

# Biodiversidad de la flora vascular en la Región de Antofagasta, Chile

Biodiversity of vascular flora in the Antofagasta Region, Chile

FRANCISCO A SQUEO<sup>1</sup>, LOHENGRIN A CAVIERES<sup>3</sup>, GINA ARANCIO<sup>1</sup>,  
JOSE E NOVOA<sup>2</sup>, OSCAR MATTHEI<sup>3</sup>, CLODOMIRO MARTICORENA<sup>3</sup>,  
ROBERTO RODRIGUEZ<sup>3</sup>, MARY TK ARROYO<sup>4</sup> y MELICA MUÑOZ<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena, Casilla 599, La Serena, Chile  
E-mail: fsqueo@elqui.cic.userena.cl

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Sociales, Facultad de Humanidades, Universidad de La Serena, La Serena, Chile

<sup>3</sup>Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Casilla 2407, Concepción, Chile

<sup>4</sup>Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile

<sup>5</sup>Sección Botánica, Museo Nacional de Historia Natural, Casilla 787, Santiago, Chile

## RESUMEN

Se determinaron las áreas de máxima biodiversidad de la II Región de Antofagasta mediante criterios de riqueza taxonómica (especie, género y familia) y endemismos. Las áreas de mayor biodiversidad regional se localizan en la zona costera, seguidas en importancia por las formaciones de prepuna y puna al norte de esta Región. En comparación a Chile Central, el Desierto Costero de Taltal, la formación vegetal con mayor biodiversidad en la Región de Antofagasta posee cerca del 70% de las especies que se esperan para su área. También son las formaciones vegetacionales costeras las que presentan mayor porcentaje de especies endémicas para Chile. El Desierto Estepario de la Sierras Costeras (60,5% de especies endémicas) supera el valor de endemismo para la flora de Chile (ca. 50%), mientras las formaciones vegetacionales de los Desierto Costero de Taltal y Tocopilla están alrededor del 50%. Las especies adventicias predominan en las formaciones costeras y alrededor del Salar de Atacama, coincidiendo con las áreas donde se concentra la actividad agro-pastoril en la Región. Poco más de dos tercios de la flora regional se encontraría dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado chileno (SNASPE). Sin embargo, las dos principales unidades del SNASPE se localizan en la zona andina, mientras la formación Desierto Costero de Taltal sólo está protegida legalmente en un 4,5% de su superficie. Esta situación podría cambiar si se incorporan los 300 km<sup>2</sup> del proyecto Reserva Nacional Paposo. El Desierto Estepario de las Sierras Costeras sólo está marginalmente representado dentro del SNASPE en la Región.

**Palabras clave:** biodiversidad, endemismo, flora vascular, desierto de Atacama, zonas áridas.

## ABSTRACT

The areas with maximum biodiversity in the II Region of Antofagasta was determined using taxonomic richness (species, genus and family) and endemisms criteria. The areas with higher regional biodiversity were located in the coastal zone, followed in importance by the pre-puna and puna formations in the northern part of this Region. In comparison with Central Chile, Coastal Desert of Taltal, the plant formation with the greatest biodiversity in the region of Antofagasta, possesses ca. 70% of the species expected by its area. Also the coastal plant formation showed the greatest number of endemic species to Chile. The Esteparian Desert of the Coastal Range (60,5% of endemic species) surpasses the endemism value for the Chilean flora (ca., 50%), while the plant formation from the Coastal Desert of Taltal and Tocopilla are close to the national value. The adventitious species predominate in the coastal formation and around the Salar de Atacama, coinciding with the areas where the agro-pastoral activity is concentrated in the Region. Over two third of the regional flora could be included in the Chilean System of Natural Protected Areas (SNASPE). Nevertheless, the two principal units of the SNASPE are located in the alpine zone, while for the plant formation of the Coastal Desert of Taltal only 4.5% of its total area is legally protected. This situation could change if the 300 km<sup>2</sup> National Reserve of Paposo are incorporated in the SNASPE. The Esteparian Desert of the Coastal Range is only marginally represented in the regional SNASPE.

**Key words:** biodiversity, endemisms, vascular flora, Atacama desert, arid zone.

## INTRODUCCION

La diversidad biológica es un atributo fundamental de los sistemas biológicos; esencialmente, es una propiedad que emerge como consecuencia de la organización misma de la naturaleza (Solbrig 1994).

Una definición de biodiversidad que ha tenido amplia aceptación es: a) el número de especies de una región determinada; b) la variabilidad genética de cada especie, incluyendo la diversidad de alelos de un mismo gen, el conjunto de diferencias génicas, y c) el número de ecosistemas que dichas especies conforman (Norse et al. 1986). Algunas definiciones de la biodiversidad recogen aspectos de la composición, estructura y función de los ecosistemas (por ejemplo, Franklin et al. 1981, Noss 1990), proponiéndose además una variedad de índices para cuantificar estos múltiples aspectos de la biodiversidad (Halffter & Ezcurra 1992). En la práctica, la biodiversidad, diversidad biológica o simplemente diversidad, puede medirse a diferentes escalas que van desde la escala local (diversidad alfa) hasta una escala regional (diversidad gamma) (Magurran 1988).

Los patrones de biodiversidad que emergen en la naturaleza son el producto de la interacción entre las características físicas del ambiente, los procesos evolutivos y los procesos ecológicos, aunque las contribuciones relativas de estos últimos son distintas, dependiendo de la escala (Ricklefs et al. 1995). A nivel local, las diferencias en diversidad son más bien el producto de las restricciones locales del ambiente y de las interacciones entre los organismos (diversidad alfa). A nivel regional en cambio son los factores geográficos y los procesos evolutivos de gran escala los que determinan la diversidad (diversidad gamma).

En particular, los factores geográficos que determinan los patrones de biodiversidad, como el clima y la geomorfología, pueden variar ampliamente de una región a otra, de tal manera que un conocimiento acabado de la biodiversidad obligatoria-

mente requiere de un acercamiento regional. El conocimiento de los patrones de biodiversidad a nivel regional, por otra parte, es un aspecto esencial para llegar a síntesis generales sobre este tema; siendo también muy útil en la planificación regional.

Tradicionalmente, en los estudios de diversidad gamma se utiliza el número de especies (riqueza de especies) como una medida de la diversidad. Sin embargo, como indica Arroyo et al. (1992), variables como el número de linajes evolutivos en una flora, el número de taxa a diferentes niveles taxonómicos, y el número de taxa endémicos, cobran tanta importancia como el número total de especies. En consecuencia, la biodiversidad puede medirse en base a variables tales como el número de taxa presentes (e.g. número de especies, géneros, familias) y el grado de unicidad de los mismos (números de especies y géneros endémicos) (Arroyo et al. 1992, Cowling et al. 1995). Los taxa endémicos son aquellos que están restringidos a algún lugar geográfico específico, y pueden definirse como la biodiversidad única de una región (Cowling et al. 1995).

Chile es un país que posee una gran diversidad de climas y ecosistemas (Arroyo et al. 1993, Amigo & Ramírez 1998). La flora total de estos ecosistemas es particularmente rica en comparación a otros ecosistemas de latitudes templadas, presentando además un alto nivel de endemismo (Marticorena 1990). Sin embargo, el conocimiento de la flora es muy desigual a lo largo de Chile, especialmente cuando se analiza el conocimiento de la flora a nivel de las regiones geopolíticas en que está subdividido nuestro país (Marticorena et al. 1995, Matthei 1995, Rodríguez 1995). El conocimiento de la distribución de la biodiversidad y de las áreas de concentración de las especies endémicas es fundamental para llegar a una estrategia para el uso sustentable y conservación de la biodiversidad del país.

*Area de estudio*

La II Región de Antofagasta se ubica en la zona árida del oeste de Suramérica, que se

extiende desde los 15°S en el Perú hasta los 30°S en Chile. El territorio que comprende esta región abarca desde los 21°28'S hasta aproximadamente los 25°40'S. Esta superficie que se extiende en sentido norte-sur en 500 km de longitud encierra un área de 126 121,3 km<sup>2</sup>, equivalentes al 16,6% del territorio nacional, siendo una de las regiones más grandes del país, y donde existían grandes vacíos de información en relación a la diversidad de su flora y los niveles de endemismo de la misma.

La extrema aridez presente en la II Región impone fuertes restricciones al desarrollo de especies vegetales. Con anterioridad al inicio de este estudio, el total de especies de plantas vasculares conocidas era de alrededor de 800 especies (Marticorena, datos no publicados), lo que contrasta con las cerca de 2 500 especies que se encuentran en la zona mediterránea de Chile central, con un área de sólo 104 000 km<sup>2</sup> (Arroyo et al. 1995). En esta región se conjugan además una serie de factores tanto de orden climático como orográfico que permiten suponer que a pesar de presentar una baja diversidad alfa en comparación a otras zonas del país, los niveles de endemismo y diversidad gamma son altos en relación al tamaño de su flora.

A pesar de que la Región de Antofagasta está inmersa dentro del gran desierto de Atacama, considerado como uno de los desiertos más áridos del mundo (Ochsenius 1982, McMahon & Wagner 1985), en esta región se ubica el límite entre dos patrones de precipitaciones altamente contrastantes (Arroyo et al. 1988, Amigo y Ramírez 1998).

Aproximadamente entre los 17°S y 24°S, la gran parte de las precipitaciones ocurren en los meses de verano, lo que se conoce como "invierno boliviano". Estas precipitaciones afectan principalmente la zona andina-altiplánica norte y los márgenes orientales del desierto en la II Región (Grosjean et al. 1991, Ammann 1996). En la costa de la región y al sur de los 24°S en los Andes, las precipitaciones se concentran en los meses de invierno, tal como

ocurre en el resto del país (Arroyo et al. 1988, Grosjean et al. 1991). Como consecuencia de la fuente de precipitación en los Andes de la II Región, actualmente existen fuertes gradientes de disminución de precipitaciones en el sentido norte-sur y este-oeste (Arroyo et al. 1988), produciendo un área de extrema aridez en la parte sur de la región. El patrón latitudinal y longitudinal de aridez en la zona costera con influencia mediterránea es fundamentalmente diferente al de los Andes. Acá el gradiente de precipitación es de sur a norte y de oeste a este.

Estudios realizados en otros desiertos han mostrado que existe una alta diferenciación, tanto a nivel de especies, géneros y familias como al nivel de vías fotosintéticas, en la flora asociada a cada patrón de precipitación (Beatley 1974, Mulroy & Rundel 1977, Kemp 1983, Crosswhite & Crosswhite 1984). Con la presencia de dos patrones de precipitación en la II Región, podría esperarse una serie de diferencias entre la flora del sector costero e interior-andino. Dentro de las posibles diferenciaciones se podría esperar: i) una confluencia de floras de distintos orígenes biogeográficos entre la costa y los andes, y ii) gradientes de riqueza taxonómica en el sentido de los gradientes de precipitación, esto es de sur a norte en la costa y en el sentido opuesto en los Andes. La presencia de patrones de precipitaciones tan diferenciados no sólo podría afectar la distribución de las especies nativas sino también podría traducirse en una diferenciación de la procedencia de las especies introducidas en la II Región.

En relación a la distribución de los endemismos, nuevamente la II Región de Antofagasta presenta una particular confluencia de factores que permiten esperar patrones de endemismos contrastantes entre los sectores interior y costero. Los Andes de la II Región se caracterizan por una gran heterogeneidad geomorfológica y geológica, que determinan a su vez una alta diversidad de condiciones de suelo, estabilidad y permeabilidad del sustrato (Squeo et al. 1993). Esta diversidad geomorfológica

afectaría localmente la distribución de las especies, y podría facilitar la formación de endemismos locales. En contraste con los Andes, la Cordillera de la Costa es relativamente homogénea en términos morfológicos (Brüggen 1950). En consecuencia, se podría esperar mayores niveles de endemismo en el sector andino en comparación al sector costero. Sin embargo, la presencia de la camanchaca (niebla costera) produce hábitats muy particulares en la zona costera, permitiendo el desarrollo de una vegetación característica y en gran parte ajena a los efectos de las lluvias esporádicas (Zizka 1992), facilitando aquí la formación de endemismos locales. En el sector costero, entonces, el endemismo obedecería al aislamiento general de la flora y la restricción de la vegetación a quebradas y áreas de neblina desconectadas entre sí, pudiendo ser incluso mayor que en la zona andina.

El objetivo principal de este trabajo es determinar las áreas de máxima biodiversidad dentro de la Región de Antofagasta, utilizando los criterios de riqueza taxonómica (especie, género y familia) y endemismos. Por otra parte, considerando que en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado chileno (SNASPE) existe una notoria subrepresentación ecosistémica del Desierto y las Zonas Áridas (Benoit 1996), como un segundo objetivo se contrasta la representación de esta biodiversidad con la situación actual de protección en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas de la Región.

#### MATERIALES Y METODOS

La información florística utilizada corresponde a 8 784 colecciones que se encuentran incorporadas en la base de datos integrada de la Flora de la II Región de Chile (versión julio 1998) donde cada colecta está catalogada de acuerdo a la latitud y longitud (Marticorena et al. 1998) (Fig. 1). Dentro de la base de datos, cada especie posee un atributo de procedencia: a) endémica a Chile, b) nativas a Chile (pero no endémica), y c) ad-

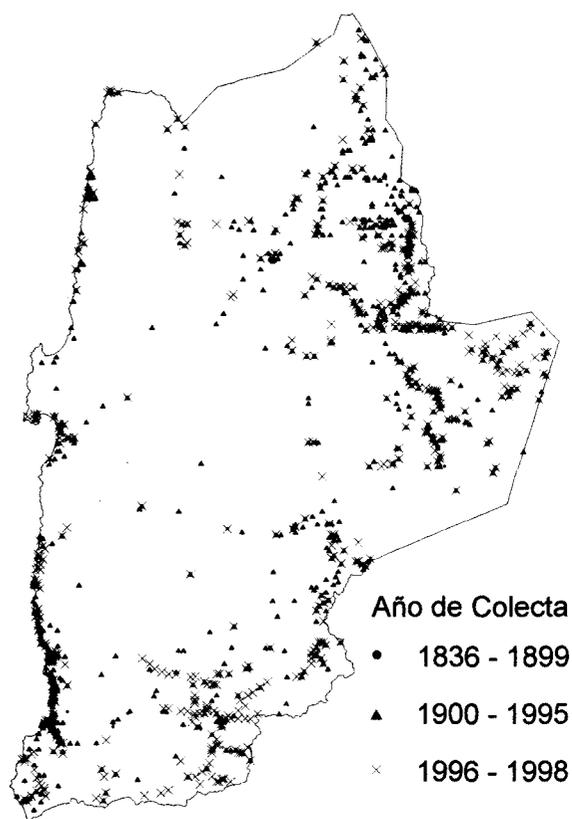


Fig. 1: Localización de los sitios de colecta de la base de datos de la flora de la Región de Antofagasta, Chile (actualizada a julio 1998). Se muestran en forma separada los sitios de colectas para los períodos 1836-1899, 1900-1995 y 1996-1998.

Location of survey sites used to make the baseline data for the flora of Antofagasta Region, Chile (up dated at July 1998). Survey sites for 1836-1899, 1900-1995 y 1996-1998 are showed separately.

venticia (introducida a Chile); y de forma de vida: a) anual, b) bianual, c) hierba perenne, d) subarbusto, e) arbusto y f) árbol (Marticorena et al. 1998).

La Región de Antofagasta fue dividida utilizando las unidades vegetacionales definidas por Gajardo (1994) (Fig. 2). El trabajo de Gajardo (1994), junto con ser el más actualizado a nivel nacional, tiene la virtud de entregar una clasificación vegetacional con criterios homogéneos para todo Chile, lo que permitiría posteriores comparaciones. Esta clasificación fue preparada específicamente para analizar el grado de cobertura del SNASPE, a solicitud de CONAF en 1983 (Benoit 1996).

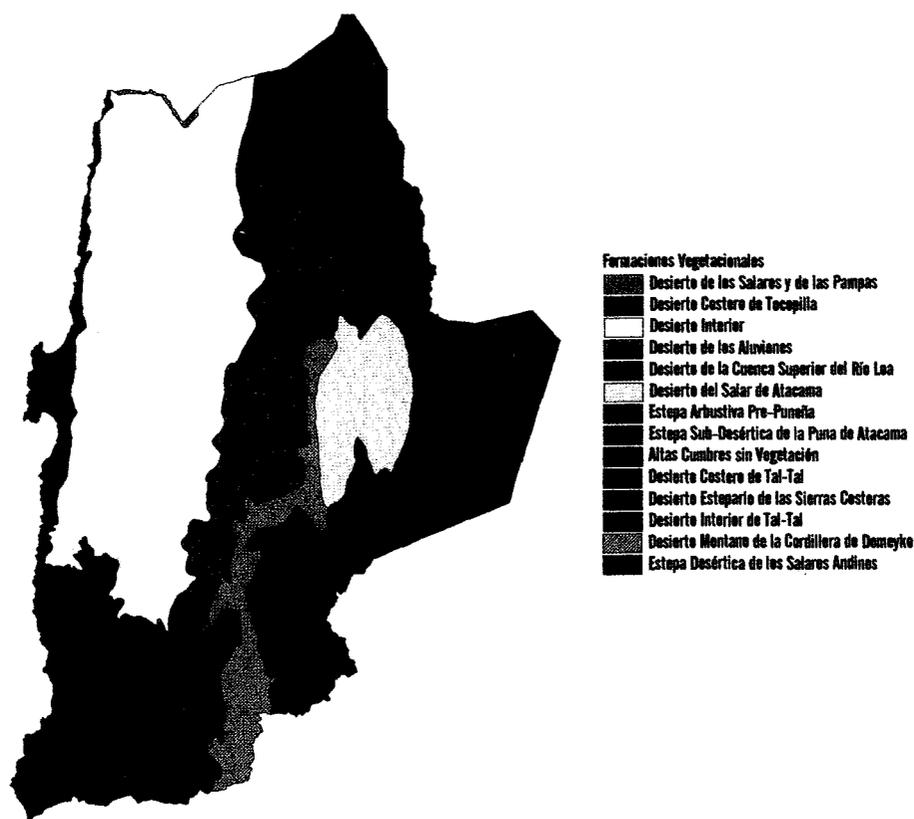


Fig. 2: Formaciones Vegetacionales de la Región de Antofagasta, Chile (según Gajardo 1994).

Plant Formations in the Antofagasta Region, Chile (after Gajardo 1994)

Utilizando un sistema de información geográfica (ARC/INFO) para integrar la información proveniente de la base de datos de la Flora de la II Región con la cobertura de las formaciones vegetacionales, se determinó el número de especies, géneros y familias, así como sus características de procedencia y forma de vida para cada formación vegetal. Dado que el número de taxa es dependiente del área de muestreo en forma logarítmica, la biodiversidad taxonómica (B) se calculó como:  $B = n_i / \ln A_i$ , donde  $n_i$  es el número de taxa (especies, géneros o familias), y  $\ln A_i$  es el logaritmo natural del área de la unidad vegetal (en  $\text{km}^2$ ).

La diversidad de formas de vidas es un indicador de la biodiversidad de grupos funcionales dentro de una comunidad. La diversidad de formas de vida se calculó como el exponente de  $H'$  ( $e^{H'}$ ), donde

$H' = - \sum p_i \ln p_i$ , y  $p_i$  es la proporción de especies que presentan la forma de vida  $i$ -ésima. El valor de  $e^{H'}$  indica el número de formas de vida dominantes (Arroyo et al. 1988).

Para generar un índice de diversidad biológica compuesta que integre la biodiversidad taxonómica a sus tres niveles y el grado de endemismo, se estandarizó cada una de las 4 variables entre 0 y 1, y luego para cada formación vegetal se sumaron las variables estandarizadas. Este índice de biodiversidad compuesto puede tomar valores entre 0 y 4.

#### *Variables fisiográficas y climáticas*

Cada unidad vegetal fue caracterizada por un conjunto de variables fisiográficas y climáticas. Las variables fisiográficas se obtuvieron mediante la interpretación cartográfica basada en un muestreo sistemáti-

co de todas las cartas oficiales 1:50 000 del Instituto Geográfico Militar que cubren la II Región de Antofagasta, utilizando como base su red de coordenadas UTM en una rejilla de 4 x 4 km (Börgel 1996, Dwivedi et al. 1993, Mäckel & Walther 1984, Lavee 1986, Thomas 1991, Thron 1988). Las variables fisiográficas analizadas fueron:

a) Geomorfológicas: Para cada unidad vegetacional se cuantificó la importancia relativa de las unidades fisiográficas de: llanos, bolsones, conos, abanicos, afloramientos de rocas, depósitos de lava, depósitos de arena, planicies, piedemonte, depósitos aluviales y depósitos aluvionales (Selby 1991). Para cada unidad vegetacional se calculó el exponente de H' geomorfológico.

b) Amplitud de elevación: Corresponde a la diferencia altitudinal entre el punto de muestreo en la carta y la altitud dominante en un radio de un km. Las diferencias fueron agrupadas en tres tramos (0 -100 m, 100 - 200 m, > 200 m). Para cada unidad vegetacional se calculó el exponente de H' delta de elevación.

c) Exposición: Para cada punto de muestreo se determinó su exposición en 4 orientaciones (nor-este, nor-oeste, sur-este, sur-oeste). Para cada unidad vegetacional se calculó el exponente de H' exposición.

d) Altitud: Se registró la altitud de cada punto de muestreo, con la que se calculó el valor medio para cada unidad vegetacional.

e) Pendiente: Para cada punto de muestreo se calculó la pendiente, expresada en grados de inclinación. Estos resultados se agruparon en tres categorías (estable= 0 a 5°, moderada= 5 a 15°, e inestable > 15°). Para cada unidad vegetacional se calculó el exponente de H' pendiente, que se relaciona inversamente con los procesos pedogenéticos (Panizza 1990). Las unidades más estables y mayor pedogénesis corresponden a exponentes de H' pendiente cercanos a uno.

f) Drenaje Permanente: Corresponde a la densidad de la red de drenaje asociada a ríos y vegas con escurrimiento permanente de agua. Se expresa como densidad (i.e., km lineales/superficie de la unidad vegetacional).

g) Drenaje Esporádico: Corresponde a la densidad de la red de drenaje asociada a quebradas, esteros y cauces encajonados sin escurrimiento permanente de agua. Se expresa como densidad (i.e., km lineales / superficie de la unidad vegetacional).

Las variables climáticas analizadas están basadas en Santibáñez (1982). Estas variables fueron: temperatura mínima de julio, temperatura máxima de enero, amplitud térmica, precipitación y excedente hídrico. Utilizando SIG, las coberturas de estas variables climáticas fueron cruzadas con la cobertura de formaciones vegetacionales, obteniéndose un valor medio para cada unidad vegetacional.

#### *Generación de modelos explicativos y análisis de residuales*

Con la finalidad de obtener modelos explicativos de las variables biológicas, se realizó una regresión lineal paso a paso para cada una de las variables biológicas. El análisis de los residuales permite ubicar las unidades vegetacionales que se escapan del modelo y, por lo tanto, detectar áreas de alta biodiversidad (Mourelle & Ezcurra 1996, 1997).

## RESULTADOS

### *Fortaleza de la base de datos*

Los registros de colecta incorporados a la base de datos se inician en el año 1836 (Fig. 1). En la base de datos existen 272 colectas del siglo pasado, 1 737 del período 1900-1949 y 4 170 del período 1959 al 1995. Durante este proyecto (1996-1998) se incorporaron 2 467 colectas nuevas. Un pequeño número de colectas no posee registro del año (181 colectas). No se incluyeron en esta base de datos las colectas que están en proceso de determinación.

Una medida de la fortaleza de la base de datos es la relación número de especies/número de colectas. Este índice que va desde 1 especie/colecta (considerado muy débil)

hasta cerca de cero especies/colecta (que indica sobre colecta a esa escala de muestreo). A nivel de la Región de Antofagasta, la relación especies/colecta es de 0,11 indicando un conocimiento adecuado de la flora a esta escala (Tabla 1). También se encuentran valores bajos al comparar las especies por su origen (i.e., especies nativas endémicas, no endémicas y adventicias).

A nivel de unidad vegetacional, cuatro de ellas poseen valores superiores a 0,5 especies/colecta sugiriendo que aún no estarían adecuadamente muestreadas. Estas unidades corresponden al Desierto de los Salares y de las Pampas (0,61 especies/colecta), Desierto Estepario de las Sierras Costeras (0,59), Altas Cumbres sin Vegetación (0,57) y Desierto Interior (0,51). Sin embargo, estas corresponden a zonas donde casi no existe vida vegetal, de modo que por mucho que el área sea visitada no hay especies para coleccionar. Por otro lado, las unidades mejor colectadas corresponden al Desierto Costero de Taltal (0,17 especies/colecta) y la Estepa Subdesértica de la Puna de Atacama (0,20).

Considerando el origen, las especies adventicias muestran altos valores de especies/

colecta en todas las unidades vegetacionales, indicando un submuestreo sistemático de este grupo de plantas. Por otro lado, la relación especies endémicas/colectas es superior a 0,5 en 6 de las 14 unidades vegetacionales, donde destacan nuevamente el Desierto de los Salares y de las Pampas (1,0), las Altas Cumbres sin Vegetación (0,85) y la Estepa Desértica de los Salares Andinos (0,69).

#### *Niveles de biodiversidad taxonómica, biodiversidad a nivel de especie*

Las áreas con mayor biodiversidad a nivel de especies de plantas vasculares se concentran en los sectores costeros y hacia el sur de la Región, y en las unidades prepuneña y puneña hacia el norte de ella (Fig. 3). Dentro de estas, la unidad Desierto Costero de Taltal con sus 532 especies posee el mayor valor de biodiversidad (68,9 especies/ln área), cerca del doble de las unidades que le siguen (ca. 30) (Tabla 2). Las áreas de menor biodiversidad se concentran en los desiertos interiores, en la Cordillera de Domeyko y en la Altas Cumbres sin Vegetación.

TABLA 1

Número de especies en relación al número de colectas de esas especies por unidad vegetacional en la II Región de Antofagasta.

Number of species in relation to the numbers of collections per vegetation unit in the Antofagasta II Region.

Formación vegetacional	Número de especies/Número de colectas				Total colectas (número)
	Total especies	Nativa no endémica	Endémica	Adventicia	
N0 Desierto de los Salares y de las Pampas	0,61	0,56	1,00	1,00	28
N1 Desierto Costero de Tocopilla	0,29	0,30	0,26	0,63	891
N2 Desierto Interior	0,51	0,49	0,47	0,78	164
N3 Desierto de los Aluviones	0,39	0,38	0,34	0,57	283
N4 Desierto de la Cuenca Superior del río Loa	0,39	0,36	0,46	1,00	284
N5 Desierto del Salar de Atacama	0,41	0,36	0,56	0,55	242
N6 Estepa Arbustiva Prepuneña	0,26	0,23	0,34	0,46	1076
N7 Estepa Subdesértica de la Puna de Atacama	0,20	0,18	0,35	0,73	1472
N8 Altas Cumbres sin Vegetación	0,57	0,53	0,85	1,00	143
S1 Desierto Costero de Taltal	0,17	0,20	0,14	0,44	3045
S2 Desierto Estepario de las Sierras Costeras	0,59	0,61	0,55	0,86	332
S3 Desierto Interior de Taltal	0,42	0,35	0,47	0,92	244
S4 Desierto Montano de la Cordillera de Domeyko	0,39	0,35	0,52	1,00	229
S5 Estepa Desértica de los Salares Andinos	0,38	0,35	0,69	1,00	316
Total II Región	0,11	0,10	0,11	0,27	8784

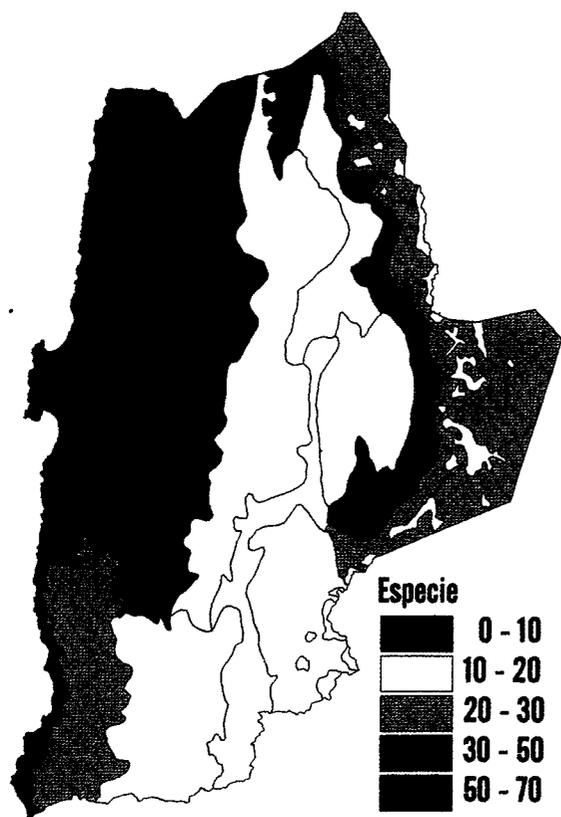


Fig. 3: Biodiversidad a nivel de especies de plantas vasculares en la Región de Antofagasta, Chile. La biodiversidad fue calculada como el número de especies / ln área de la formación vegetal.

Biodiversity at plant species level for vascular plants in the Antofagasta Region, Chile. Biodiversity was calculated as number of species / ln plant formation area.

#### *Biodiversidad a nivel de género*

En comparación a la biodiversidad específica, la biodiversidad a nivel de géneros disminuye en las formaciones vegetacionales Estepa Arbustiva Prepuneña y en el Desierto Montano de la Cordillera de Domeyko (Fig. 4). La formación vegetal Desierto Costero de Taltal presentó el mayor valor de diversidad (33,2 géneros/ln área), que corresponde a 256 géneros distintos (Tabla 2).

#### *Biodiversidad a nivel de familia*

Al nivel de familia, se destaca con mayor valor de biodiversidad el sector costero, especialmente la porción sur de la Región. La

zona andina norte presenta valores intermedios, y los desierto interiores y preandinos los menores valores (Fig. 5). Al igual que a nivel específico y genérico, el Desierto Costero de Taltal presentó el mayor número de familias, seguido por el Desierto Costero de Tocopilla y el Desierto Estepario de las Sierras Costeras (Tabla 2).

#### *Procedencia de la flora, endemismo*

Para evaluar si existen cambios latitudinales y altitudinales de endemismo en la flora regional, se comparó la proporción de especies endémicas a Chile en la flora de cada formación vegetal (Fig. 6). Tanto al sur como al norte de la Región, el porcentaje de especies endémicas disminuye con la altitud. Comparando su distribución norte-sur en la Región, a una altura equivalente, las formaciones vegetacionales meridionales poseen mayor porcentaje de especies endémicas (Fig. 6, Tabla 2). La unidad vegetal Desierto Estepario de las Sierras Costeras presentó el mayor porcentaje de especies endémicas (60,5%), seguida de las dos unidades costeras (ca. de 50%).

#### *Flora adventicia*

En la Región de Antofagasta se distinguen tres áreas con altos porcentajes de especies adventicias en su flora: a) zona norte a baja y mediana altitud, b) Desierto del Salar de Atacama y Estepa arbustiva Prepuneña, y c) zona sur a baja altitud (Fig. 7). El mayor número de especies adventicias en las formaciones vegetacionales de la Región de Antofagasta se localiza en el Desierto Costero de Taltal con 61 especies, mientras que la flora del Desierto del Salar de Atacama presentó el mayor porcentaje de especies adventicias (21% de la flora) (Tabla 2).

#### *Biodiversidad compuesta*

Las formaciones vegetacionales de la costa presentaron la mayor biodiversidad com-

TABLA 2

Número de taxa (especie, género y familia), biodiversidad taxonómica, procedencia y endemismo, y diversidad de formas de vida para las formaciones vegetacionales presentes en la Región de Antofagasta, Chile. Las formaciones vegetacionales se ordenaron según su posición latitudinal (N= Norte, S= Sur) y longitudinal (desde Oeste hacia el Este)

Number of taxa (species, genera and family), taxonomic biodiversity, locality and endemism, and diversity of life forms for plant formations in the Antofagasta Region, Chile. Plant formations were ordered according to their latitudinal position (N = North, S = South) and longitudinal (from West to East)

Formación vegetacional (1)	Número			Biodiversidad (2)			Procedencia de la especie (N°)			Endemismo %	Adventicias (%)	exp H' (Forma de vida)
	Especie	Género	Familia	Especie	Género	Familia	Nativa no endémica	Endémica	Adventicia			
N0 Desierto de los Salares y de las Pampas	17	14	9	3,3	2,8	1,8	14	1	2	5,9	11,8	3,26
N1 Desierto Costero de Tocopilla	259	158	63	32,5	19,8	7,9	97	133	29	51,4	11,2	3,79
N2 Desierto Interior	84	62	37	8,0	5,9	3,5	39	31	14	36,9	16,7	4,02
N3 Desierto de los Aluviones	110	79	36	11,4	8,2	3,7	77	20	13	18,2	11,8	3,96
N4 Desierto de la Cuenca Superior del río Loa	110	73	38	12,9	8,6	4,5	80	29	1	26,4	0,9	4,08
N5 Desierto del Salar de Atacama	100	68	29	11,4	7,8	3,3	65	14	21	14,0	21,0	3,77
N6 Estepa Arbustiva Prepuneña	281	157	48	30,9	17,3	5,3	208	41	32	14,6	11,4	3,92
N7 Estepa Subdesértica de la Puna de Atacama	289	138	46	30,0	14,3	4,8	234	44	11	15,2	3,8	3,66
N8 Altas Cumbres sin Vegetación	81	54	27	10,1	6,7	3,4	69	11	1	13,6	1,2	3,56
S1 Desierto Costero de Taltal	532	256	90	8,9	33,2	11,7	191	280	61	52,6	11,5	3,75
S2 Desierto Estepario de las Sierras Costeras	195	117	56	21,7	13,0	6,2	65	118	12	60,5	6,2	3,86
S3 Desierto Interior de Taltal	102	68	32	11,2	7,4	3,5	55	35	12	34,3	11,8	3,92
S4 Desierto Montano de la Cordillera de Domeyko	90	52	26	10,3	6,0	3,0	62	25	3	27,8	3,3	4,03
S5 Estepa Desértica de los Salares Andinos	120	67	33	13,6	7,6	3,8	101	18	1	15,0	0,8	3,50
Total II Región	979	367	101	83,6	31,2	8,6	490	372	100	38,7	10,4	3,78

(1) Unidades vegetacionales según Gajardo (1994).

(2) Índice de Biodiversidad = N° taxa / ln área

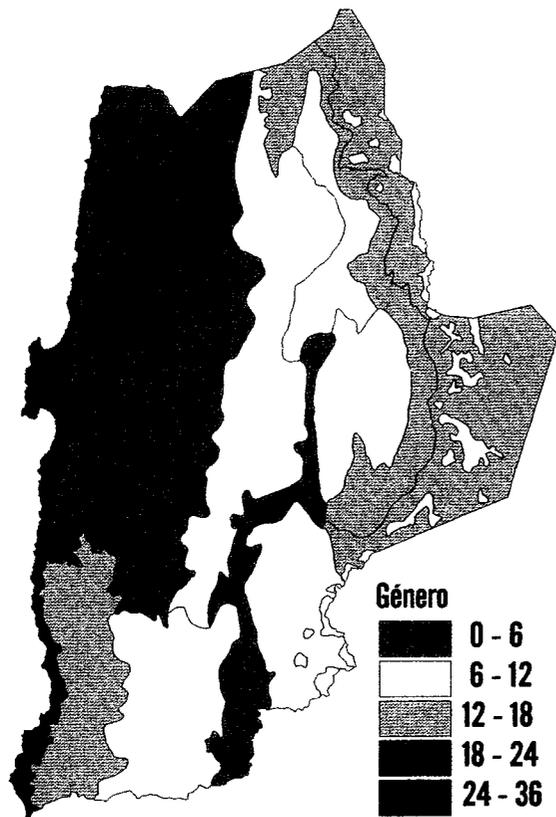


Fig. 4: Biodiversidad a nivel de géneros de plantas vasculares en la Región de Antofagasta, Chile. La biodiversidad fue calculada como el número de géneros / ln área de la formación vegetal.

Biodiversity at genus level for vascular plants in the Antofagasta Region, Chile. Biodiversity was calculated as number of genera / ln plant formation area.

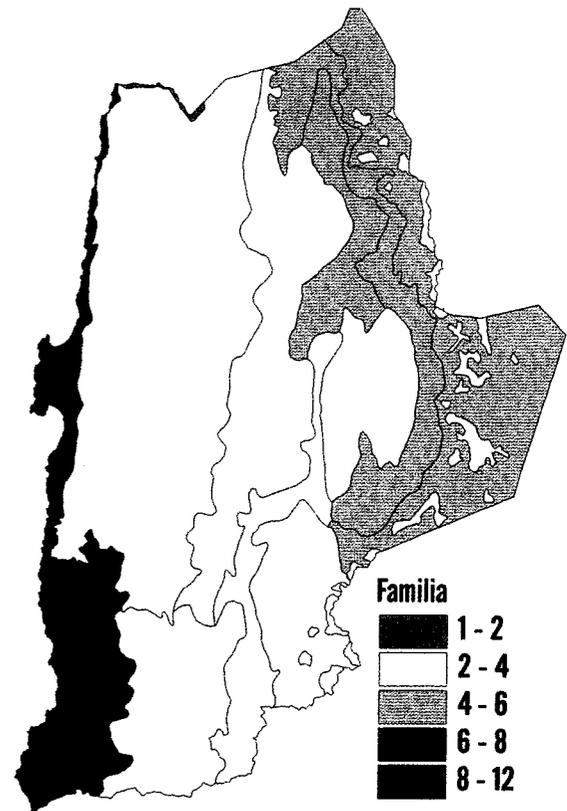


Fig. 5: Biodiversidad a nivel de familias de plantas vasculares en la Región de Antofagasta, Chile. La biodiversidad fue calculada como el número de familias / ln área de la formación vegetal.

Biodiversity at family level for vascular plants in the Antofagasta Region, Chile. Biodiversity was calculated as number of families / ln plant formation area.

puesta (Fig. 8). El Desierto Costero de Tal-tal presentó la mayor biodiversidad compuesta individual, con valores máximos para los tres niveles taxonómicos. Sin embargo, el Desierto Estepario de las Sierras Costeras posee una mayor proporción de especies endémicas en su flora, con lo que se ubica en tercer lugar regional. La segunda formación con mayor valor de biodiversidad compuesta correspondió al Desierto Costero de Tocopilla. En la zona cordillera, destacan las formaciones de prepuna y puna del norte (Fig. 8).

En sentido oeste-este, la biodiversidad disminuye claramente con el incremento altitudinal en las formaciones vegetacio-

nales del extremo meridional de la Región; mientras que en el norte, la región del Desierto Interior hasta el Salar de Atacama posee menor biodiversidad, coincidiendo con el área de menor precipitación (Arroyo et al. 1988, Squeo et al. 1994a, 1994b).

#### *Diversidad de formas de vida*

En las formaciones vegetacionales analizadas,  $e^H$  varía entre 3,26 y 4,08 (Tabla 2). Las formaciones vegetacionales con mayores valores de  $e^H$  se encuentran a elevaciones intermedias, tanto en el sector norte como sur de la Región (Fig. 9).

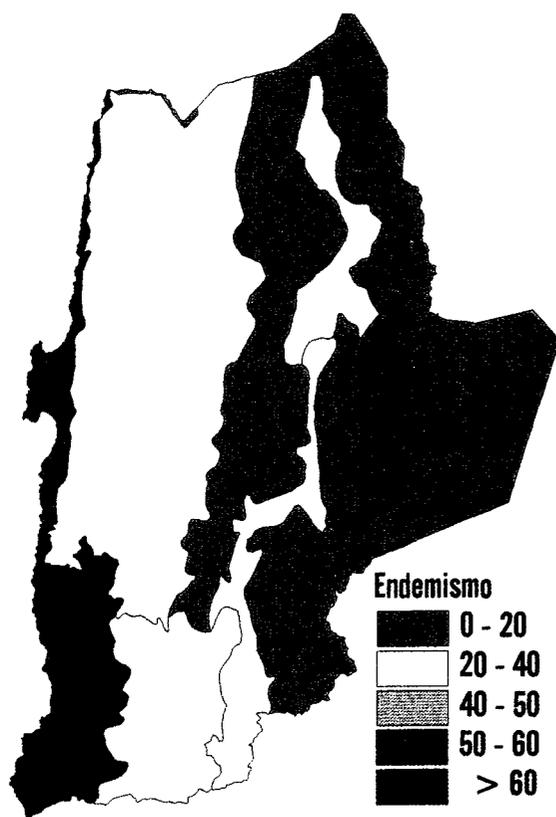


Fig. 6: Porcentaje de especies endémicas a Chile en cada formación vegetal de la Región de Antofagasta, Chile.

Percentage of endemic species to Chile in each plant formation of the Antofagasta Region, Chile

#### Modelos explicativos

Utilizando un conjunto de 12 variables ambientales, se obtuvo un modelo de regresión múltiple para cada variable de biodiversidad (ver detalles en Anexos 1 y 2). Se excluyó en todos estos análisis a la formación vegetal Desierto de los Salares y de las Pampas debido a su baja representación en la Región de Antofagasta (Tabla 5), y a su alto valor de especies/colectas (Tabla 1). Los resultados alcanzados por estos análisis son:

#### Especie

El modelo de regresión múltiple que mejor explica la biodiversidad a nivel de especies contiene las variables: temperatura máxima de enero, precipitación, altitud, drenaje perma-



Fig. 7: Porcentaje de especies adventicias en cada formación vegetal de la Región de Antofagasta, Chile.

Percentage of adventitious species in each plant formation of the Antofagasta Region, Chile

nente y esporádico. El análisis de los residuales muestra que la unidad vegetal Desierto Costero de Taltal tiene mayor biodiversidad de la explicada por el modelo (i.e., 109 especies más de lo predicho por el modelo).

#### Género

Un modelo con dos variables permite explicar el comportamiento de la diversidad de géneros (i.e., precipitación y temperatura mínima de julio). La formación Desierto Costero de Taltal presentó 75 géneros adicionales a lo esperado por el modelo.

#### Familia

El modelo de regresión múltiple que mejor explica la diversidad de familias contiene

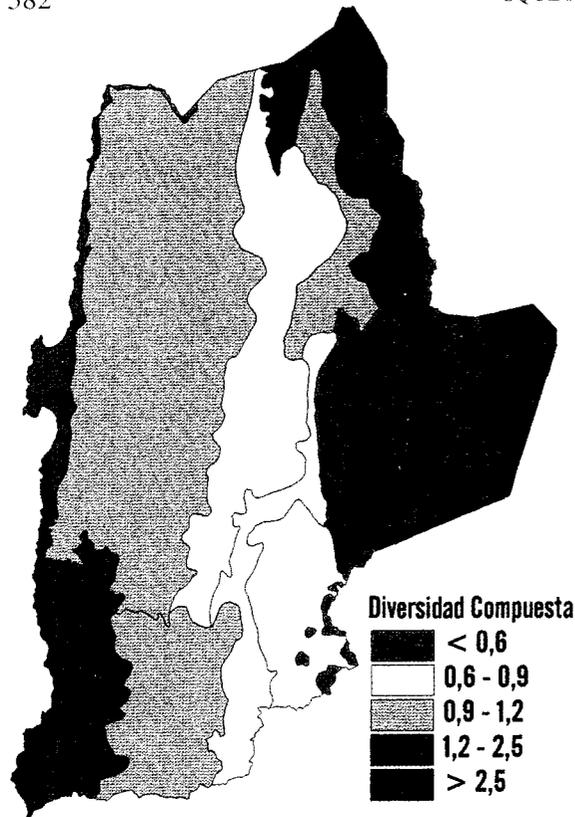


Fig. 8: Biodiversidad compuesta de cada formación vegetal de la Región de Antofagasta, Chile. Este índice incluye la biodiversidad taxonómica a nivel de especie, género y familia, y el porcentaje de endemismo.

Composite biodiversity of each plant formation in the Antofagasta Region, Chile. This index includes the taxonomic biodiversity at species, genus and family level, and the percentage of endemism.

las variables amplitud térmica, temperatura mínima de julio, precipitación, altitud, drenaje esporádico y permanente. Las unidades Desierto de los Aluviones y Desierto Costero de Taltal poseen 17 y 11 familias adicionales a las explicadas por el modelo, respectivamente.

#### *Endemismo*

Este parámetro es explicado por la temperatura mínima de julio, excedente hídrico y altitud. El análisis de los residuales muestra que la unidad vegetal Desierto Estepario de las Sierras Costeras se escapa del modelo, presentando un endemismo 11,4% mayor al predicho por el modelo.

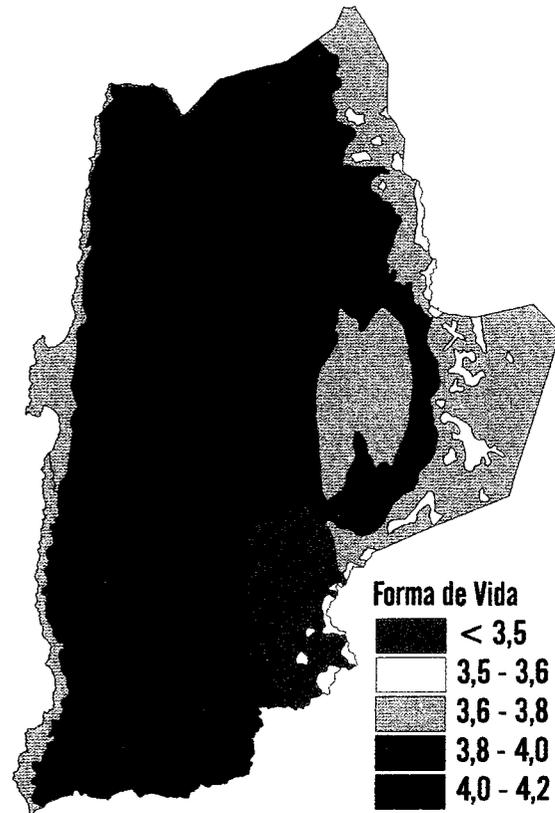


Fig. 9: Diversidad de formas de vida en la región de Antofagasta, Chile.

Life form diversity in the Antofagasta Region, Chile

#### *Adventicias*

El modelo de regresión múltiple que mejor explica el porcentaje de especies adventicias contiene las variables drenaje esporádico, amplitud térmica y altitud. Las formaciones Desierto del Salar de Atacama y Estepa Arbustiva Prepuneña poseen 4 y 12 especies adventicias adicionales a las predichas por el modelo, respectivamente.

#### *Biodiversidad compuesta*

El modelo de regresión múltiple que mejor explica la diversidad compuesta, índice construido con la biodiversidad a los tres niveles taxonómicos y el endemismo, contiene las variables temperatura mínima de julio, precipitación y escurrimiento esporádico. El análisis de residuales muestra que la formación vegetal Desierto Costero

de Taltal presentó un índice de biodiversidad compuesto 0,86 unidades mayor al predicho por el modelo.

#### *Forma de vida*

La diversidad de formas de vida es explicada completamente con un modelo de regresión lineal múltiple que incluye la temperatura mínima de julio, la temperatura máxima de enero, precipitación, excedente hídrico, diversidad geomorfológica y altitud, quedando muy poco residual.

#### *Relaciones entre los niveles taxonómicos*

La proporción de especies/género, una medida de la diversificación de la flora, muestra los mayores valores en el Desierto Costero de Taltal y en la Estepa Subdesértica de la

Puna de Atacama (ca. 2,1 especies/género) (Tabla 3). Sin embargo, estos cuocientes son menores al compararlos con el encontrado a nivel regional (2,7 especies/género). Esta misma tendencia se mantiene en los cuocientes géneros/familia y especies/familia.

Excluyendo el Desierto de los Salares y de las Pampas, las formaciones Desierto Interior y Desierto de los Aluviones son las que presentan la menor relación especies/género, lo que indica un empobrecimiento florístico superior al presentado por las otras formaciones vegetacionales de la Región.

#### *Representación de la biodiversidad en el Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)*

El Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas del Estado, en la II Región de

TABLA 3

Proporciones entre niveles taxonómicos en la flora de las formaciones vegetacionales de la Región de Antofagasta.

Proportions between taxonomic levels in the flora of the plant formations in the Antofagasta Region

Formación vegetacional	Especie / Género	Género / Familia	Especie / Familia
N0 Desierto de los Salares y de las Pampas	1,21	1,56	1,89
N1 Desierto Costero de Tocopilla	1,64	2,51	4,11
N2 Desierto Interior	1,35	1,68	2,27
N3 Desierto de los Aluviones	1,39	2,19	3,06
N4 Desierto de la Cuenca Superior del río Loa	1,51	1,92	2,89
N5 Desierto del Salar de Atacama	1,47	2,34	3,45
N6 Estepa Arbustiva Prepuneña	1,79	3,27	5,85
N7 Estepa Subdesértica de la Puna de Atacama	2,09	3,00	6,28
N8 Altas Cumbres sin Vegetación	1,50	2,00	3,00
S1 Desierto Costero de Taltal	2,08	2,84	5,91
S2 Desierto Estepario de las Sierras Costeras	1,67	2,09	3,48
S3 Desierto Interior de Taltal	1,50	2,13	3,19
S4 Desierto Montano de la Cordillera de Domeyko	1,73	2,00	3,46
S5 Estepa Desértica de los Salares Andinos	1,79	2,03	3,64
Región de Antofagasta	2,67	3,63	9,69

Antofagasta, está integrado oficialmente por dos Parques Nacionales, dos Reservas Nacionales y un Monumento Nacional, que representan el 2,5 del área de la Región (Tablas 4 y 5) (Muñoz et al. 1996, Prado 1997). En estas unidades del SNASPE, están representadas nueve de las 14 formaciones vegetacionales presentes en la Región. La Estepa Desértica de los Salares Andinos es la formación mejor representada (27,7%), mientras que 3 formaciones poseen menos del 1% de su área dentro del SNASPE. Cinco de las cuales se encuentran localizadas completamente fuera del Sistema.

Al realizar un análisis regional basado en la relación número de especies / In área, se estima que 672 especies (69% de la flora) estarían incluidas dentro del SNASPE de la Región de Antofagasta. Sin embargo, sólo hay registros de 136 especies (14% de la flora) en los principales herbarios chilenos, colectadas dentro del SNASPE regional (Tabla 5). A nivel de formaciones vegetacionales, las floras mejor representadas en el SNASPE corresponderían a la Estepa Desértica de los Salares Andinos (88% de las especies = 105

especies), del Desierto Montano de la Cordillera de Domeyko (72% = 65 especies), y las Altas Cumbres sin Vegetación (69% = 56 especies). Por otro lado, se encuentran subrepresentadas las floras del Desierto Estepario de las Sierras Costeras (32% = 62 especies) y el Desierto Costero de Tocopilla (41% = 106 especies).

Si se considera dentro del SNASPE al Proyecto Reserva Nacional Paposó con un área de 300 km<sup>2</sup>, el número de especies incluidas del Desierto Costero de Taltal subiría al 78% de su flora (i.e., 413 especies). Ahora, una incorporación parcial del área de Paposó al SNASPE (ca. 100 km<sup>2</sup>), sumado a los 101 km<sup>2</sup> de Pan de Azúcar, resultaría en una representación del 69% de la flora del Desierto Costero de Taltal (365 especies).

#### DISCUSION

En este trabajo se propuso determinar las áreas de máxima biodiversidad dentro de la Región de Antofagasta, utilizando los crite-

TABLA 4

Nombre, ubicación administrativa y superficie de las unidades del Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) en la II Región de Antofagasta (basado en Muñoz et al. 1996, Prado 1997 e información de CONAF-II Región)

Name, administrative locality and surface of the unit of the National System of Wild Protected Areas (SNASPE) in the II Region of Antofagasta (based on Muñoz et al. 1996, Prado 1997 and information of CONAF - II Región)

Tipo (1)	Nombre	Provincia	Comuna	Superficie (km <sup>2</sup> )	Formaciones vegetacionales
PN	Llullaillaco	Antofagasta	Antofagasta	523	Desierto Montano de la Cordillera de Domeyko
				1830	Estepa Desértica de los Salares Andinos
				247	Altas cumbres sin vegetación
PN	Pan de Azúcar (2)	Antofagasta	Taltal	101	Desierto Costero de Taltal
				17	Desierto Estepario de las Sierras Costeras
RN	La Chimba	Antofagasta	Antofagasta	26	Desierto Costero de Tocopilla
RN	Los Flamencos	El Loa	San Pedro de Atacama	261	Estepa Subdesértica de la Puna de Atacama
				15	Estepa Arbustiva Prepuneña
				157	Desierto del Salar de Atacama
MN	La Portada	Antofagasta	Antofagasta	0,3	Desierto Costero de Tocopilla
PRN	Paposó (3)	Antofagasta	Taltal	300	Desierto Costero de Taltal

(1) PN= Parque Nacional, RN= Reserva Nacional, MN= Monumento Natural, PRN= Proyecto Reserva Nacional.

(2) El PN Pan de Azúcar tiene un área de 438,64 km<sup>2</sup>, de las cuales 117,9 km<sup>2</sup> están dentro de la II Región de Antofagasta.

(3) El Proyecto Reserva Nacional Paposó aún no constituye una unidad oficial dentro del SNASPE.

TABLA 5

Representación del Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) en las formaciones vegetacionales de la II Región de Antofagasta

Representation of the National System of Wild Protected Areas (SNASPE) in the plant formation of the Antofagasta II Region

Formación vegetacional	Area (km <sup>2</sup> )	Representación en el SNASPE		Especie	Estimación (1)		Porcentaje del Total	Especies colectadas en el SNASPE
		Area km <sup>2</sup>	%		Género	Familia		
Desierto de los Salares y de las Pampas	161							
Desierto Costero de Tocopilla	2 901	26	0,9	106	65	26	41	-
Desierto Interior	36 269							
Desierto de los Aluviones	15 654							
Desierto de la Cuenca Superior del río Loa	4 963							
Desierto del Salar de Atacama	6 349	157	2,5	58	39	17	65	21
Estepa Arbustiva Prepuneña	8 822	15	0,2	84	47	14	30	27
Estepa Subdesértica de la Puna de Atacama	15 450	261	1,7	167	80	27	63	32
Altas Cumbres sin Vegetación	3 130	247	7,9	56	37	19	69	44
Desierto Costero de Taltal (2)	2 255	101	4,5	322	154	54	60	0
Desierto Estepario de las Sierras Costeras	7 926	17	0,2	62	37	18	32	1
Desierto Interior de Taltal	9 366							
Desierto Montano de la Cordillera de Domeyko	6 242	523	8,4	65	38	19	72	14
Estepa Desértica de los Salares Andinos	6 614	1 830	27,7	105	58	29	88	66
Total Región de Antofagasta	126 000	3 145	2,5	672	251	69	69	136

(1) Número estimado de especies, géneros y familias basado en la relación N° de taxos / ln área.

(2) No se incluye el Proyecto Reserva Nacional Pajoso.

rios de riqueza taxonómica (especie, género y familia) y endemismos. Las áreas de mayor biodiversidad regional se localizan en la zona costera. Le siguen en importancia las formaciones de prepuna y puna al norte de esta Región.

El análisis de residuales a los tres niveles taxonómicos, destaca al Desierto Costero de Taltal como un área de alta biodiversidad. Esta formación también posee un bajo cuociente especies/género en comparación a las otras formaciones regionales, sugiriendo una flora relativamente completa.

La mayor diversidad en los desiertos costeros podría ser explicada, parcialmente, por la presencia de la "camanchaca" y la capacidad de las plantas de utilizar el agua de neblina gracias a la presencia de sistemas radiculares superficiales (Olivares et al., en preparación), y a la capacidad de responder en forma oportuna cuando ocurren eventos de precipitación (Squeo et al. 1994b, Ehleringer et al. 1998).

Las formaciones de Estepa Arbustiva Puneña y Estepa Subdesértica de la Puna de Atacama presentan valores intermedios de biodiversidad. Estas formaciones representan el límite meridional de la vegetación prepuneña y puneña de los Andes del Norte de Chile, la cual posee una alta biodiversidad más al norte (Arroyo et al. 1988). En contraste, el Desierto de los Aluviones, que presentó un mayor número de familias de lo predicho por el modelo, pero no de especies o géneros, y con uno de los más bajos cuociente especies/familia, representaría un claro ejemplo de empobrecimiento de la flora a consecuencia del aumento de la aridez a menor altitud. La extinción local de especies permitiría explicar bajos cuocientes especies/familia (Arroyo et al. 1995).

En comparación con Chile Central (Arroyo et al. 1995), todas las formaciones vegetacionales de la Región de Antofagasta poseen menor biodiversidad a nivel de especie y género. Por ejemplo, los cuadrantes de Concepción (2 100 km<sup>2</sup>) y Valparaíso (3 300 km<sup>2</sup>), que poseen áreas semejantes al Desierto Costero de Taltal (2

255 km<sup>2</sup>), muestran 672 y 799 especies nativas, con 346 y 356 géneros, respectivamente. En contraste, el Desierto Costero de Taltal, la formación vegetacional con mayor biodiversidad regional, sólo contiene 532 especies (de las cuales el 89% son nativas) y 256 géneros. Excluyendo al Desierto de los Salares y las Pampas, las otras formaciones vegetacionales en la Región de Antofagasta tienen mayor superficie y menor número de especies y géneros que el Desierto Costero de Taltal. Sin embargo, al comparar el cuociente especies/género de las áreas de Concepción (1,94) y Valparaíso (2,24), la formación Desierto Costero de Taltal posee un valor intermedio (2,1). Este resultado sugiere una calidad de biodiversidad taxonómica comparable entre estas unidades. A nivel regional, Antofagasta (2,67 especies/género en sus 126 000 km<sup>2</sup>) posee cerca de dos tercios del cuociente especies/género en comparación a Chile Central (4,05 en 103 740 km<sup>2</sup>), lo que indica una mayor especiación intragenérica de la flora de Chile Central.

En general, la flora de Chile está caracterizada por un alto nivel de endemismo (Marticorena 1990, Matthei 1995, Marticorena et al. 1995), superando el 50% de la flora. El conocimiento de las áreas de concentración de especies endémicas es fundamental para formular una estrategia para el uso sustentable y la conservación de la biodiversidad. El Desierto Estepario de la Sierras Costeras, con un 60,5% de endemismo, supera el valor de endemismo para la flora de Chile. Mientras que las formaciones vegetacionales de Desierto Costero están entre el 51,4 y el 52,6%.

Por otro lado, el bajo nivel de endemismo para Chile de la flora andina ya fue mostrado por Squeo et al. (1994a). Para la zona andina con lluvia de verano (entre 17° y 24°S), el endemismo a Chile es de un 13,6%, cifra cercana a lo reportado en este trabajo para las formaciones andinas al norte de los 24°S. Al sur de esta latitud, la Estepa Desértica de los Salares Andinos

posee un endemismo del 15%, valor semejante al de la flora andina de la Cordillera de Doña Ana (30°S, 12,3% de endemismo), pero más bajo que el 26,9% reportado para la zona con lluvia de invierno de la región andina del norte de Chile (entre 25° y 32°S). Bajos valores de endemismo a Chile son esperables en la zona andina debido a la similitud de los ambientes de ambas vertientes de la Cordillera de los Andes (Squeo et al. 1994a).

La presencia de especies adventicias es un buen indicador de actividad agro-pastoril. Los tres núcleos con mayor número de especies adventicias se localizan en las formaciones costeras y alrededor del Salar de Atacama. El análisis de residuales muestra que las formaciones Desierto del Salar de Atacama y Estepa Arbustiva Prepuneña presentan un mayor porcentaje de especies adventicias que el explicado por el modelo, coincidiendo con un área donde se concentra la presión agro-pastoril regional (Matthei et al., en preparación).

Benoit (1996) plantea que aunque el 18% del territorio chileno está dentro del Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), administrado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), este adolece de serias limitaciones producto de la subrepresentación de los ecosistemas de bosque templado, desierto y zonas áridas. El 2,5% de la superficie de la Región de Antofagasta se encuentra dentro del SNASPE. Esta área incluiría cerca de dos tercios de la flora regional. Sin embargo, las dos principales unidades del SNASPE en la Región se localizan en la zona andina (Arroyo et al. 1998) P.N. Llullaillaco y R.N. Los Flamencos). En la zona costera, la parte norte del P.N. Pan de Azúcar, Parque ubicado en sus tres cuartas partes en la Región de Atacama, incluye en su territorio de la Región de Antofagasta un 4,5% de la formación Desierto Costero de Taltal. Esta área debería tener unas 318 de las 532 especies de la formación, sin embargo es un área botánicamente inexplorada y no existen muestras herborizadas en los principales herbarios chilenos.

También ubicado en la formación Desierto Costero de Taltal, el proyecto Reserva Nacional Pajón, 300 km<sup>2</sup> entregados en comodato a CONAF, daría una buena protección a cerca de 400 especies. Sin embargo, su situación legal es compleja tratándose, principalmente, de terrenos particulares.

En contraste con el interés mostrado históricamente por la formación Desierto Costero de Taltal, el Desierto Estepario de las Sierras Costeras ha tenido menos atención. Esta última es la formación con mayor endemismo y altos valores de diversidad a nivel de familia y de formas de vida, y sólo se encuentra marginalmente representada dentro del SNASPE regional (i.e., P.N. Pan de Azúcar, 17 km<sup>2</sup>). Esa área protegida por el Estado debería poseer unas 62 especies (32% de la flora). Sin embargo, existe sólo una especie colectada. Por último, esta formación vegetacional cumple con la mayoría de los criterios ecológicos y prácticos planteados por Muñoz et al. (1996) para ser seleccionada como sitio prioritario de conservación.

#### PROYECCIONES DE LA INVESTIGACION

Como fue señalado con anterioridad, se estimaba que al inicio de este estudio la flora vascular de la Segunda Región comprendía un número cercano a los 800 taxa. Después de este estudio la flora vascular de la II Región estaría compuesta por 1 078 taxa (Marticorena et al. 1998).

Durante la ejecución de este estudio, se agregaron alrededor de 3 000 nuevas colecciones. Este nivel de recolección representa el 26% del total histórico de colecciones en la región; es decir, en dos años se colectó más de un cuarto de las colecciones realizadas durante más de un siglo. Esto ha permitido obtener una buena cobertura de las recolecciones en gran parte de la región, aunque quedan aún áreas que necesitan más estudio desde el punto de vista florístico. Esta situación se hace aún más dramática cuando nos centramos en unidades de menor área. Adicionalmente, hay

un sesgo histórico en las colecciones, dejando de lado las especies adventicias, plantas que pueden tener un impacto importante en las comunidades naturales.

La colecciones realizadas dentro de este estudio han permitido mejorar sustancialmente la Base de Datos de la Flora de Chile, especialmente en detectar especies, tanto nativas como introducidas, que con anterioridad no habían sido citadas para Chile o cuya presencia era dudosa (Marticorena et al. 1998). Esta información es absolutamente relevante en la elaboración de los futuros volúmenes de la Nueva Flora de Chile que se lleva a cabo en el Departamento de Botánica de la Universidad de Concepción en conjunto con una serie de instituciones tanto nacionales como internacionales (Rodríguez 1985). Hasta el presente, solamente la XII Región poseía un catálogo completo de su flora (Henríquez et al. 1995), ahora, gracias a la información obtenida durante este proyecto, se suma la II Región, y es de esperar que en el futuro cercano se pueda ampliar este esfuerzo a las otras regiones del país.

Por último, junto con llamar a continuar las colecciones programadas en las áreas menos colectadas, se propone que este tipo de análisis facilitarían la localización de nuevas áreas silvestres de protección potencial, tanto estatales como privadas.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Andrés Bodini por su apoyo en los análisis en el Sistema de Información Geográfica (Laboratorio CISIG, Departamento de Ciencias Sociales, Facultad de Humanidades, Universidad de La Serena). Dejamos constancia de nuestra gratitud al personal de la Corporación Nacional Forestal II Región por las facilidades para trabajar dentro del SNASPE, en especial al guardaparque Hugo Peña. Este trabajo fue financiado por el proyecto FONDECYT 5960016, Programa Sectorial Biomas y Climas Terrestres y Marinos del Norte de Chile.

#### LITERATURA CITADA

- AMIGO J & C RAMIREZ (1998) A bioclimatic classification of Chile: woodland communities in the temperate zone. *Plant Ecology* 136:9-26.
- AMMANN C (1996) Climate change in the trockenened Anden: Aktuelle Niederschlagsmuster. *Geographica Bernensia* 44: 83-125.
- ARROYO MTK, FA SQUEO, JJ ARMESTO & C VILLAGRAN (1988) Effects of aridity on plant diversity in the northern Chilean Andes: Results of a natural experiment. *Annals of Missouri Botanical Garden* 75: 55-78.
- ARROYO MTK, PH RAVEN & J SARUKHAN (1992) Biodiversity. En: Dooge JCI, GT Goodman, JWM la Rivière, J Marton-Lefèvre, T O'Riordan & F Praderie (eds.) *An Agenda of Science for Environment into the 21st Century*: 205-219 Cambridge University Press, Cambridge.
- ARROYO MTK, JJ ARMESTO, F SQUEO & J GUTIÉRREZ (1993) Global change: the flora and vegetation of Chile. En: Mooney HA, ER Fuentes & BI Kronberg (eds.) *Earth System Response to Global Change: Contrasts between North and South America*, 239-263. Academic Press, San Diego.
- ARROYO MTK, L CAVIERES, C MARTICORENA & M MUÑOZ (1995) Convergence in the Mediterranean Floras in Central Chile and California: Insights from comparative biogeography. En: MTK Arroyo, PH Zedler & MD Fox (eds) *Ecology and Biogeography of Mediterranean Ecosystems in Chile, California and Australia*. 43-88. Springer-Verlag.
- BENOIT I (1996) Representación ecológica del Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas del Estado. En: Muñoz M, H Núñez & J Yáñez (eds) *Libro Rojo de los Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica en Chile*: 149-159. Corporación Nacional Forestal (CONAF).
- BÖRGE L (1996) Métodos aplicados al análisis geográfico de la cartografía nacional. *Revista de Geografía Norte Grande* 23: 5-9.
- BEATLEY JC (1974) Phenological events and their environmental trigger in Mojave desert Ecosystems. *Ecology* 55:856-863.
- BRÜGGEN J (1950) *Fundamentos de la geología de Chile*. Santiago.
- COWLING R, ETF WITKOWSKI, AV MILEWSKI & KR NEWBEY (1995) Taxonomic, edaphic and biological aspect of plant endemism on matched sites in mediterranean Australia and South Africa. *Journal of Biogeography* 21:651-664.
- CROSSWHITE FS & CD CROSSWHITE (1984) A classification of life forms of the Sonoran desert, with emphasis on the seed Plants and their survival strategies. *Desert plant* Vol. 5 N° 4. University of Arizona press.
- DWIVEDI RS, TR SANKAR, L VENKATARATNAM & DP RAO (1993) Detection and delineation of various desert terrain features using Landsat-TM derived image transforms. *Journal of Arid Environment* 25: 151-162.
- EHLERINGER JR, PW RUNDEL, B PALMA & HA MOONEY (1998) Carbon isotope ratios of Atacama Desert plant reflect hyperaridity of region in northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 78-86.
- GAJARDO R (1994) *La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución Geográfica*. Editorial Universitaria, Santiago. 165 pp.
- GROSJEAN M, B MESSERLI & H SCHREIER (1991) *Seenhoschstände, Bodenbildung und Vergletscherung*

- im Altiplano Nordchiles: Ein interdisziplinärer Beitrag zur Klima geschichte der Atacama. Erste Resultate. In "Südamerika Geomorphologie und Paläoökologie im jüngeren Quartär", Bamberger Geographische Schriften 11: 99-108.
- FRANKLIN JF, K CROMACK, W DENISON, A MCKEE, C MASER, J SEDELL, F SAMSON & G JUDAY (1981) Ecological characteristics of old-growth Douglas-fir forests. USDA Forest Service, General Technical Report PNW 118, Portland.
- HANNAH L & I BOWLES (1995) Letters: Global priorities. *BioScience* 45(3): 122.
- HALFFTER G & E EZCURRA (1992) ¿Qué es la biodiversidad? En: Halffter G (ed) *La Diversidad Biológica en Iberoamérica I*: 2-24. *Acta Zoológica Mexicana* (número especial), Xalapa, Veracruz, México: 389 pp.
- HENRIQUEZ M, E PISANO & C MARTICORENA (1995) Catálogo de la flora vascular de Magallanes. *Anales del Instituto de la Patagonia* 52:1-20.
- KEMP PR (1983) Phenological patterns of Chihuahuan desert plant in relation to the timing of water availability. *Journal of Ecology* 71: 427-436.
- LAVEE H (1986) A deterministic simulation model for rainfall-runoff relationship on arid hillslopes. *Z. Geomorphologie N.F.* 58: 35-46.
- MÄCKEL R & D WALTHER (1984) Change of vegetation cover and morphodynamics - a study in applied geomorphology in the semi-arid land of Northern Kenya. *Z. Geomorphologie N.F.* 51: 77-93.
- MACMAHON JA & FH WAGNER (1985) *Hot Desert and Arid Shrublands*. A. *Ecosystem of the World* 12, Springer Verlag, Berlin.
- MAGURRAN AE (1988) *Ecological Diversity and its Measurements*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 212 p.
- MARTICORENA C, O MATTHEI, R RODRIGUEZ, MTK ARROYO, M MUÑOZ, FA SQUEO & G ARANCIO. Catálogo florístico de la Región de Antofagasta. *Gayana, Botánica* (1998). 55: 23-83
- MARTICORENA C (1990) Contribución a la estadística de la flora vascular de Chile. *Gayana, Botánica* 47: 85-113.
- MARTICORENA C, C VON BOHLEN, M MUÑOZ & MTK ARROYO (1995) Dicotiledoneas. En: Simonetti JA, MTK Arroyo, AE Spotorno & E Lozada (eds) *Diversidad Biológica de Chile*: 77-89. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica. Santiago, Chile.
- MATTHEI O (1995) *Manual de las malezas que crecen en Chile*. Editorial Alfabet. Santiago. 545 pp.
- MATTHEI O (1995) Monocotiledoneas. En: Simonetti JA, MTK Arroyo, AE Spotorno & E Lozada (eds) *Diversidad Biológica de Chile*: 70-76. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica. Santiago, Chile.
- MATTHEI O, C MARTICORENA, R RODRIGUEZ, MTK ARROYO, M MUÑOZ, FA SQUEO & G ARANCIO. Algunas características de la flora de malezas presentes en la Segunda Región de Chile. *Gayana, Botánica* (en prensa).
- MCNEELY J (1992). The biodiversity crisis: challenges for research and management. En: OT Sanlung, K Hindar & AHD Brown (eds) *Conservation of Biodiversity for Sustainable Development*: 15-26. Scandinavian University Press.
- MOURELLE, C & E EZCURRA (1996). Species richness of Argentine cacti: A test of biogeographic hypotheses. *Journal of Vegetation Science* 7: 667-680.
- MOURELLE, C & E EZCURRA (1997) Differentiation diversity of Argentine cacti and their relationship to environmental factors. *Journal of Vegetation Science* 8: 547-558
- MULROY T & P RUNDEL (1977) *Annual Plants: Adaptations to Desert Environments*. *BioScience* 27:109-114.
- MUÑOZ M, HERNANDEZ & J YAÑEZ (1996) Libro Rojo de los Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica en Chile. Corporación Nacional Forestal, Santiago. 203 pp.
- NORSE EA, KL ROSENBAUM, DS WICOVE, BA WILCOX, WH ROMME, DW JOHNSTON & ML STOUT (1986) *Conservation BioScience Diversity in our National Forest*. The Wilderness Society, Washington DC.
- NOSS RF (1990) Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology* 4: 355-363.
- OCHSENIUS C (1982) Atacama: The Hologenesis of the Pacific coastal desert in the context of the tropical South American Quaternary. En: Smiley TL (ed.) *The Geological Story of the World's deserts*. 112-131. STRIAE, Vol. 17.
- OLIVARES N, M LEON & FA SQUEO. Diversidad de sistemas radicales en especies perennes en la Reserva Nacional Pajón, II Región de Antofagasta, Chile. En preparación.
- PANIZZA M (1990) *Geomorfología Applicata*. La Nuova Italia Scientifica, Roma. 342 pp.
- PRADO JA (1997) *The Guide to Chile's National Parks and other Protected Areas*. Corporación Nacional Forestal, Santiago. 122 pp.
- RICKLEFS RE, MTK ARROYO, RE LATHAM, T M LEWINSOHN, DJ LODGE, NI PLATNICK & W WRIGHT (1995) Section 4: Magnitude and Distribution of Biodiversity; Chapter 3.2: The Distribution of Biodiversity. En: Heywood VH (ed.) *Global Biodiversity Assessment*, 139-173 Cambridge University Press, Cambridge.
- RODRIGUEZ R (1995) Pteridophyta. En: Simonetti JA, MTK Arroyo, AE Spotorno & E Lozada (eds.) *Diversidad Biológica de Chile*, 58-67. CONICYT, Chile, Santiago.
- 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.
- SELBY NJ (1991) *Earth's Changing Surface*. Clarendon Press, Oxford. xiv + 607 pp.
- SOLBRIG OT (1994) Biodiversity: An introduction. En: Solbrig OT, HM van Emden & PGWJ van Oordt (eds) *Biodiversity and Global Change*: 13-20. Cab International.
- SQUEO FA, H VEIT, G ARANCIO, JR GUTIERREZ, MTK ARROYO & N OLIVARES (1993) Spatial heterogeneity of high mountain vegetation in the Andean desert zone of Chile. *Mountain Research and Development* 13: 203-209.
- SQUEO FA, G ARANCIO, R OSORIO, MTK ARROYO & H VEIT (1994a) Flora y vegetación de los Andes desérticos de Chile. En Squeo FA, R Osorio & G Arancio (eds) *Flora de los Andes de Coquimbo: Cordillera de Doña Ana*. Ediciones de la Universidad de La Serena, La Serena (Chile): 1-17.
- SQUEO FA, JR EHLERINGER, N OLIVARES & G ARANCIO (1994b) Variation in leaf level energy balance components of *Encelia canescens* along a precipitation gradient in north-central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 67: 143-155.
- THOMAS DSG (1991) Arid geomorphology. *Progress in Physical Geography* 15: 156-163.
- THORN CE (1988) *Introduction to Theoretical Geomorphology*. Unwin Hyman, Boston. xv +247 pp.
- WEST, N.E. 1983. Overview of North American temperate deserts and semi-deserts. In *Temperate deserts and semi-deserts*, N. West Ed.. *Ecosystems of the World* 5, Elsevier Scientific Publishing Company.
- ZIZKA G (1992) El desierto y el desierto de neblina. En: Grau J & G Zizka (eds.) *Flora Silvestre de Chile* 19: 31-38. Palmengarten, Sonderheft.

## ANEXO 1

Resultados de las regresiones lineales múltiples para cada variable biológica. Las variables fisiográficas analizadas fueron: Geomorfológicas (GEOM), Delta de elevación (DELE), Exposición (EXPO), Altitud (ALTI), Pendiente (PEND), Drenaje permanente (DPER), Drenaje esporádico (DESP). Las variables climáticas analizadas están basadas en Santibáñez (1982). Estas variables fueron: temperatura mínima de julio (TJUL), temperatura máxima de enero (TENE), amplitud térmica (DTEM), precipitación (PP) y excedente hídrico (EHID).

Results of the multiple linear regressions for each biological variable. Analyzed variables were: Geomorphological (GEOM) delta of elevation (DELE), Exposition (EXPO), Altitude (ALTI), Slope (PEND), Permanent drainage (DPER), Sporadic drainage (DESP). Analyzed climatic variables, based on Santibáñez (1982) were: Minimum temperature during July (TJUL), Maximum temperature during January (TENE), Thermal scope (DTEM), Precipitation (PP) and water surplus (EHID).

BIODIVERSIDAD DE ESPECIES:  $r^2$  múltiple = 0,87

Factor	Coficiente	EE	t	P
TENE	1,4348	0,2659	5,40	0,0006
PP	0,7380	0,1556	4,74	0,0015
ALTI	-0,0198	0,0041	-4,86	0,0013
DPER	-2 461,0125	873,4564	-2,82	0,0226
DESP	188,8139	53,2427	3,55	0,0076

Análisis de Varianza					
Fuente	SC	gl	MC	F	P
Regresión	8 459,76	5	1 691,95	16,86	0,0005
Residual	803,06	8	100,38		

BIODIVERSIDAD DE GENEROS:  $r^2$  múltiple = 0,91

Factor	Coficiente	EE	t	P
TJUL	2,3307	0,2556	9,1200	0,0000
PP	0,3071	0,0287	10,6968	0,0000

Análisis de Varianza					
Fuente	SC	gl	MC	F	P
Regresión	2397,66	2	1198,83	63,92	0,0000
Residual	206,31	11	18,76		

DIVERSIDAD DE FAMILIAS:  $r^2$  múltiple = 0,96

Factor	Coficiente	EE	t	P
TJUL	0,5314	0,1578	3,37	0,0119
PP	0,0991	0,0171	5,80	0,0007
ALTI	-0,0016	0,0009	-1,62	0,1484
DPER	-223,1160	122,3274	-1,82	0,1109
DESP	22,8550	7,9256	2,88	0,0235
DPEM	0,1579	0,0891	1,77	0,1196

Análisis de Varianza					
Fuente	SC	gl	MC	F	P
Regresión	384,82	6	64,14	53,60	0,00002
Residual	8,38	7	1,20		

ENDEMISMO:  $r^2$  múltiple = 0,97

Factor	Coficiente	EE	t	P
TJUL	5,2346	0,3906	13,40	0,0000
EHID	0,2241	0,1055	2,13	0,0595
ALTI	0,0094	0,0008	11,46	0,0000

Análisis de Varianza					
Fuente	SC	gl	MC	F	P
Regresión	14 124,08	3	4708,03	115,63	0,0000
Residual	407,15	10	40,71		

ADVENTICIA:  $r^2$  múltiple = 0,92

Factor	Coficiente	EE	t	P
DESP	-35,6781	12,9190	-2,76	0,0200
DTEM	1,0271	0,1088	9,43	0,0000
ALTI	-0,0043	0,0008	-4,92	0,0006

Análisis de Varianza

Fuente	SC	gl	MC	F	P
Regresión	1 343,48	3	447,82	46,76	0,0000
Residual	95,76	10	9,58		

DIVERSIDAD DE FORMAS DE VIDA (e<sup>H</sup>FV): r<sup>2</sup> múltiple = 1,00

Factor	Coficiente	EE	t	P
TJUL	0,0919	0,0116	7,90	0,0001
TENE	0,0816	0,0047	17,47	0,0000
PP	0,0083	0,0015	5,46	0,0009
EHID	-0,0077	0,0019	-4,15	0,0043
GEOM	0,1549	0,0278	5,58	0,0008
ALTI	0,0004	0,0000	10,66	0,0000

Análisis de Varianza

Fuente	SC	gl	MC	F	P
Regresión	191,29	6	31,88	7691,26	0,0000
Residual	0,03	7	0,01		

BIODIVERSIDAD COMPUESTA: r<sup>2</sup> múltiple = 0,95

Factor	Coficiente	EE	t	P
TJUL	0,2714	0,0261	10,40	0,0000
PP	0,0283	0,0039	7,21	0,0000
DESP	2,1689	1,3207	1,64	0,1316

Análisis de Varianza

Fuente	SC	gl	MC	F	P
Regresión	31,89	3	10,63	71,16	0,0000
Residual	1,49	10	0,15		

ANEXO 2

Valores de la variables climáticas y fisiográficas de cada formación vegetacional utilizadas en este trabajo. (Ver nombre de las variables en Anexo 1).

Values of the variables at each plant formation (see Anex 1)

Formación	TENE	TJUL	DTEM	PP	EHID	ALTI	PEND	EXPO	DELE	GEOM	DPER	DESP
Altas Cumbres sin Vegetación	16,7	-8,4	25,1	91,4	68,02	4830	1,85	3,86	1,84	4,25	0,00486	0,15470
Desierto Costero de Taltal	24,5	9,1	15,4	7,4	0,0	625	1,72	2,92	2,44	3,32	0,0	0,14065
Desierto Costero de Tocopilla	23,7	9,8	13,9	5,7	0,0	426	1,74	3,39	2,88	4,94	0,00006	0,07388
Desierto Estepario de las Sierras Costeras	26,1	6,2	19,9	5,9	0,0	1700	1,12	3,54	1,97	2,52	0,0	0,07074
Desierto Interior	29,4	4,5	24,9	2,5	0,0	1398	1,20	3,75	2,51	3,78	0,00022	0,01627
Desierto Interior de Taltal	26,7	2,5	24,2	8,8	0,0	2412	1,04	2,71	1,63	3,08	0,00019	0,07782
Desierto Montano de la Cordillera de Domeyko	22,0	0,1	21,9	21,1	0,0	3439	1,28	3,62	2,02	3,23	0,00068	0,14725
Desierto de la Cuenca Superior del Río Loa	24,1	-2,4	26,5	48,1	3,31	3226	1,17	3,42	1,83	3,70	0,01594	0,25445
Desierto de los Aluviones	25,4	0,1	25,3	13,8	0,0	2573	1,33	3,40	1,84	3,55	0,00271	0,05551
Desierto de los Salares y de las Pampas	30,7	7,0	23,7	1,3	0,0	808	2,25	3,26	2,73	1,18	0,32179	1,85692
Desierto del Salas de Atacama	27,0	-1,6	28,6	31,1	0,16	2531	1,02	3,41	1,07	2,29	0,00274	0,04602
Estepa Arbustiva Prepuneña	21,9	-2,8	24,7	72,9	17,50	3458	1,45	3,71	1,98	2,77	0,00441	0,09872
Estepa Desértica de los Salares Andinos	18,9	-4,7	23,6	46,2	4,12	3667	1,22	3,67	1,74	3,07	0,00067	0,19615
Estepa Subdesértica de la Puna de Atacama	17,5	-8,6	26,1	117,8	66,39	4377	1,49	3,91	1,87	4,05	0,00179	0,03853