 (1,86)	4,75 (3,27)	2,66 (1,93)	2,50 (1,87)	2,51 (1,46)		2,25 (1,30)	2,58 (1,70)	2,88 (1,91)	2,96 (2,15)	3,21 (2,19)
Camelifas														
<i>Bahia ambrosioides</i> Lag.	0,29 (0,24)	0,83 (0,83)	0,87 (0,81)	0,83 (0,77)	0,60 (0,49)	0,86 (0,81)		0,51 (0,51)	0,58 (0,58)	0,13 (0,13)	0,17 (0,17)	0,46 (0,41)	0,33 (0,28)	0,54 (0,44)
<i>Baccharis paniculata</i> DC.	1,85 (1,14)	1,21 (0,67)	1,09 (0,54)	1,35 (1,03)	1,11 (0,89)	1,15 (0,78)	0,85 (0,44)	0,75 (0,69)	0,88 (0,76)	0,67 (0,50)	0,71 (0,65)	1,08 (0,92)	1,04 (0,93)	0,92 (0,86)
<i>Chenopodium petiolare</i> H.B.K.	11,20 (4,32)	18,72 (5,79)	13,06 (3,94)	19,07 (5,92)	9,27 (4,03)	8,72 (3,97)	6,22 (2,69)	10,28 (3,63)	15,58 (4,89)	15,00 (4,20)	16,29 (5,04)	24,17 (7,68)	26,96 (8,47)	27,75 (8,83)
<i>Erigeron</i> sp.				0,42 (0,42)			0,17 (0,17)				0,04 (0,04)	0,17 (0,17)	0,25 (0,25)	0,25 (0,25)
<i>Eupatorium schvia</i> Colla.			0,09 (0,09)	0,04 (0,04)		0,08 (0,08)	0,04 (0,04)				0,04 (0,04)	0,04 (0,04)	0,08 (0,08)	0,04 (0,04)
<i>Gutierrezia resinosa</i> (H. et A.) Blake			1,07 (0,70)	0,13 (0,13)	0,13 (0,13)				0,29 (0,29)	0,13 (0,13)	0,13 (0,13)	0,25 (0,25)	0,29 (0,29)	0,25 (0,25)

ESPECIES*	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<i>Haplopappus</i> sp.	0,41 (0,27)	0,32 (0,22)	0,44 (0,30)	0,48 (0,33)	0,31 (0,31)	0,52 (0,34)	0,48 (0,28)	0,40 (0,26)	0,58 (0,36)	0,42 (0,25)	0,38 (0,24)	0,46 (0,28)	0,46 (0,28)	0,50 (0,32)
<i>Senecio</i> sp.	0,05 (0,05)	0,14 (0,14)	0,13 (0,08)	0,75 (0,75)	0,35 (0,35)	0,13 (0,13)			2,88 (2,12)	0,04 (0,04)	0,03 (0,03)			
Hemicriptofitas														
<i>Nasella pubiflora</i> (Trin. et Rupr.) Desv.			3,23 (0,49)	4,64 (0,96)	3,32 (0,89)	1,89 (1,12)	3,73 (0,94)	3,80 (0,31)	1,33 (0,78)	4,88 (0,42)	3,38 (0,49)	5,12 (0,49)	4,17 (0,12)	4,00 (0,83)
<i>Stipa plumosa</i> Trin.			0,34 (0,34)	0,25 (0,25)	0,46 (0,26)	1,25 (0,67)	0,17 (0,17)	0,17 (0,17)	1,92 (1,14)	0,21 (0,21)	0,34 (0,28)	0,50 (0,35)	0,33 (0,33)	0,46 (0,36)
Suculentas														
<i>Echinopsis coquimbana</i> (Britton et Rose) A. Hoffmann	0,21 (0,17)	0,04 (0,04)	0,08 (0,08)	0,04 (0,04)	0,04 (0,04)	0,08 (0,08)	0,04 (0,04)	0,08 (0,08)		0,04 (0,04)	0,04 (0,04)	0,04 (0,04)		0,04 (0,04)
Enredadera														
<i>Tweedia confertiflora</i> (Dene.) Malme			0,13 (0,08)	0,04 (0,04)		0,13 (0,13)		0,04 (0,04)				0,13 (0,08)	0,13 (0,08)	
Fanerofitas	44,94 (5,00)	41,31 (6,19)	51,32 (6,66)	44,80 (6,47)	46,65 (8,65)	46,17 (7,26)	48,70 (4,19)	49,52 (4,02)	43,25 (6,39)	47,09 (2,66)	45,96 (4,69)	51,17 (5,45)	45,13 (4,35)	47,50 (5,86)
Caméfitas	13,80 (4,40)	21,26 (6,30)	16,74 (4,61)	23,63 (6,84)	24,00 (7,94)	11,46 (5,23)	9,95 (3,58)	11,94 (4,73)	17,92 (5,48)	16,42 (4,41)	18,13 (4,83)	26,63 (7,98)	32,38 (10,60)	30,29 (9,31)
Hemicriptofitas	0	0	3,56 (0,22)	4,53 (1,48)	2,55 (0,69)	3,14 (0,96)	2,59 (0,65)	3,96 (0,28)	3,25 (0,45)	5,08 (0,48)	3,71 (0,39)	5,67 (0,57)	4,50 (0,45)	5,04 (1,06)
Cobertura Total	58,56 (3,05)	49,49 (2,68)	59,17 (4,90)	58,96 (4,36)	54,85 (1,81)	55,35 (5,04)	50,78 (6,57)	50,88 (3,59)	64,42 (8,61)	56,29 (1,27)	53,46 (4,16)	57,85 (5,08)	56,54 (7,29)	56,92 (7,07)

*I.a nomenclatura de las especies según Muñoz & Pisano (1947), Hoffmann (1989), Marticorena & Quezada (1985), Marticorena et al. (2001)

15 km al sur de Coquimbo. Excepto por *Baccharis paniculata*, la cobertura de las otras especies de camefitas estuvieron por debajo del 1%. Las hemcriptofitas estuvieron representadas por dos gramíneas perennes (*Nasella pubiflora* y *Stipa plumosa*). El grupo de las suculentas estuvo representado por el cactus columnar *Equinopsis coquimbana*. Se encontró una enredadera leñosa en los muestreos de algunos años (*Tweedia confertiflora*).

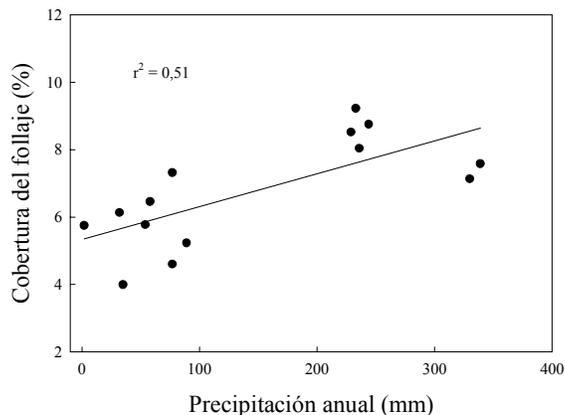


Fig. 3. Relación entre la cobertura del follaje de *Proustia cuneifolia* y las precipitaciones anuales en la Quebrada de Las Vacas, Parque Nacional Bosque Fray Jorge, IV Región, Chile.

Un total de 17 especies de arbustos y gramíneas perennes se registraron en el período de estudio. La cobertura total fue entre 49 (1990) y 64 % (1997) con un promedio de $55,8 \pm 0,98$ (1 E.E.). La cobertura arbustiva promedio fue más alta que la documentada por Fulk (1975) para 1972 (44%), pero similar a la documentada por Muñoz & Pisano (1947) para 1947 (58,1%) y por Meserve (1981a) para 1974 (59,6%). Esto indica que para un período superior a los 50 años la cobertura de arbustos más las herbáceas perennes ha permanecido esencialmente similar. La cobertura total muestra una relación positiva significativa con la precipitación anual ($F_{(1,12)} = 11,12$; $P < 0,01$; Fig. 4).

Plantas efímeras

Las plantas las agrupamos en dos formas de vida: terófitas (hierbas anuales que completan su ciclo de vida en menos de 1 año y que durante los años secos se encuentran sólo como semillas en el suelo) y geófitas (plantas con bulbos bajo el suelo). La cobertura de las terófitas representó entre el 66 y el 99% de todas las plantas efímeras. Se registró un total de 45 especies de terófitas y 8 especies de geófitas durante el período de estudio, pero el número de especies por año varió dependiendo de la precipitación anual (Tabla 2). A diferencia de los arbustos y las gramíneas perennes, la cobertura de las especies efímeras exhibió mayor diferencia entre años, que va entre 0 y 87% dependiendo de la lluvia anual. En 1998 cuando la precipitación anual alcanzó sólo 2 mm, la cobertura de todas las especies efímeras fue igual a cero. Esto debido a que la cantidad de agua caída ese año estuvo por debajo del umbral mínimo necesario para gatillar la germinación de estas especies (Vidiella & Armesto 1989). Hay una alta relación positiva significativa entre la

cobertura de plantas efímeras y la precipitación anual ($F_{(1,12)} = 16,09$; $P < 0,005$; Fig. 5). Valores máximos de cobertura se registraron en 1991, 1997 y 2000-2002 asociados a eventos ENOS (Fig. 5).

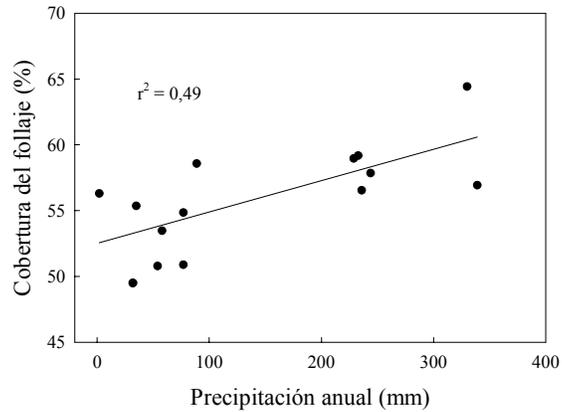


Fig. 4. Relación entre la cobertura del follaje de los arbustos + hierbas perennes y las precipitaciones anuales en la Quebrada de Las Vacas, Parque Nacional Bosque Fray Jorge, IV Región, Chile.

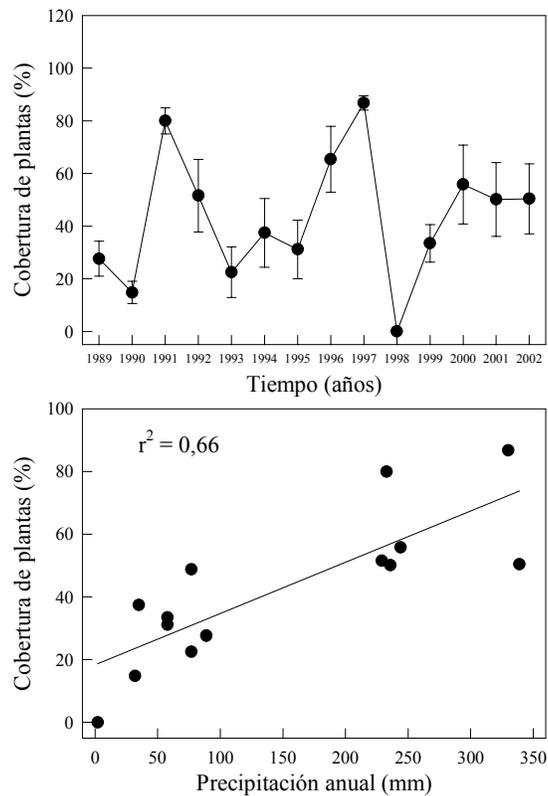


Fig. 5. Cobertura de plantas efímeras desde 1989 a 2002 (arriba), y relación entre la cobertura de plantas efímeras y las precipitaciones anuales (abajo) en la Quebrada de Las Vacas, Parque Nacional Bosque Fray Jorge, IV Región, Chile.

Tabla 2. Porcentaje de cobertura promedio (1 E.E.) de hierbas efímeras (terofitas y geofitas) en la Quebrada La Vacas, Parque Nacional Bosque de Fray Jorge entre 1989 y 2002.

ESPECIES*	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002
Terofitas													
<i>Adesmia tenella</i> H. et A.	0,33 (0,21)	0,35 (0,18)	1,92 (0,44)	2,92 (0,92)	0,52 (0,25)	1,37 (0,25)	0,45 (0,17)	0,25 (0,15)	1,61 (0,49)	2,54 (0,72)	3,62 (1,46)	5,54 (1,83)	1,81 (0,90)
<i>Adesmia filifolia</i> Clos								0,33 (0,33)	0,34 (0,34)	0,73 (0,73)	0,33 (0,33)	0,19 (0,11)	
<i>Aptium laciniatum</i> (DC.) Urban		0,04 (0,02)	0,27 (0,09)	0,31 (0,13)	0,17 (0,10)	0,06 (0,04)	0,02 (0,02)	0,06 (0,06)	0,17 (0,17)		0,08 (0,08)	0,17 (0,17)	0,52 (0,36)
<i>Bowlesia incana</i> R. et P.				0,23 (0,23)	0,04 (0,04)	0,10 (0,06)	0,15 (0,09)	0,36 (0,21)	1,05 (0,53)		0,03 (0,02)	0,23 (0,16)	0,58 (0,29)
<i>Bromus berterianus</i> Colla	0,33 (0,19)	0,59 (0,31)		5,86 (3,37)	5,67 (3,34)	3,72 (1,52)	0,44 (0,38)	0,36 (0,21)	3,88 (2,60)	4,86 (3,97)	18,44 (11,70)	23,60 (13,80)	20,02 (13,50)
<i>Camissonia dentata</i> (Cav.) Reiche		0,33 (0,33)	4,96 (2,03)	1,81 (0,90)	0,69 (0,38)	2,02 (1,31)	1,21 (0,50)	1,88 (0,91)	2,56 (0,89)	1,96 (0,15)	3,44 (0,75)	1,54 (0,64)	5,60 (1,47)
<i>Chaetanthera linearis</i> Poepp. ex Less				0,19 (0,19)			0,02 (0,02)	0,11 (0,11)	0,56 (0,50)		0,73 (0,38)	0,31 (0,12)	
<i>Crassula clostiana</i> (Gay) Reiche			0,25 (0,10)	0,13 (0,07)	0,11 (0,11)		0,02 (0,02)		0,05 (0,05)		0,06 (0,06)	0,15 (0,15)	
<i>Cryptantha linearis</i> (Colla) Greene	0,04 (0,02)	0,31 (0,19)		0,54 (0,27)	0,12 (0,07)	0,21 (0,21)	0,23 (0,18)	0,19 (0,19)	0,13 (0,04)		0,13 (0,13)	0,08 (0,08)	0,04 (0,04)

ESPECIES*	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002
<i>Cuscuta micrantha</i> Choisy			2,71 (0,79)				0,02 (0,02)	0,02 (0,02)	6,00 (1,93)		0,38 (0,24)	0,13 (0,07)	
<i>Descarrania cumingiana</i> (Fisch. et Mey.) Prantl.		0,23 (0,20)	0,63 (0,36)	0,29 (0,18)	0,04 (0,04)	0,54 (0,54)	0,17 (0,17)	0,31 (0,26)	0,52 (0,39)	0,40 (0,40)	0,50 (0,50)	0,15 (0,12)	0,69 (0,63)
<i>Dioscorea humifusa</i> Poepp.			0,04 (0,04)				0,02 (0,02)				0,06 (0,06)	0,04 (0,04)	0,17 (0,17)
<i>Erodium cicutarium</i> ** (L.) L'Hérit. ex Aiton		0,29 (0,29)	0,02 (0,02)	0,08 (0,08)	0,46 (0,36)	0,21 (0,21)		0,04 (0,04)		0,04 (0,04)	1,15 (0,79)	0,85 (0,51)	2,73 (1,90)
<i>Erodium malacoides</i> ** (L.) L'Hérit. ex Aiton		0,71 (0,63)	0,25 (0,25)	0,23 (0,23)	0,23 (0,20)	0,21 (0,21)			0,02 (0,02)	0,02 (0,02)	0,21 (0,16)	0,02 (0,02)	0,29 (0,24)
<i>Erodium moschatum</i> ** (L.) L'Hérit. Ex Aiton		4,33 (2,06)		0,67 (0,40)	0,08 (0,08)	0,33 (0,23)	0,12 (0,10)		0,02 (0,02)	0,58 (0,56)	2,71 (2,63)	0,63 (0,63)	
<i>Eryngium coquimbantum</i> Phil. ex Urban		0,52 (0,25)	0,06 (0,04)	0,40 (0,24)	0,17 (0,12)	0,13 (0,07)	0,14 (0,07)	0,08 (0,06)	0,17 (0,12)	0,02 (0,02)	0,06 (0,04)	0,10 (0,06)	0,35 (0,28)
<i>Facelis retusa</i> (Lam.) Sch. Bip.			0,06 (0,06)	0,11 (0,11)	0,15 (0,15)	0,04 (0,04)			0,02 (0,02)				
<i>Galium aparine</i> ** L.			0,71 (0,35)	0,42 (0,26)	0,04 (0,04)	0,02 (0,02)			0,31 (0,31)	0,08 (0,08)	0,06 (0,06)	0,13 (0,13)	0,29 (0,29)
<i>Gamochaeta</i> sp.			0,48 (0,28)	0,44 (0,06)	0,27 (0,10)	0,04 (0,04)	0,08 (0,06)		0,19 (0,07)	0,02 (0,02)	0,17 (0,10)	0,06 (0,04)	1,48 (0,50)
<i>Helonium aromaticum</i> (Hook.) Bailey		0,19 (0,19)		0,23 (0,20)	0,11 (0,06)	0,02 (0,02)		0,13 (0,10)		0,08 (0,06)	0,25 (0,15)	0,08 (0,05)	0,23 (0,14)
<i>Hypochaeris radicata</i> ** L.				0,17 (0,14)	0,15 (0,05)	0,06 (0,06)				0,19 (0,19)	0,42 (0,25)	0,17 (0,14)	1,15 (0,46)

ESPECIES*	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	
<i>Lastarrieta chilensis</i> Remy		0,06 (0,06)	0,31 (0,14)	0,62 (0,37)	0,44 (0,23)	0,38 (0,30)	0,48 (0,26)	0,33 (0,23)	0,23 (0,12)	0,15 (0,12)	0,67 (0,61)	0,98 (0,87)	1,79 0,88	
<i>Limnaria texana</i> ** Scheele			0,86 (0,59)	0,83 (0,56)	0,31 (0,09)	0,06 (0,02)	0,08 (0,08)	0,17 (0,11)	0,13 (0,08)	0,15 (0,12)	0,48 (0,34)	0,17 (0,09)	1,00 (0,23)	
<i>Loasa tricolor</i> Ker-Gawl.			0,08 (0,03)					0,02 (0,02)	0,02 (0,02)					
<i>Malva nicaensis</i> ** All			0,11 (0,11)	0,04 (0,04)	0,02 (0,02)	0,10 (0,10)	0,08 (0,08)	0,15 (0,15)	0,42 (0,42)	0,04 (0,04)				
<i>Menonvillea litoralis</i> DC.		0,02 (0,02)	0,52 (0,52)	0,31 (0,31)	0,04 (0,04)			0,29 (0,21)	0,70 (0,64)	0,46 (0,46)	0,44 (0,44)	0,40 (0,40)		
<i>Microseris pygmaea</i> D. Don			0,56 (0,34)	0,02 (0,02)					0,02 (0,02)					
<i>Montiopsis demissa</i> (Phil.) D.I. Ford		0,08 (0,06)	0,58 (0,41)	0,21 (0,21)	0,31 (0,29)		0,67 (0,67)	0,19 (0,07)	0,02 (0,02)	0,04 (0,04)	0,10 0,08	0,06 (0,06)		
<i>Moscharia pinnatifida</i> R. et P.		0,10 (0,08)	0,92 (0,44)	31,56 (3,42)	8,40 (1,23)	2,19 (0,41)	4,91 (1,32)	4,62 (2,48)	8,00 (3,54)	19,97 (3,50)	1,52 (0,56)	2,87 (0,64)	1,50 (0,42)	7,10 (1,28)
<i>Oenothera coquimbensis</i> Gay			0,25 (0,25)	0,02 (0,02)	0,06 (0,06)	0,37 (0,27)	0,17 (0,14)	0,08 (0,06)	0,19 (0,19)	0,19 (0,14)	0,06 (0,06)	0,04 (0,04)		
<i>Oxalis micrantha</i> Bert. ex Savi		0,23 (0,15)	6,00 (1,25)	2,21 (1,99)	0,02 (0,02)	4,43 (3,04)	1,69 (1,26)	3,06 (2,51)	3,56 (1,25)	0,29 (0,19)	1,08 (0,30)	0,15 (0,15)	1,56 (0,16)	
<i>Parietaria debilis</i> G. Foster			0,94 (0,94)	2,67 (2,58)	1,27 (1,14)	0,02 (0,02)	0,69 (0,69)	1,00 (1,00)	0,77 (0,77)	1,65 (1,65)	0,19 (0,19)	0,79 (0,79)	1,31 (1,26)	
<i>Pectocarya linearis</i> (R. et P.) DC.		0,54 (0,23)		0,11 (0,06)	0,06 (0,06)	1,21 (1,15)	0,21 (0,18)	0,04 (0,04)						

ESPECIES*	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002
<i>Plantago hispidula</i> R. et P.	13,48 (3,58)	7,86 (3,52)	24,98 (4,88)	27,58 (7,14)	5,19 (4,15)	10,75 (3,73)	14,25 (4,01)	31,21 (7,47)	30,48 (5,19)	13,17 (5,12)	16,94 (7,01)	17,52 (7,41)	6,83 (3,04)
<i>Quinchamalium chilense</i> Mol.		0,02 (0,02)	0,17 (0,14)										
<i>Rosivaria cristata</i> ** (L.) Tzevelev									0,61 (0,61)	0,46 (0,46)			2,25 (1,22)
<i>Schismus arabicus</i> ** Nees.	1,12 (0,33)	0,21 (0,16)	0,54 (0,49)	0,52 (0,29)	0,17 (0,07)	0,47 (0,16)	0,08 (0,03)	0,11 (0,04)	0,03 (0,03)	3,96 (2,02)	6,00 (2,79)	2,35 (1,26)	11,13 (4,14)
<i>Schizanthus litoralis</i> Phil.			7,98 (2,14)	0,06 (0,06)	0,10 (0,08)	0,87 (0,33)	0,44 (0,30)	1,27 (0,51)	6,88 (2,68)	0,11 (0,04)	0,08 (0,03)	0,06 (0,02)	0,06 (0,06)
<i>Schizopetalum gayanum</i> Barn.						0,04 (0,04)		0,05 (0,04)					
<i>Sicyos bryonifolius</i> Morris			0,29 (0,29)	0,04 (0,04)	0,02 (0,02)	0,19 (0,19)	0,17 (0,17)	0,81 (0,81)	0,98 (0,98)	0,58 (0,58)	0,58 (0,58)	0,42 (0,42)	
<i>Silene gallica</i> ** L.				0,02 (0,02)							0,08 (0,08)	0,25 (0,25)	
<i>Stachys grandidentata</i> Lindl.				0,04 (0,02)		0,02 (0,02)			0,14 (0,14)	0,29 (0,24)			0,08 (0,08)
<i>Urtica urens</i> ** L.			0,06 (0,06)	0,04 (0,04)	0,04 (0,04)	0,08 (0,08)		0,02 (0,02)	0,16 (0,16)	0,06 (0,06)	0,27 (0,27)	0,29 (0,29)	0,69 (0,69)
<i>Valeriana bridgesii</i> H. et A.		0,08 (0,08)	0,08 (0,08)	0,04 (0,04)	0,13 (0,13)		0,13 (0,13)						0,08 (0,08)
<i>Viola pusilla</i> Poepp.	2,04 (1,28)	1,56 (0,92)	2,71 (1,61)	0,54 (0,37)	0,42 (0,14)	1,70 (1,17)	1,25 (0,81)	0,67 (0,20)	0,66 (0,26)	0,48 (0,29)	0,27 (0,09)	0,04 (0,02)	0,65 (0,20)

ESPECIES*	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002
Geofitas													
<i>Astromeria sierrae</i> Muñoz			1,67 (1,16)	0,50 (0,31)	0,56 (0,33)	0,54 (0,35)	1,12 (0,65)	1,54 (0,66)	1,73 (1,00)	0,06 (0,06)	0,69 (0,49)	0,38 (0,24)	0,35 (0,21)
<i>Astromeria diluta</i> Ehr. Bayer	0,69 (0,61)		0,50 (0,50)	0,11 (0,11)	0,31 (0,31)	0,19 (0,19)	0,10 (0,10)	0,04 (0,04)	0,09 (0,09)	0,06 (0,06)	0,04 (0,04)	0,10 (0,10)	0,08 (0,08)
<i>Conanthera campanulata</i> (D. Don) Lindl.					0,02 (0,02)					0,11 (0,11)	0,31 (0,31)	0,08 (0,08)	
<i>Leucocoryne purpurea</i> Gay	0,27 (0,12)	0,04 (0,04)	0,88 (0,17)	0,02 (0,02)	0,15 (0,05)	0,79 (0,40)	1,16 (0,61)	0,31 (0,29)	0,45 (0,18)	0,06 (0,06)	0,31 (0,11)	0,04 (0,02)	0,10
<i>Pasithea coerulea</i> (R. et P.) D. Don	0,27 (0,27)		0,50 (0,50)	0,21 (0,21)	0,11 (0,11)		0,52 (0,39)	0,40 (0,40)	0,45 (0,45)	0,04 (0,04)	0,73 (0,73)	0,81 (0,81)	0,10
<i>Rhodophiala phycelloides</i> (Herb.) Hunz.	1,69 (0,73)	0,34 (0,12)	1,34 (0,08)	0,54 (0,21)	0,77 (0,32)	1,91 (0,38)	2,18 (0,53)	0,71 (0,08)	0,98 (0,36)	0,25 (0,11)	0,63 (0,23)	0,73 (0,19)	0,88 (0,16)
<i>Sisyrinchium junceum</i> E. Mey. ex K. Presl.			0,58 (0,58)		0,42 (0,42)	0,17 (0,17)	0,10 (0,10)		0,23 (0,23)			0,02 (0,02)	
<i>Trichopetalum plumosum</i> (R. et P.) Macbr.							0,23 (0,23)	0,15 (0,15)					
Cobertura Total	27,63 (6,67)	13,31 (4,84)	80,00 (4,99)	51,58 (13,74)	22,50 (9,58)	37,43 (13,10)	31,15 (11,13)	65,38 (12,50)	86,80 (2,75)	33,48 (7,14)	55,81 (14,99)	50,15 (14,03)	50,40 (13,29)

* La nomenclatura según Marticorena & Quezada (1985) y Marticorena et al. (2001)

** Especies introducidas

La especie más abundante de las terófitas fue *Plantago hispidula* con coberturas entre 5 y 30%. Esta especie se encuentra preferentemente en las áreas abiertas, fuera de la influencia de la copa de los arbustos (Gutiérrez et al. 1993b). La densidad de esta especie es hasta un orden de magnitud más alta en comunidades de dunas costeras alteradas por el hombre (Walkowiak & Simonetti 1981). La segunda especie más importante es *Moscharia pinnatifida* con coberturas cercanas a cero (1989, 1990) hasta 32% (1991). Está especie se encuentra casi exclusivamente bajo el dosel de *Porlieria chilensis* (Gutiérrez et al. 1993b). *Schizanthus litoralis* es una especie que tuvo coberturas iguales a cero en años secos hasta coberturas entre 7-8% en los años ENOS 1991 y 1997. Sin embargo, la cobertura de esta especie siempre fue baja al año siguiente de haber alcanzado estas altas coberturas, independiente del régimen de precipitación, lo que podría estar indicando que otros factores estarían limitando su crecimiento (e.g. nutrientes). *Oxalis micrantha* presenta un comportamiento muy similar (Tabla 2). Estas dos últimas especies también se encuentran preferentemente en las áreas bajo arbustos (Gutiérrez et al. 1993b). Dos especies de gramíneas (*Bromus berterianus* y *Schismus arabicus*) han aumentado considerablemente su representación en el área de estudio a contar del año 2000. *B. berterianus*, gramínea nativa, tuvo coberturas entre 18-24% los tres últimos años, mientras que *S. arabicus*, gramínea introducida, alcanzó coberturas entre 2-11%. Otras especies de anuales con coberturas superiores a 1% fueron *Adesmia tenella*, *Camissonia dentata* y *Viola pusilla*, que se las encuentra preferentemente en las áreas abiertas entre arbustos (Gutiérrez et al. 1993b). Todas las otras especies de anuales (nativas e introducidas) tuvieron coberturas menores a 1%.

Las especies de geófitas tuvieron una baja representación en el área de estudio. Las especies que en algunos años tuvieron coberturas superiores al 1% fueron *Alstroemeria sierrae*, *Leucocoryne purpurea* y *Rhodophiala phycelloides*.

DISCUSIÓN

La estructura de la vegetación arbustiva espinosa que rodea el bosque de Fray Jorge fue estudiado por Muñoz & Pisano (1947), usando seis transectos de 100 m cada uno. La distancia interceptada por cada una de las especies fue sumada y se expresó como porcentaje de cobertura. Para el valle de la Quebrada de Las Vacas, Muñoz & Pisano (1947) documentaron una cobertura mayor para *Porlieria chilensis* (45,5% vs 30-35%) y *Adesmia bedwellii* (5,5% vs 3,5-5%), pero valores similares a los nuestros para *Proustia cuneifolia* (4,5%), y *Stipa plumosa* (1%). La vegetación de este mismo sitio de estudio fue analizado otra vez por Meserve (1981a) en Noviembre de 1973 y Septiembre de 1974, usando transectos lineales de 10 m centrados en cada uno de 48 estaciones de trapeo de micromamíferos, separadas entre ellas a intervalos regulares de 20 m (480 m de largo total). El encontró una cobertura menor para *Porlieria chilensis* (21,6%), *Anisomeria littoralis*, *Baccharis paniculata* (1,2%) y *Senna cummingii* (0,6%). Valores de cobertura similares a los nuestros para *Chenopodium petiolare* (20,2%) y *Proustia cuneifolia* (7,5%), pero coberturas más altas para *Adesmia bedwellii* (6,5%). Tomando en cuenta las diferencias en las técnicas de muestreos usadas, el diferente esfuerzo de muestreo y las diferencias entre años distintos de estos tres estudios, se puede concluir que la estructura de la vegetación arbustiva espinosa ha permanecido esencialmente la misma por los últimos 50 años.

Muñoz & Pisano (1947) documentaron que la pendiente oriental de la Cordillera de la Costa en Fray Jorge estaba cubierta con diferentes asociaciones vegetales

dependiendo de la altitud: a los 350 m dominaba *Adesmia bedwellii*-*Ophryosporus triangularis*; a 200 m dominaba *Proustia cuneifolia*-*Adesmia bedwellii*; y a 100 m dominaba *Porlieria chilensis*-*Adesmia bedwellii*. Estas altitudes hay que corregirlas sumándoles 100 para hacerlas equivalentes a las mediciones actuales. A menores altitudes la abundancia relativa de *P. chilensis* aumenta considerablemente, mientras que la abundancia de *A. bedwellii* permanece relativamente similar. Muñoz & Pisano (1947) especularon que el incremento de cobertura de *P. chilensis* en las zonas bajas del valle sería el resultado del desarrollo de raíces profundas de esta especie, lo que le permitiría aprovechar el agua subterránea acumulada en las áreas aluviales. Esto último ha sido recientemente confirmado en el marco del proyecto FONDECYT 1030225 a JRG (Squeo & Gutiérrez, datos no publ.). De acuerdo a Muñoz & Pisano (1947), la zonación altitudinal de las asociaciones de plantas en la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa refleja por un lado la disminución en la humedad relativa y por otro lado, un aumento en la profundidad del suelo, y esto último estaría relacionado con la disponibilidad de agua subterránea para las plantas. Con la disminución en altitud e inclinación de las laderas hacia la Quebrada de La Vacas, el suelo se desarrolla en un sustrato de materiales coluviales de textura arenosa hasta los 70 cm, por debajo del cual la textura se torna arcillosa. Las raíces de varios arbustos son capaces de penetrar hacia estratos más profundos y acceder a una fuente de agua subterránea.. En esta área, donde la humedad del aire es más baja que a mayores altitudes, las plantas tienen raíces más profundas y características más xerofíticas que a mayores altitudes. La baja variación que experimentó la cobertura *P. chilensis* a lo largo del período de estudio estaría mostrando su relativa independencia de las precipitaciones anuales.

Proustia cuneifolia, arbusto espinoso deciduo de sequía, a pesar que ha sido descrito como una especie con un sistema radicular profundo (Squeo et al. 1999), en Quebrada Las Vacas posee adicionalmente abundantes raíces superficiales. Esta especie es capaz de responder a las precipitaciones anuales, teniendo una mayor cobertura en años lluviosos. Una respuesta similar se observa en el subarbusto sufrutecente *Chenopodium petiolare* que probablemente tiene raíces superficiales. El aumento en biomasa de esta especie en años lluviosos se ha descrito también para otros sitios de la IV Región (Gutiérrez & Vásquez 1996).

La forma de vida dominante en la comunidad estudiada fue la fanerófita, es decir arbustos leñosos con su tejido regenerativo completamente expuesto al ambiente externo, lo que estaría reflejando las condiciones relativamente favorables (baja amplitud térmica, ausencia de temperaturas congelantes y excesivas) del lugar. Luego le sigue en importancia las caméfitas, muchas de ellas estrechamente asociadas a la presencia de las fanerófitas. La tercera forma de vida fueron las hemicriptófitas representadas por gramíneas perennes.

Tal como se ha sugerido para otros ambientes áridos del mundo (Noy-Meir 1973, Beatley 1974, Inouye 1991), la precipitación en Fray Jorge parece ser la principal fuerza directriz que gatilla la germinación y crecimiento de las plantas efímeras. Vidiella & Armesto (1989) han documentado que muchas especies de plantas efímeras nativas (anuales y geófitas) del desierto costero chileno requieren de al menos un evento de lluvia de 20 mm para germinar. Este alto umbral aseguraría que la planta pudiera completar su ciclo de vida con esa sola lluvia, ya que en los sistemas áridos es altamente probable que una lluvia sea seguida por un período prolongado sin lluvias adicionales. Una partida falsa (germinación con una lluvia por debajo de 20 mm) podría conducir a la extinción local de esa especie (Cohen 1966).

Esto quedó dramáticamente demostrado en 1998 cuando la lluvia acumulada anual fue de sólo 2 mm y no registramos ninguna especie de planta efímera. Por el contrario, cuando las lluvias fueron altas como en el caso de los años ENOS (1991-1992, 1997 y 2002) la cobertura de plantas efímeras fue superior al 50%. A nivel específico esta respuesta fue más clara en aquellas especies que están restringidas a las áreas bajo arbustos, como es el caso de *Moschardia pinnatifida*, *Schizanthus litoralis* y *Oxalis micrantha*.

La respuesta de las plantas efímeras a la precipitación de un año está aparentemente relacionado al régimen pluviométrico de los años previos. Se encontró que un año lluvioso, después de varios años consecutivos de sequía, como ocurrió en 1991 y 1997, produjo una mayor cobertura vegetal que lo que ocurrió durante el segundo de dos años lluviosos consecutivos (por ejemplo en 1992, 2002). Esto sugiere que otros factores (e.g., nutrientes) llegan a ser limitantes en el segundo año. Las especies anuales restringidas a áreas bajo arbustos (e.g., *M. pinnatifida*, *S. litoralis*) fueron las que mostraron las mayores disminuciones el segundo de dos años lluviosos consecutivos, dando más apoyo a la hipótesis de limitación por nutrientes. Hallazgos similares se han descrito para los desiertos de Australia (West & Skujins 1978) y de Chihuahua en Norte América (Gutiérrez & Whitford 1987b, Guo & Brown 1997).

Las precipitaciones no sólo afectaron la cobertura de las especies de plantas efímeras sino que también la riqueza de éstas (número de especies en la comunidad). En años secos el número de especies fue menor al encontrado en años lluviosos. La gran variabilidad observada en las precipitaciones permite que especies con distintos requerimientos hídricos puedan coexistir, ya que ninguna especie llegar a ser persistentemente abundante como para excluir a las menos abundantes. Los arbustos también generan un mosaico de parches de suelo con distinta calidad hídrica, temperatura y fertilidad facilitando también la coexistencia de especies. Es esta heterogeneidad espacial (parches) y temporal (lluvias) la que permiten dar cuenta de la alta diversidad de especies de plantas efímera en el Parque. La eliminación de arbustos, como ha ocurrido en gran parte de la IV Región (Bahre 1979, Solbrig 1984, Squeo et al. 2001), puede reducir dramáticamente la riqueza de especies de plantas efímeras.

Este estudio ha demostrado la importancia que tienen las precipitaciones particularmente sobre las plantas efímeras (abundancia y riqueza) y dentro de éstas los cambios más notables se observa en aquellas especies que residen bajo los arbustos. El efecto de las precipitaciones sobre las plantas arbustivas del valle es menor, pero hay ciertas especies como *Proustia cuneifolia* que muestran una clara respuesta positiva a las precipitaciones altas. La diversidad espacial de microambientes está íntimamente ligado a la diversidad de especies arbustivas, y este último con la diversidad de especies herbáceas efímeras. Finalmente, queremos enfatizar la importancia de los estudios de largo plazo que nos han permitido explorar el efecto de eventos recurrentes pero de baja frecuencia temporal como son los eventos ENOS y su contraparte La Niña.

AGRADECIMIENTOS

Las siguientes personas han participado en el trabajo de terreno: MA Torrealba, E Tabilo, S Herrera, S Silva, H Vásquez, H Veas, J Albiñana, J Monardez, L Guiñazú, A Previtali, F López, M Vergara, A Levicán, B Lang, K Cramer, BW Milstead y G

Arancio. G Arancio ha participado además en la determinación de las especies. FA Squeo hizo valiosos comentarios que mejoraron el manuscrito. Durante todo estos años hemos contado con el apoyo logístico de CONAF-IV Región para trabajar en el parque. La US National Science Foundation y FONDECYT (N° 1030225 el más reciente) han financiado a través de varios proyectos este estudio. A todos ellos nuestro agradecimiento. Esta es una contribución del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA).

LITERATURA CITADA

- BAHRE C (1979) Destruction of the natural vegetation of north-central Chile. University of California. Publications of Geography, Berkeley 23: 1-117.
- BEATLEY JC (1974) Phenological events and their environmental triggers in Mojave Desert ecosystems. Ecology 55: 856-863.
- COHEN D (1966) Optimizing reproduction in a randomly varying environment. Journal of Theoretical Biology 12: 119-129.
- DILLON MO & PW RUNDEL (1990) The botanical response of the Atacama and Peruvian Desert floras to the 1982-1983 El Niño event. En: GLYNN PW (ed) Global ecological consequences of the 1982-1983 El Niño-Southern Oscillation: 487-504. Elsevier Oceanography Series, Amsterdam.
- FUENTES ER & ER HAJEK (1978) Interacciones hombre-clima en la desertificación del Norte Chico chileno. Ciencia e Investigación Agraria 5: 137-142.
- FUENTES ER & ER HAJEK (1979) Patterns of landscape modification in relation to agriculture practice in central Chile. Environmental Conservation 6: 265-271.
- FULK GW (1975) Population ecology of rodents in the semiarid shrublands of Chile. Occasional Papers of the Museum, Texas Tech University 33: 1-40.
- GRAHAM NE & WB WHITE (1988) The El Niño cycle: a natural oscillator of the Pacific Ocean-atmosphere system. Science 240: 1293-1302.
- GUO Q & JH BROWN (1997) Interactions between winter and summer annuals in the Chihuahuan Desert. Oecologia 111: 123-128.
- GUTIÉRREZ JR & H VÁSQUEZ (1996) The effects of water and nutrient addition on annual aboveground biomass production of *Chenopodium petiolare* H.B.K. (Chenopodiaceae) in a north-central Chilean old field. Ecoscience 3: 211-215.
- GUTIÉRREZ JR & WG WHITFORD (1987a) Chihuahuan Desert annuals: importance of water and nitrogen. Ecology 68: 2032-2045.
- GUTIÉRREZ JR & WG WHITFORD (1987b) Responses of Chihuahuan Desert annuals to rainfall augmentation. Journal of Arid Environments 12: 127-140.
- GUTIÉRREZ JR, PL MESERVE, FM JAKSIC, LC CONTRERAS, S HERRERA & H VÁSQUEZ (1993a) Structure and dynamics of vegetation in a Chilean arid thornscrub community. Acta Oecologica 14: 271-285.
- GUTIÉRREZ JR, PL MESERVE, S HERRERA, LC CONTRERAS, H VÁSQUEZ & FM JAKSIC (1993b) Spatial distribution of soil nutrients and ephemeral plants underneath and outside the canopy of *Porlieria chilensis* shrubs (Zygophyllaceae) in arid coastal Chile. Oecologia 95: 347-352.
- HOFFMANN A (1989) Cactáceas en la flora silvestre de Chile. Ediciones Fundación Claudio Gay, Santiago. 272 pp.
- INOUE RS (1991) Population biology of desert annual plants. En: POLIS GA (ed) The Ecology of Desert Communities: 27-54. University of Arizona Press, Tucson.

- KUMMEROW J (1966) Aporte al conocimiento de las condiciones climáticas del bosque de Fray Jorge. Universidad de Chile, Facultad de Agronomía, Estación Experimental Agronómica, Boletín Técnico 24: 21-24.
- LAGOS V, JM TORRES & C NOTON (2001) Conservación de la diversidad biológica: El Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) como herramienta de gestión para la Región de Coquimbo. En: FA Squeo, G Arancio & JR Gutiérrez (eds) Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo: 205-224. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena.
- LOOSER G (1935) Argumentos botánicos a favor de un cambio de clima en Chile central en tiempos geológicos recientes. *Revista Universitaria* 20: 844-857.
- MARTICORENA C & M QUEZADA (1985) Catálogo de la flora vascular de Chile. *Gayana Botánica* 42: 1-157.
- MARTICORENA C, FA SQUEO, G ARANCIO & M MUÑOZ (2001) Catálogo de la flora vascular de la IV Región de Coquimbo. En: SQUEO FA, G ARANCIO & JR GUTIÉRREZ (eds) Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo: 105-142. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena.
- MESERVE PL (1981a) Trophic relationships among small mammals in a Chilean semiarid thorn scrub community. *Journal of Mammalogy* 62: 304-314.
- MESERVE PL (1981b) Resource partitioning in a Chilean semi-arid small mammal community. *Journal of Animal Ecology* 50: 745-757.
- MESERVE PL & ER LE BOULANGÉ (1987) Population dynamics and ecology of small mammals in the northern semiarid region. En: PATTERSON BD & RM TIMM (eds) *Studies in Neotropical Mammalogy: Essays in honor of Philip Hershkovitz*. Feldiana: Zoology, New Series 39: 413-431.
- MUELLER-DOMBOIS D & H ELLEMBERG (1974) *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons, New York.
- MUÑOZ C & E PISANO (1947) Estudio de la vegetación y flora de los parques nacionales de Fray Jorge y Talinay. *Agricultura Técnica* 7: 71-173.
- NOY-MEIR I (1973) Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 25-51.
- OCHSENIUS C (1982) Atacama: the holo-genesis of the Pacific coastal desert in the context of the tropical South American Quaternary. *Striae* 17: 112-131.
- PHILIPPI R (1884) A visit to the northernmost forest of Chile. *Journal of Botany* 22: 201-211.
- RUNDEL PW, MO DILLON, B PALMA, HA MOONEY & SL GULMON (1991) The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian deserts. *Aliso* 13: 1-49.
- SARMIENTO G (1975) The dry plant formations of South America and their floristic connections. *Journal of Biogeography* 2: 233-251.
- SCHMITHUSEN J (1956) Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. *Bonner Geographische Abhandlungen* 17: 1-86.
- SKOTTSBERG C (1950) Apuntes sobre la flora y vegetación de Fray Jorge (Coquimbo, Chile). *Acta Horti. Gotoburg.* 18: 90-184.
- SOLBRIG OT (1984) The Southern Andes and Sierras Pampeanas. *Mountain Research and Development* 4: 97-190.
- SQUEO FA, N OLIVARES, S OLIVARES, A POLLASTRI, E AGUIRRE, R ARAVENA, C JORQUERA & JR EHLERINGER (1999) Grupos funcionales en arbustos desérticos definidos en base a las fuentes de agua utilizadas. *Gayana Botánica* 56: 1-15

- SQUEO FA, G ARANCIO & JR GUTIÉRREZ (2001) Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, 372 pp.
- TRONCOSO A, C VILLAGRÁN & M MUÑOZ (1980) Una nueva hipótesis acerca del origen y edad del bosque de Fray Jorge (Coquimbo, Chile). Boletín del Museo de Historia Natural 37: 117-152.
- VIDIELLA PE & JJ ARMESTO (1989) Emergence of ephemeral plant species from soil samples of the Chilean coastal desert in response to experimental irrigation. Revista Chilena de Historia Natural 62: 99-107.
- VILLAGRÁN C & JJ 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 37: 87-101.
- WALKOWIAK AM & JA SIMONETTI (1981) An assessment of the ruderal strategy in herbs: the case of *Plantago hispidula*. Oecologia Generalis 2: 287-290.
- WEST NE & JJ SKUJINS (1978) Nitrogen in Desert Ecosystems. Dowden, Hutchison & Ross, Stroudsburg, Pennsylvania.
- WHITTAKER RH (1975) Communities and Ecosystems. 2nd. Edition. MacMillan Publishing Co. Inc. New York.