

UCH-FC
Biol. ambiental
D812
C.1



UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE
PREGRADO

“Conservación *in situ* de las cactáceas endémicas a Chile: propuesta de sitios prioritarios para la conservación por medio del ordenamiento espacial”

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Bióloga con mención en Medio Ambiente

MILÉN ANDREA DUARTE MUÑOZ

Director: Dr. Pablo Guerrero M.

Co-Director: Dr. Ramiro O. Bustamante

2011



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la Srta.:

MILÉN ANDREA DUARTE MUÑOZ

“Conservación *in situ* de las cactáceas endémicas a Chile: propuesta de sitios prioritarios para la conservación por medio del ordenamiento espacial”

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Bióloga con mención en medioambiente.

Dr. Pablo Guerrero

Director Seminario de Título

Dr. Ramiro O. Bustamante

Co-Director Seminario de Título



Comisión de Evaluación

Dr. Javier Simonetti
Presidente Comisión

Dr. Pablo Sabat

Evaluador

Santiago de Chile, _____ de 2011

Milén Andrea Duarte Muñoz cursó su educación básica y media en el colegio Divina Pastora, en la comuna de La Florida, graduándose de secundaria el año 2003. A fines de ese año, junto a millares de jóvenes chilenos da la primera prueba PSU que le permite ingresar a la Educación Superior al siguiente año, específicamente a la Carrera de Biología con Mención en Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile. A partir del año 2011 ingresó al programa de Magister en Cs. Biológicas en la misma casa de estudios, donde se prepara para comenzar su tesis en el Laboratorio de Ecología Terrestre.



RESUMEN



La conservación de la biodiversidad se ha convertido en una de las principales preocupaciones para los gobiernos y la sociedad mundial en general. Entonces, se ha vuelto necesario desarrollar herramientas que a partir de la información existente propongan soluciones que faciliten la toma de decisiones. La planificación sistemática para la conservación es una herramienta que analiza espacialmente los datos que existen sobre determinadas variables para determinar cuáles son los lugares prioritarios a conservar. La fortaleza de éste análisis espacial está en encontrar aquellas áreas donde se encuentren mejor representadas las especies, y que a su vez tengan el menor tamaño posible, la mejor conectividad, y el menor costo de conservación.

El objetivo de este trabajo fue diseñar, a través de variables biológicas y económicas, una propuesta de sitios prioritarios para la conservación *in situ* de las especies de cactáceas endémicas a Chile.

Con éste fin se analizó, en primer lugar, cuáles son las especies de cactáceas prioritarias para ser conservadas de acuerdo a criterios taxonómicos y del estado de conservación. El resultado permitió realizar un primer análisis espacial y biogeográfico, el que determinó cuáles eran las áreas prioritarias en base a criterios biológicos.

Luego, se incluyeron variables económicas de costos de conservación determinantes en la planificación de actividades de conservación, tales como: tierras de uso agrícola, minería,

rutas y caminos, y zonas urbanas. Con estas nuevas variables, se generó como resultado una propuesta de sitios prioritarios para la conservación.

Como resultado se observó que la mayor riqueza de especies de cactáceas endémicas se encuentra en la zona norte de Chile, disminuyendo hasta desaparecer en la octava región. Sin embargo, y de acuerdo a su unicidad taxonómica, las especies con mayor prioridad a conservar se encuentran en el género *Maihueniopsis*, grupo compuesto por 11 especies en Chile distribuidas acotadamente entre las segunda y cuarta regiones.

Finalmente, la propuesta de sitios prioritarios para las cactáceas endémica a Chile cumple con incorporar a su distribución representantes de todas especies de cactáceas y el 100% de las metas de conservación esperadas. La propuesta tiene una superficie total de 58.053 km², divididos en 24 sitios.

Los sitios prioritarios para la conservación de cactáceas se presenta como un desafío, puesto que en la actualidad el SNASPE de Chile no protege a las diez especies de cactáceas con los mayores índices de prioridad. Su cobertura se restringe a 32 especies, dentro de las cuales se cuentan solamente especies de amplia distribución y baja unicidad taxonómica.

Este trabajo pretende mostrar la importancia de conservar cada una de las unidades definidas, permitiendo tener un escenario de los lugares en donde deben ser enfocados los esfuerzos. Esto no sólo significa determinar cual área debe ser figura de protección, sino, definir en qué área se vuelve más urgente desarrollar planes de conservación y cuál puede ser la intensidad de estos planes.

ABSTRACT

The conservation of biodiversity has become a major concern for society and governments worldwide. For that reason it is necessary the development of tools based on the existing information in order to propose solutions that can help in decision-making for stakeholders. Systematic planning for conservation purposes is a statistic tool that analyzes the existing spatial data of certain variables to identify priority sites for conservation. The virtue of this method is that the algorithm was created to find those areas where species have the best representation minimizing the surface size and the conservation costs but maximizing connectivity.

The aim of this study was to design, utilizing biological and economic variables, a priority sites network for in situ for conservation of the Chilean endemic cactus. To satisfy this objective I realized a priority conservation ranking of all cactus species based on taxonomic and conservation status criteria. Firstly, I utilized exclusively biological criteria in the identification of priority areas based and secondly I included in the analysis relevant economic variables of conservation costs planning fundamental in conservation activities. The utilized economic variables were: agricultural land, mining, highways and roads, and urban areas.

As a result, it was found that the greatest richness of endemic species of cacti in the north of Chile, phased out in the eighth region. However, in concordance with their taxonomic uniqueness, species with higher priority to preserving the genere are *Maihueniopsis*, a

group composed of 11 species in Chile narrowly distributed between the second and fourth regions.

Finally, the proposed priority sites for cacti endemic to Chile incorporating its distribution representatives of all species of cacti and 100% of expected conservation goals. The proposal has a total area of 58,053 km², divided into 24 sites.

The proposed conservation priority sites is presented as a challenge, despite currently the only protects Chile SNASPE does not protect ten species of cacti belonging the highest levels of priority. Its coverage is restricted to 32 species, in which only accounts so widespread species and lower taxonomic uniqueness.

This article shows the importance of conserving each of the identified units in a more realistic scenario where efforts should be focused. This not only determined which area should be given protection, but defines which areas becomes more urgent to develop conservation plans and the intensity of these plans.

Keywords: systematic planning, biological criteria, conservation costs, cactus.



DEDICATORIA

Este trabajo pudo realizarse gracias al apoyo incondicional de mi familia, mis hijos y sobre todo mis papás, sin los cuales no hubiera sido posible conllevar la tarea de ser mamá y estudiante.



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco al Dr. Pablo Guerrero, tutor de esta memoria, por apoyar la idea propuesta en éste trabajo y guiarme paso a paso en el desarrollo de la investigación realizada.

Agradezco al Dr. Ramiro Bustamante, por su confianza y apoyo, sin la cual la presente memoria no podría haberse realizado. Además agradezco al laboratorio de ecología terrestre por su acogida y especialmente a Francisco Peña por su disposición siempre atenta ante cualquier dificultad.

Por otra parte, fue importante en la tarea de indagar en el área de la planificación sistemática para la conservación el apoyo del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) de la Universidad de La Serena, en especial al Dr.(c) Luis Letelier, quien fue aporte fundamental en los conocimientos alcanzados. Junto a ellos agradezco a Aldo Farías de WWF, quien junto al Dr. Horacio Samaniego y Karina Gómez, me guiaron en las nuevas propuestas existentes sobre planificación en conservación, y estuvieron siempre atentos y dispuestos, en el desarrollo de todas las etapas del trabajo.

Agradecimientos también a : ICM P05-002 & PFB -23 CONICYT.

Finalmente, agradezco los datos e información otorgada por CONAMA, en especial a Don Reinaldo Áviles, de quién recibí datos importantes para el análisis espacial del presente trabajo.



INDICE DE CONTENIDOS

Resumen	3
Abstract	5
Dedicatoria	7
Agradecimientos	8
Índice de tablas	10
Glosario de abreviaturas	11
Índice de figuras	12
Introducción	13
Metodología	18
Resultados	26
Discusión	56
Referencias	61
Apendice A	69
Apendice B	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Variables de entrada utilizados por MARXAN
Tabla 2	Riqueza de especies de cactáceas por región administrativa, para el norte y Chile central. La riqueza relativa es calculada como número de especies de la región / especies totales.
Tabla 3	Unicidad taxonómica e índice de prioridad promedio por género en las cactáceas endémicas de Chile.
Tabla 4	Especies prioritarias sin protección en el SNASPE.



GLOSARIO DE ABREVIATURAS

CITES	Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente
CONAF	Corporación Nacional Forestal
BLM	Modificador de longitud de frontera
IP	Índice de prioridad
NG	Número de género por familia
NSP	Número de especies por género
SIG	Sistemas de información geográfica
SPF	Factor de penalidad de conservación
UT	Unicidad taxonómica
WWF	World Wide Fund for Nature
UICN	The International Union for Conservation of Nature.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1** Distribución de los géneros de cactáceas por región administrativa.
- Figura 2** Histograma del índice de prioridad para las 72 especies endémicas.
- Figura 3** Índice de prioridad por región administrativa.
- Figura 4** Costos de conservación por unidad de planificación.
- Figura 5** Configuración espacial de la solución óptima: criterios biológicos.
- Figura 6** Configuración espacial de la solución óptima: criterios biológicos y socio-económicos. Sitios Prioritarios.
- Figura 7.** Histograma de las frecuencias (acumuladas) de tamaño de los sitios para el escenario 1(criterios biológicos) y escenario 2(criterios biológicos y costos de conservación).
- Figura 8** Configuración espacial de las unidades de planificación seleccionadas, de acuerdo a la frecuencia de selección porcentual.
- Figura 9** Riqueza de especies por región, cobertura del SNASPE y la propuesta de Sitios Prioritarios.

INTRODUCCIÓN



En Chile, especialistas en flora, fauna y ecosistemas, han trabajado en numerosos esfuerzos para definir sitios prioritarios para conservación durante los últimos 30 años (Ormazabal 1993, Squeo et al. 2001, Cavieres et al. 2002, Serey et al. 2007, Squeo et al. 2008).

Sin embargo, la selección de áreas protegidas por parte del Estado se ha efectuado principalmente de manera *ad hoc* considerando la protección de especies carismáticas amenazadas (e.g. Reserva Nacional Las Chinchillas), protección de patrimonios escénicos o ciertos recursos de importancia estratégica (e.g. Campos de Hielo Sur), y privilegiando áreas con menor influencia de la actividad humana como son la zona centro-sur del país (Armesto et al. 1992), dejando sin representación en el SNASPE a 19 de las 85 formaciones vegetacionales propuesta por Gajardo 1995, y sobrerrepresentando formaciones bajo los 36° S de latitud (Benoit 1999).

El uso de esos criterios ha llevado a una sub-representación vegetal del norte y centro de Chile (Luebert & Becerra 1998), baja representación de los ecosistemas y especies (Pauchard & Villarroel 2002, Tognelli et al. 2009). En el último tiempo existe un creciente interés global hacia el mejoramiento de criterios de selección de áreas (Cowling et al. 1998; Pressey et al. 2007; Watts et al. 2010), propiciando una mejor cobertura para la conservación de la biodiversidad.

La complejidad inherente de la respuesta a la pregunta clásica de la biología de la conservación "qué, dónde y cómo proteger" ha llevado a la incorporación no sólo de factores biológicos y socioeconómicos en los objetivos de conservación (Soulé 1985,

Vane-Wright 1991, Williams & Araújo 2002, Carwardine et al. 2009), puesto que éste proceso de selección requiere un grado de concordancia entre las diversas disciplinas biológicas y sociales. En la actualidad, uno de los objetivos en la planificación de áreas de conservación es proponer áreas que permitan conservar la diversidad biológica, en concordancia con la planificación territorial (Carwardine et al. 2009). A partir de esta idea, el desarrollo de la planificación sistemática para la conservación (Margules & Pressey 2000), es una herramienta que desde las variables sociales y biológicas involucradas en la selección de áreas de conservación determina que puedan existir diversos diseños de conservación (soluciones) complementarias, a partir de un conjunto amplio de escenarios posibles (Possingham et al. 2001; 2006).

Sin duda, la falta de información detallada para gran parte distribución de la biodiversidad constituye un obstáculo adicional para alcanzar las metas de conservación deseadas (Ormazabal 1993, Jared et al. 2010). Por ello el empleo de modelos predictivos de la distribución geográfica de especies a partir de ocurrencias georreferenciadas (obtenidos *in situ*) y variables climáticas son una herramienta útil que permite estimar el rango de distribución y proponer sitios prioritarios de conservación (Graham et al. 2004, Guisam & Zimmermann 2000).

La priorización de especies para su conservación ha sido un tema central en instituciones gubernamentales y no gubernamentales, siendo considerada una etapa crucial en la acción y planificación en biología de la conservación (Mace 1995; Lamoreoux et al. 2003, Squeo et al. 2008). El método más ampliamente usado mediante el uso de categorías de amenaza (IUCN 2004, Lamoreoux et al. 2003), Sin embargo, no todas las especies han sido debidamente evaluadas para establecer sus estados de amenaza (Ormazabal 1993). En

muchos casos, las categorías de conservación son obtenidas de manera subjetiva o con métodos diferentes, haciéndolas en muchos casos incomparables (Possingham et al. 2002). En Chile, se encuentra en implementación el Proceso de Clasificación de Especies según estado de conservación, en el que participan miembros del gobierno y especialistas. Este proceso se basa en los criterios de clasificación propuestos por UICN 2000: Especies en peligro, vulnerables, insuficientemente conocidas, rara, fuera de peligro. De acuerdo al último proceso de clasificación finalizado, la Familia Cactaceae no ha sido clasificada en alguno de sus géneros o especies, por lo que la priorización requiere de aproximaciones adicionales. Un método apropiado para trabajar con grupos numerosos de especies es la incorporación del número de taxa a diferentes niveles taxonómicos (Vane-Wright 1996). Para desarrollar esta aproximación, la unicidad taxonómica (UT) indica que especies con un menor número de especies emparentadas en cuanto género y especies con-génicas, poseen una mayor prioridad que especies que poseen un mayor número de especies emparentadas, para ello se supone que especies de un mismo género poseen un alto grado de parentesco y se utiliza cuando las relaciones filogenéticas de un grupo son desconocidas (Clarke & Warwick 1998). Por otra parte, el análisis de endemismos ha sido otra aproximación utilizada para la determinación de sitios prioritarios (Cavieres et al. 2002, Pliscoff 2003). La concentración de endemismos de un lugar permite hacer comparaciones entre espacios geográficos, lo que permite acotar sitios de mayor endemismo (Laffan & Crisp 2003, Rovito et al. 2004). Bajo esa aproximación, pueden obtenerse resultados cuantitativos, que permitan evaluar la endemidad relativa en diferentes áreas (Freitag 1997), por ejemplo por medio de análisis de parsimonia de endemismos (Cavieres et al. 2001).

La utilización de estos criterios para el estudio de endemismos resulta útil en el momento de priorizar un gran número de especies para su conservación ya que conjugando el endemismo de una especie y la unicidad taxonómica es posible establecer un orden de especies en función de su prioridad (Guerrero et al. 2008).

El desarrollo de planificación sistemática para la conservación (Margules & Pressey 2000), utiliza algoritmos matemáticos que a partir de muchas variables obtienen un grupo de soluciones (Moilanen 2008), permitiendo tomar decisiones en base a más de un posible resultado. MARXAN versión 2.1.1 (Ball et al. 2009), es un programa de uso libre que utiliza algoritmos heurísticos para presentar modelos de reservas y áreas prioritarias para la conservación (Wilson et al. 2009), con la ventaja de poder incorporar un gran número de variables y bases de datos, con los que se buscan escenarios bien definidos y con metas de conservación claras (Game et al. 2008). Para ello, utiliza variables como distribución y priorización de especies, metas y costos de conservación, ordenamiento de las áreas de planificación, y penalidades de conservación.

Los costos definidos como la factibilidad de realizar acciones de conservación según el grado de amenaza de la unidad territorial (Squeo et al. 2008) pueden ser definidos en términos comparativos entre las unidades de planificación, de modo de mostrar que tan costosa es una unidad territorial con respecto a otra, utilizando el tamaño de la unidad (área) y las variables de costos (Watts et al. 2010). Las características socioeconómicas incorporadas son la presencia de redes viales, zonas urbanas, centros industriales y mineros. Así, las propuestas obtenidas no representan el valor final de conservar en ese espacio determinado, sino que indican donde es proporcionalmente más barato trabajar con planes de conservación. De modo que, un área con uso intensivo de la tierra para uso agrícola tiene

comparativamente un mayor costo de conservación que zonas con escaso desarrollo agrícola,

Es necesario hacer notar que el resultado entregado por MARXAN constituye una propuesta acerca de las zonas geográficas que debieran constituir un foco prioritario de conservación; el resultado no implica la figura de protección aplicable, sino, que constituyen áreas a ser incluidas en los planes de ordenamiento territorial de políticas públicas. Cada área propuesta debe ser sujeta a un estudio posterior que permita establecer un manejo diferencial del uso de la tierra (Agostini et al. 2010) determinado por las prioridad y vulnerabilidad de conservación (e.g. zona de amortiguamiento, conservación intensiva, etc).

En Chile, las cactáceas constituyen un grupo caracterizado por su elevado endemismo (Hoffmann & Walter 2004). Del total de especies, 72 se encuentran restringidas a Chile árido y semi-árido (78%), y 23 especies nativas co-ocurren sólo en países fronterizos. El porcentaje de endemismo constituye uno de los mayores dentro de las plantas vasculares de Chile (Marticorena 1990). La gran riqueza de especies endémicas y el elevado porcentaje de endemismo de la familia Cactaceae constituyen un elemento conspicuo, que determina en parte la configuración fitogeográfica única del Desierto de Atacama y Chile Mediterráneo. La distribución geográfica de las Cactáceas endémicas, se enmarca entre los 18° y 36°S. La mayor riqueza de especies se concentra en áreas bajas, disminuyendo con la elevación (Hoffmann & Walter 2004; Hunt 2006; Schulz 2006; Pinto & Kirberg 2009). De hecho, la mayor diversidad se encuentra en la cordillera de la costa, entre los 25° y 28° S. Así, este grupo taxonómico, por su valor biológico, constituye un buen modelo para llevar a cabo propuestas de conservación en la zona Norte de Chile.

Objetivos

i. General

Proponer sitios prioritarios para la conservación de cactáceas, que permitan conservar *in situ* las especies endémicas de cactáceas chilenas en función de variables biológicas y socioeconómicas.

ii. Específicos

- 1.- Generar Modelos de distribución predictiva para cada una de las cactáceas endémicas chilenas
- 2.- Priorizar el grupo de cactáceas endémicas chilenas.
- 3.- Presentar un grupo de posibles escenarios orientados a la conservar *in situ* las cactáceas endémicas.
- 4.- Evaluar el grado de representatividad de las especies prioritarias de cactáceas en el escenario propuesto y compararlo con las actuales ASP.

METODOLOGÍA

La base de datos utilizada en el presente trabajo consiste en información sobre la ubicación geográfica de 72 especies de cactáceas endémicas distribuidas entre los 18°S y 36° S. La información ahí contenida fue compilada por Pablo Guerrero desde el año 2005 y luego actualizada permanente. La información de distribución ha sido exhaustivamente recopilada de la literatura, herbarios CONC, ULS, SGO y colectas de terreno. A partir de esta información se elaboró un mapa de distribución para cada especie utilizando el

programa MAXENT (Phillips et al. 2006). Los datos climáticos se obtuvieron de WORLD CLIM (Hijmans et al. 2005). MAXENT elabora a partir de datos cartográficos de presencia y variables climáticas un modelo de distribución espacial que incluye probabilidades de ocurrencia. Para evitar la sobre-representación del rango de distribución se consideraron aquellas áreas con una probabilidad de ocurrencia entre los 0,75-1. Los resultados fueron digitalizados en capas de mapas utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Posteriormente, se dividió el territorio nacional en 11.756 hexágonos de 100km², cada uno de ellos corresponde a una “Unidad de Planificación”. Finalmente, el modelo de distribución de cada especie fue interceptados con la red de hexágonos mediante el uso de ARCGIS 9.3 (ESRI, 2009), obteniendo la ocupación específica y riqueza de especies en cada una de las unidades de planificación.

La riqueza relativa de especies fue calculada como número de especies / número de especies totales, mientras que la riqueza de géneros representa el número de géneros presentes en cada región administrativa.

Criterios de conservación y orden de especies

A partir de la base de datos de las cactáceas endémicas y sus taxonomías, se generaron parámetros y criterios de trabajo, que indicarán a MARXAN el orden de las especies prioritarias, distribución espacial de las unidades de planificación y los costos de conservación (Squeo et al. 2008)

1. Priorización de especies

Las metas de conservación para cada especie, se basan en el Índice de Prioridad (IP) propuesto por Guerrero et al. (2008). Este índice considera la unicidad taxonómica (UT) y el grado de endemismo (D), de acuerdo con el siguiente algoritmo:

$$\text{Índice de Prioridad (IP)} = 0,7 / \log_{10} [(D + 1)^2 + UT] \quad (1)$$

$$\text{donde, } UT = 1 / VT$$

$$VT = NG \times NSP \quad (2)$$

La unicidad taxonómica (UT) se calcula como 1 sobre el valor taxonómico (VT), el que a su vez es el número de géneros por subfamilia (NG), multiplicado por el número de especies por género (NSP). Para calcular el número de especies por género se consideraron todas las especies de cada género, incluyendo aquellas especies que no son endémicas, como por ejemplo *Austrocactus patagonicus* y *Maihueniopsis darwinii* (Saldivia & Rojas 2008).

El grado de endemismo (D) de las especies está medido en términos del número de unidades de planificación que cada especie ocupa, es decir, su distribución geográfica. Los valores de distribución fueron obtenidos previamente mediante la modelación predictiva en MAXENT (ver arriba "Base de datos y modelación predictiva").

La meta de conservación (M) para cada especie, se obtiene multiplicando el índice de Prioridad por el número de unidades de planificación con la presencia de la especie.

Por otra parte, también fueron consideradas para el análisis las categorías de conservación propuestas por Hoffman & Walter (2004), ya que las especies de cactáceas estudiadas no se

encuentran en la clasificación UICN, ni han sido clasificadas en el Proceso de Clasificación de Especies de Chile (2004-2011). Estas categorías son ingresadas a cada unidad de planificación, de modo que se grafica en el espacio, donde se ubican aquellas especies consideradas en categoría de conservación, y MARXAN privilegia escoger aquellas unidades de planificación donde se encuentran especies con mayores problemas de conservación. A este ejercicio de selección se le denomina Factor de Penalidad del Objeto de conservación (SPF).

El valor numérico que se le entrega a este término debe ser concordante con el orden de magnitud de la amenaza que presenta cada una de las especies. La codificación utilizada fue: (1) Fuera de Peligro, (2) Vulnerable, (4) En Peligro – Raro (Hoffmann y Walter 2004). El valor final de SPF para un escenario el valor del estado de conservación de las especies presentes en las unidades de planificación. Mientras mayor es el número SPF, esa unidad será más seleccionada, pues quiere decir, que ahí se encuentran especies con problemas de conservación.

2. Distribución espacial de las unidades de planificación:

Una de las mayores fortalezas de la metodología propuesta se encuentra en la longitud de frontera (Boundary length). Ésta maximiza el grado de agrupamiento en que se encuentran las unidades de planificación, y por lo tanto, determina el tamaño de la propuesta final. El valor de la longitud de frontera va desde 0 a 1, siendo 1 para obtener un modelo mayor conectividad y compactación. Para encontrar la longitud de frontera más óptima se utiliza un algoritmo denominado Calibrador de agrupamiento (BLM), el que debe ser calibrado para encontrar el valor óptimo de agrupamiento para que minimice el área de los sitios sin

perder las metas de conservación. Existen varias metodologías de calibración, todas con muy buenos resultados. Aquí utilizaremos el propuesto por Stewart & Possingham (2005).

3. Costos de conservación:

Debido a que los costos de conservación guardan directa relación con el uso de la tierra, utilizamos variables del uso de la tierra para fines productivos y urbanizados, de modo similar a la metodología utilizada por Estévez et al. (2008). Las variables utilizadas para determinar el costo de conservación son: densidad de caminos, densidad de centros mineros, terrenos de uso agrícola y terrenos urbanos.

La densidad de caminos por unidad de planificación fue calculada como longitud de ruta/área de la unidad de planificación (k/km^2), utilizando la cobertura generada por el MOP. Luego se dividieron los valores resultantes en cuatro rangos 0=nulo, 0-0.1=bajo, 0.1-0.3=media, 0.3-1=alta (Squeo et al. 2008) de modo hacer comparables las cuatro variables.

Los terrenos urbanos fueron calculados por área de terreno urbano/área de la unidad de planificación, utilizando la cobertura generada por CONAF 1999. Luego se dividieron los valores resultantes en cuatro rangos 0=nulo, 1-5=bajo, 6-20=media, 21-50=alta.

Los terrenos de uso agrícola fueron calculados como área de uso agrícola/área de la unidad de planificación, según la cobertura generada por CONAF 1999. Los valores resultantes fueron divididos en cuatro rangos 0=nulo, 1-12=bajo, 13-30=media, 31-50=alta.

Por último, la densidad de centros mineros fue calculada como cantidad de centros mineros/área de la unidad de planificación, utilizando la cobertura generada por

SERNAGEOMIN. Luego los valores resultantes fueron divididos en cuatro rangos 0=nulo, 1=bajo, 2-3=media, y 4-8=alta.

Con estas variables se calculó el costo de conservación inferido como el valor más alto de alguna de las variables presentes en la unidad de planificación. Por ejemplo, si en una unidad de planificación, tenemos los siguientes valores: densidad de caminos alta, centros mineros baja, entonces el costo de conservación es alta.

Evaluación de unidades de conservación sin cactáceas en las Áreas Silvestres Protegidas.

Para evaluar las especies protegidas en el actual SNASPE y las áreas sin cactáceas, se sobrepusieron los mapas de distribución potencial de cada especie con los mapas de ubicación de las figuras Parque Nacional, Reserva Natural y Monumento Natural. Las áreas SNASPE, fueron obtenidas de CONAMA. Finalmente, se compararon los escenarios de conservación obtenidos como propuesta, con el actual SNASPE en términos del % de especies protegidas en cada uno de los escenarios.

Selección de los sitios prioritarios

A partir de la definición de los criterios de conservación se modelaron dos escenarios, uno incluyendo solamente las variables biológicas en estudio (índice de prioridad y categorías de conservación), y el segundo considerando además los costos de conservación. Así, se obtuvieron dos mapas de los sitios prioritarios mediante el uso de MARXAN. Además, es

necesario definir cuáles serán los criterios de modelación escogidos. En la tabla 1 se detallan los usos y valores otorgados a los distintos parámetros:

Parámetro	Definición	Valor asignado
Longitud de frontera	Modificador de longitud de frontera. Determina que tan compacta serán las áreas propuestas.	El valor puede ser entre 0 y 1. Se escoge un valor de 0,5.
Número de repeticiones	Numero de repeticiones de la modelación.	Los autores proponen 1000, para número de UP sobre 10.000.
Número de iteraciones para cada repetición.	Cantidad de iteración del modelo	Los autores del sistema recomiendan 1000000.

Tabla 1. Variables de entrada utilizados por MARXAN, además de los criterios biológicos y económicos indicados en el texto, para generar escenarios de conservación.

Los parámetros definidos para el programa, se encuentran expresados en una función la que evalúa y compara los escenarios potenciales generados: El programa entrega un valor final que permite evaluar la calidad de los escenarios generados, según la siguiente expresión

$$\sum_{UP}^{n=1} Costo + BLM \sum_{UP}^{n=1} Longitud\ de\ Frontera + \sum_{UP}^{n=1} SPF \times M$$

donde:

Costo es igual al costo de conservación de cada unidad

Longitud de frontera es igual a el perímetro de los sitios

BLM es igual al calibrador de perímetro

SPF es igual al estado de conservación y M es igual a las metas de conservación de cada unidad.

Mientras menor sea el valor final de la ecuación, mejor es el escenario, por lo tanto se escoge como óptimo aquel escenario con el menor valor en esta función.

El modelo fue corrido 1000 veces, y aquellas unidades de planificación escogidas las 1000 veces son consideradas irremplazables (Tognelli et al. 2009). MARXAN escoge como mejor resultado, aquel que cumpla de mejor manera con las metas de conservación, los costos mínimos, y la optimización del perímetro (BLM).

Utilizando el programa ArcGIS 9.3 (ESRI 2009), se ingresaron las salidas de las modelaciones y se generaron los mapas con los escenarios de conservación.

RESULTADOS

Modelación predictiva de la distribución de especies y distribución de la riqueza de cactáceas.

La mayor riqueza de especies se encuentra en la III región, con una riqueza relativa igual a 0.54 equivalente a 38 especies, mientras que este valor disminuye hacia el sur y norte del país, siendo menor en la VIII región (riqueza relativa= 0,01), que posee solo la especie *Eriosyce subgibbosa*.

<i>Región</i>	<i>Riqueza</i>	<i>Riqueza relativa</i>
I y XV	16	0,22
II	29	0,4
III	38	0,53
IV	30	0,42
V	17	0,24
RM	6	0,08
VI	4	0,06
VII	6	0,08
VIII	1	0,01

Tabla 2. Riqueza de especies de cactáceas por región administrativa, para el norte y Chile Central. La riqueza relativa es calculada como número de especies de la región / especies totales.

Ahora, en cuanto a la riqueza de géneros por región (r) presentada en las figuras 1a, 1b, y 1c, indican que en la II y III Región se encuentra la riqueza de géneros más alta (6 géneros). Específicamente, en la II Región se encuentran los géneros *Copiapoa*, *Eriogyne*, *Eulychnia*, *Echinopsis*, *Haageocereus* y *Maihueniopsis* mientras que en la III región se encuentran los géneros *Copiapoa*, *Eriogyne*, *Eulychnia*, *Echinopsis*, *Maihueniopsis* y *Miqueliopuntia*. Por el contrario la VIII región tiene sólo un género: *Eriogyne*.

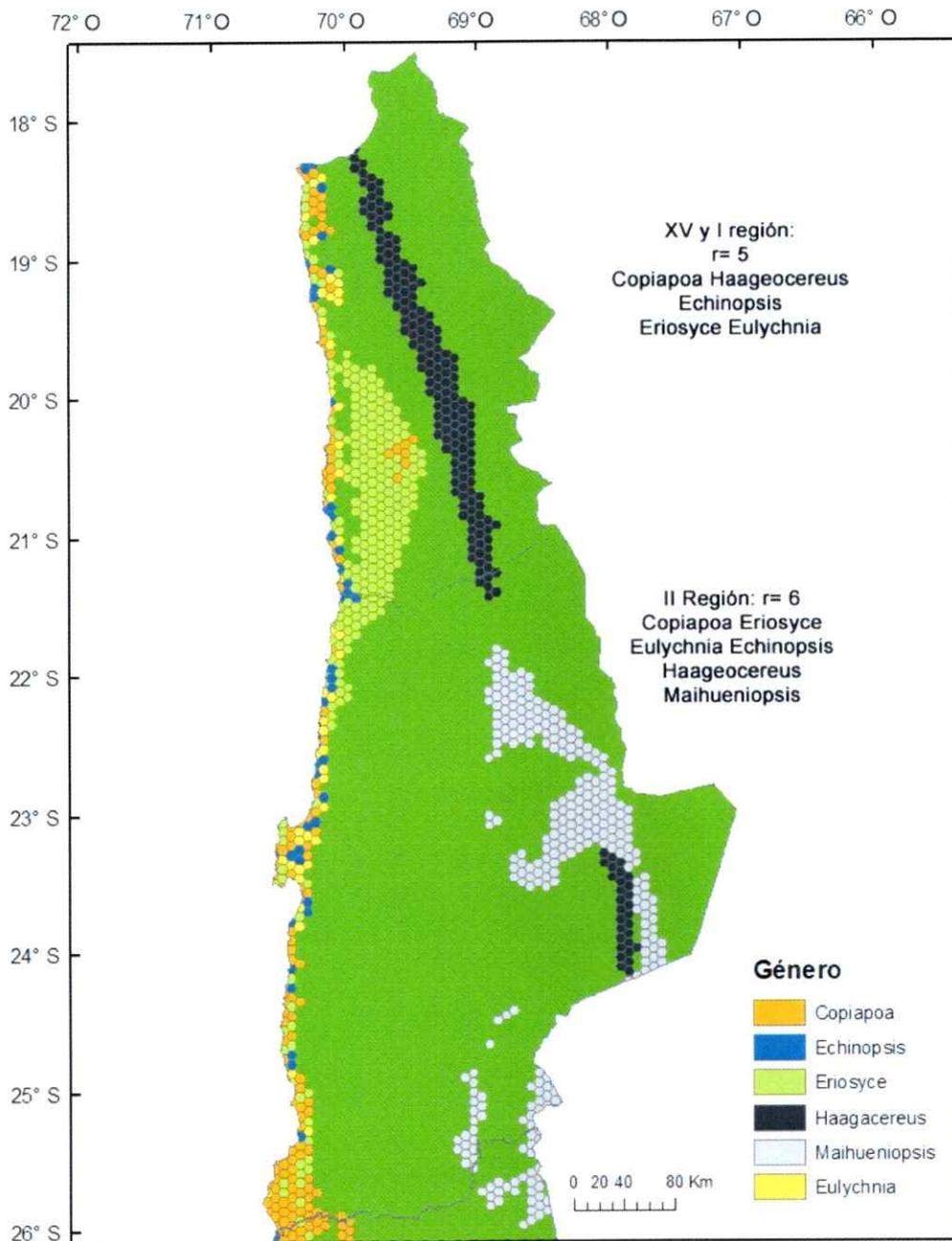


Figura 1. Distribución espacial de los géneros de cactáceas. 1a. Primera y Segunda región.

Los hexágonos representan las unidades de planificación, de área 100 km².

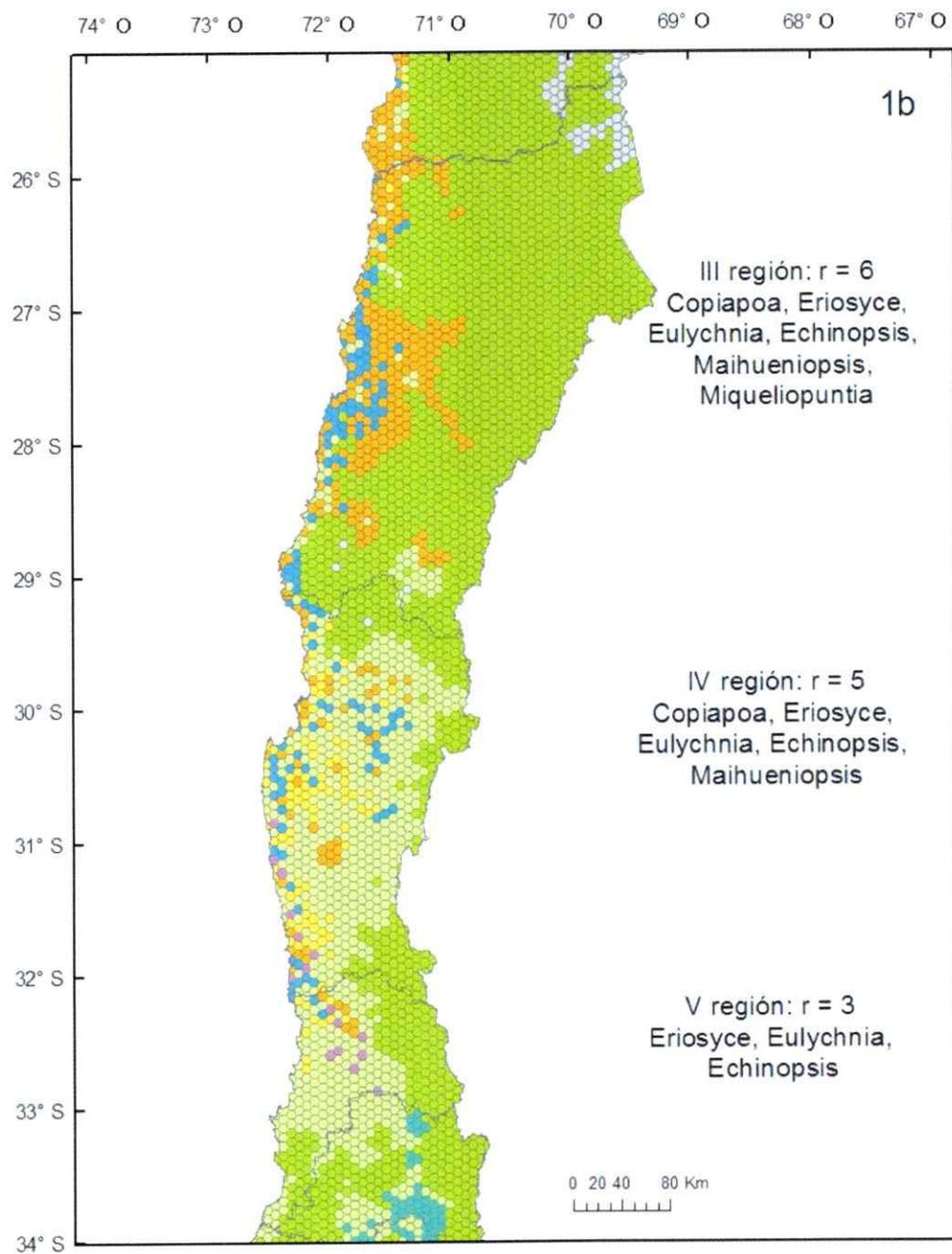


Figura 1. Distribución espacial de los géneros de cactáceas. 1b. Desde la Tercera a la Quinta región. Los hexágonos representan las unidades de planificación, de área 100 km².

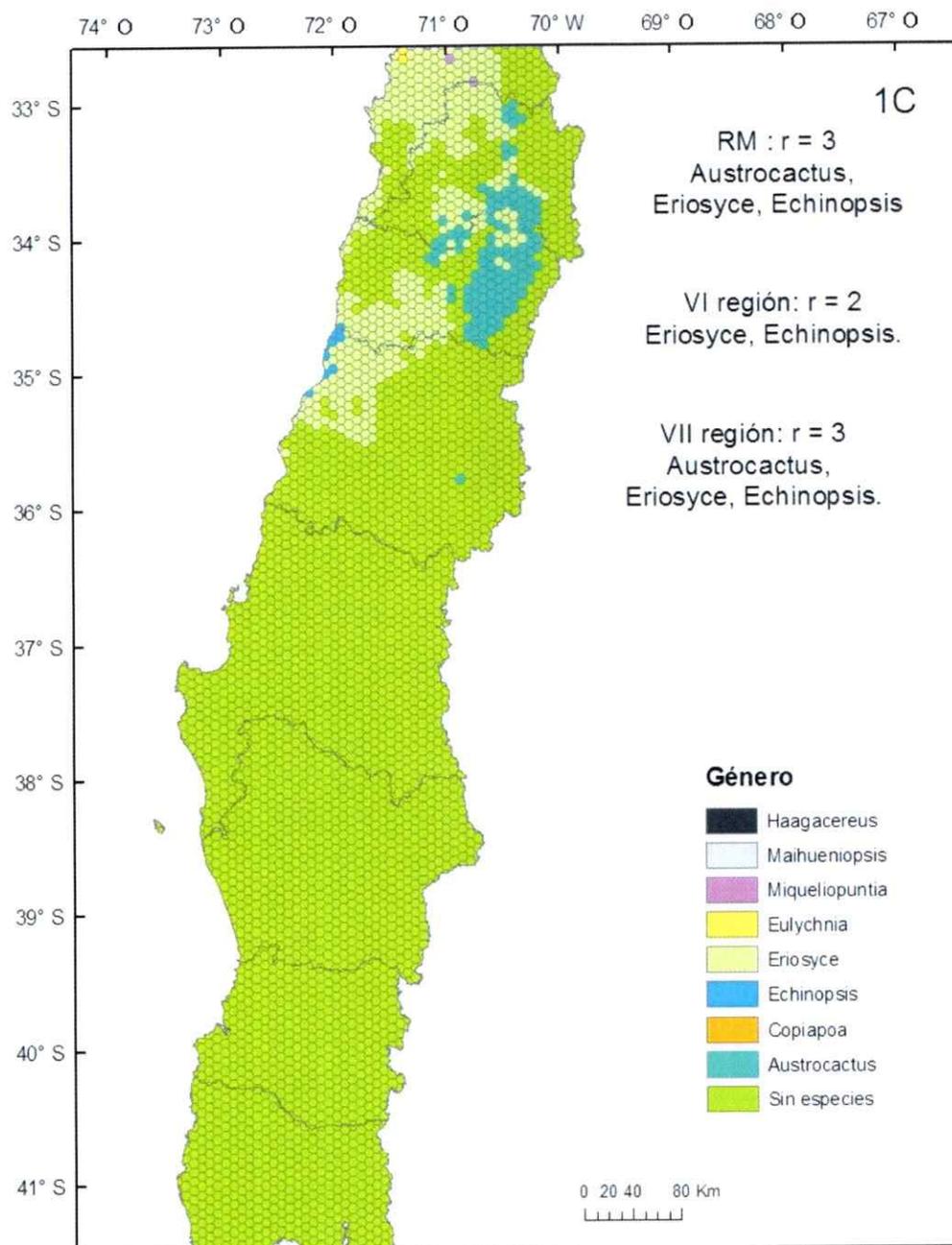


Figura 1 Distribución de los géneros de cactáceas. 1c Desde de Región Metropolitana hasta la Octava región.

En la figura 1, puede observarse una serie de géneros sintópicos como es el caso de *Eriogyne* y *Autrocactus* entre las Regiones Metropolitana y VI. Notable también es el caso de los géneros *Eulychnia*, *Copiapoa* y *Eriogyne*, los cuales presentan sintopía en la mayoría de su área de distribución, desde la XV Región hasta la V Región.

En cambio, existen géneros que no evidencian sintopía en alguna de las áreas de distribución, como es el caso de *Haagacereus*, que además es un género compuesto de sólo una especie endémica en Chile con una distribución acotada a la zona norte del país, específicamente a las XV, I y II Regiones. También es el caso del género *Maihueniopsis*, el que no muestra sintopía con ningún otro género y su distribución está acotada a las II y III Regiones.

Índice de Prioridad

Las especies distribuidas en sólo una unidad de planificación fueron del género *Maihueniopsis* (i.e. *M. archiconoidea*, *M. domeykoensis*, *M. grandiflora* y *M. wagenknechtii*) y *Eriogyne* (*E. engleri*, *E. laui* y *E. spectabilis*), (para mayores detalles, ver APENDICE B). Las especies con distribución superior a 500 unidades de planificación fueron *Eriogyne curvispina* y *Echinopsis deserticola*.

La unicidad taxonómica para las cactáceas varió entre 1.85×10^{-3} a 166.6×10^{-3} , y con promedio de 7.5×10^{-3} . Del total de las especies sólo *Miqueliopuntia miquelii* obtuvo el mayor valor $UT = 166.6 \times 10^{-3}$, mientras que el resto tiene $UT \geq 41.7 \times 10^{-3}$ (ver APENDICE B).

El índice de prioridad varió entre 0.12 (*Eriosyce curvispina*) y 0.38 (*Austrocactus phillipii*, *Maihueniopsis domeykoensis*, *M. grandiflora*, *M. wagenknechtii*, y *M. archiconoidea*). La media (figura 2) es de 0,201, y el valor mínimo es de 0,12. Como se observa en la figura, la mayoría de las especies (n=47) tiene valores de índice de prioridad iguales o bajo la media, es decir, el 65,3% de las especies tienen índices de prioridad bajos. Ninguna especie alcanzó valores de UT=1 y D=1 al mismo tiempo, lo que hubiera generado el índice de prioridad más alto=1. De todas formas, las especies con mayor índice de prioridad pertenecen al género *Maihueniopsis* encontrándose 4 de las 11 especies que componen el género, con distribución igual a 1 UP y unicidad taxonómica = 66, resultando un el índice de prioridad máximo de 0,38. Otra especie que obtuvo igual índice fue *Austrocactus phillipii*, con distribución igual a 2 UP y UT=60.(los detalles de las especies y sus índices de prioridad, se encuentran en el Apéndice B).

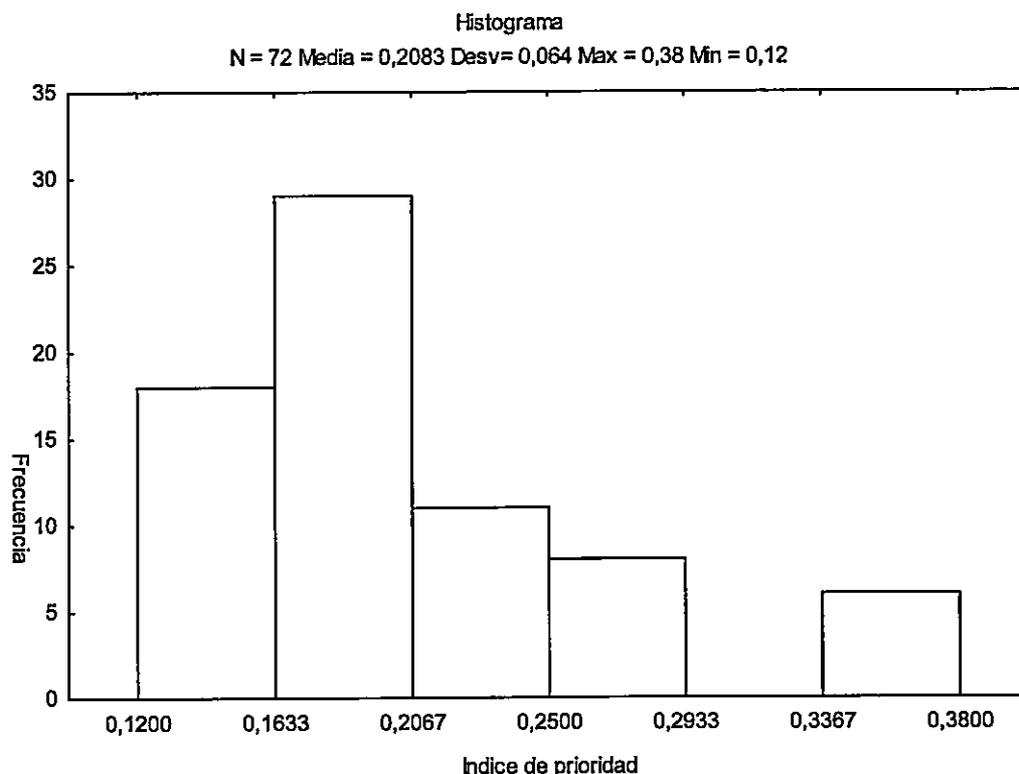


Figura 2. Histograma del índice de prioridad para cada una de las 72 especies endémicas.

Por otra parte, el género con mayor índice de prioridad promedio es *Maihueiopsis* (IP=0.3), grupo compuesto por 11 especies en Chile (tabla 3). Mientras que los géneros con menor IP fueron *Eulychnia* y *Haageocereus* (IP=0.16). Por otra parte el género con mayor Unicidad taxonómica fue *Miqueliopuntia*, grupo que se compone solo de una especie en Chile.

<i>Genero</i>	<i>UT</i>	<i>IP(prom)</i>
Austrocactus	16,7	0,27
Copiapoa	2,08	0,19
Echinopsis	1,85	0,18
Eriogyne	540	0,2
Eulychnia	12,5	0,16
Maihueiopsis	12,8	0,31
Miqueliopuntia	166,6	0,17
Haageocereus	41,7	0,16

Tabla 3 Unicidad taxonómica e índice de prioridad promedio por género en las cactáceas endémicas de Chile.

En cuanto a la distribución de la especies, se presentan áreas donde se aglutinan especies con mayor índice de prioridad. En las figuras 3a y 3b, puede observarse que las especies con mayor índice de prioridad se encuentran mayoritariamente distribuidas en la zona centro norte del país, entre la tercera y cuarta regiones. En la octava región, se encuentra *Austrocactus phillipi*, especie con un $IP=0,38$ (valor máximo), con distribución esta acotada a dos unidades de planificación.

La región que presenta un mayor índice (figura 3) de prioridad calculado como la suma de los índices de prioridad en cada unidad de planificación es la IV Región, la que suma un total de $IP_{sum}=108,9$. Por otra parte, se observa que desde la XV Región hasta la IV Región se encuentra el mayor índice de prioridad, disminuyendo hacia la zona centro-sur del país.

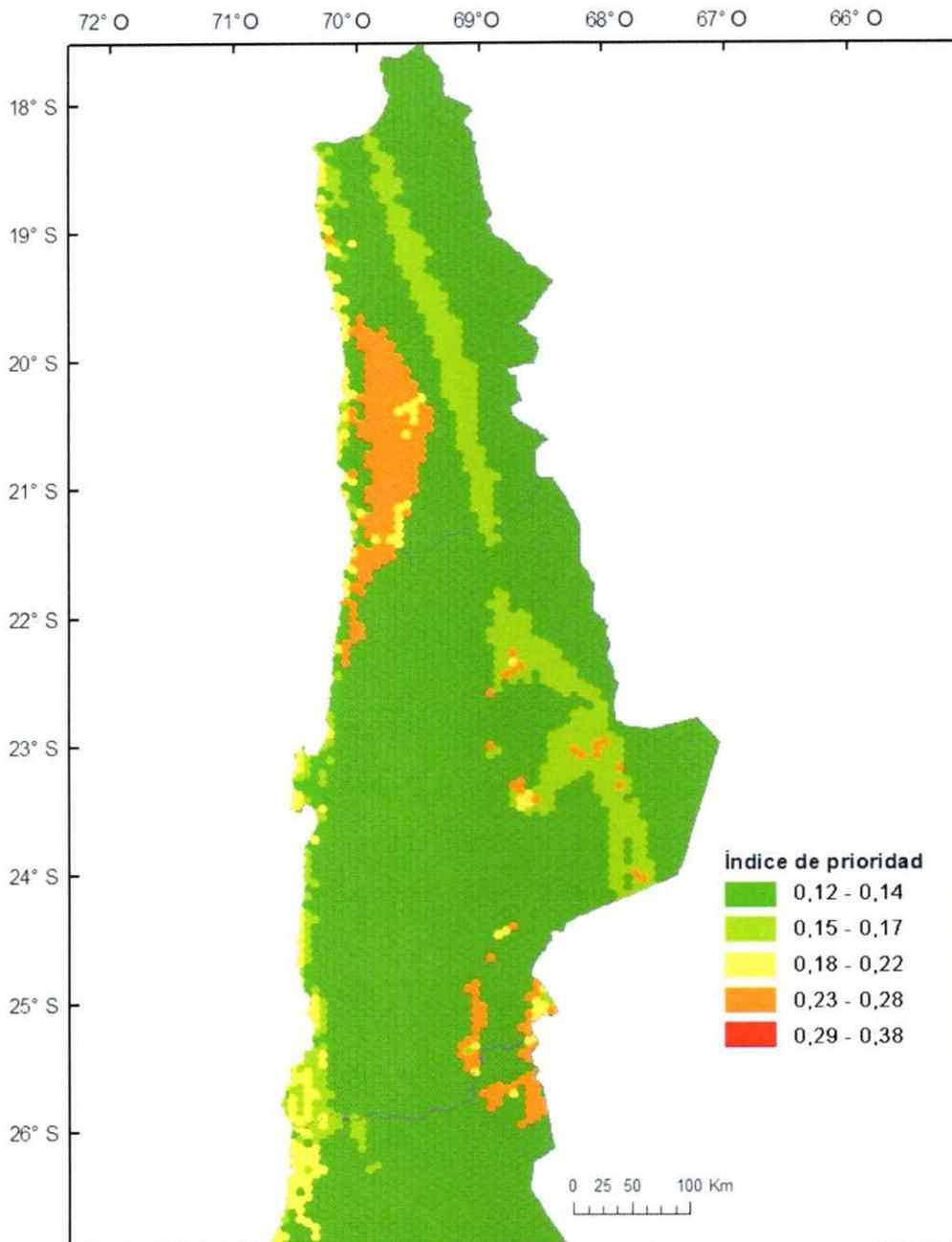


Figura 3 Índice de Prioridad de las cactáceas en Chile; 3a desde la Decimoquinta a la Segunda Región evaluado en unidades de planificación.

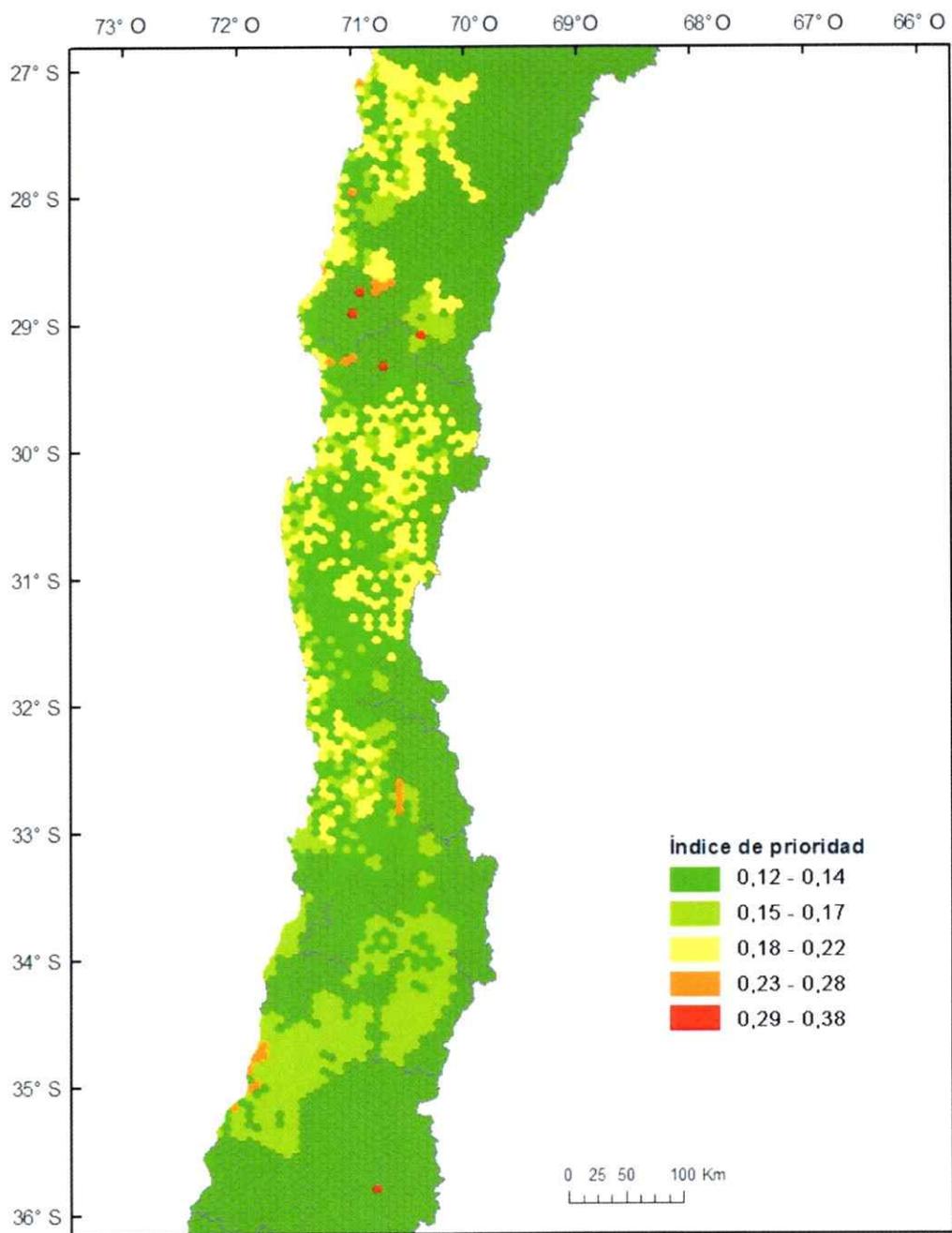


Figura 3 Índice de Prioridad de las cactáceas en Chile. 3b desde la Tercera a la Octava Región evaluado en unidades de planificación.

Costos de conservación

El porcentaje de unidades con costo de conservación nulo representa un 50% para la zona norte del país, comprendida entre las latitudes 18°S y 33° (figura 5a), En tanto que las unidades con costo de conservación alto representan sólo un 0.9% para la zona norte. Estas unidades representan principalmente a las zonas de minería, las que se encuentran en la zona norte y centro del país.

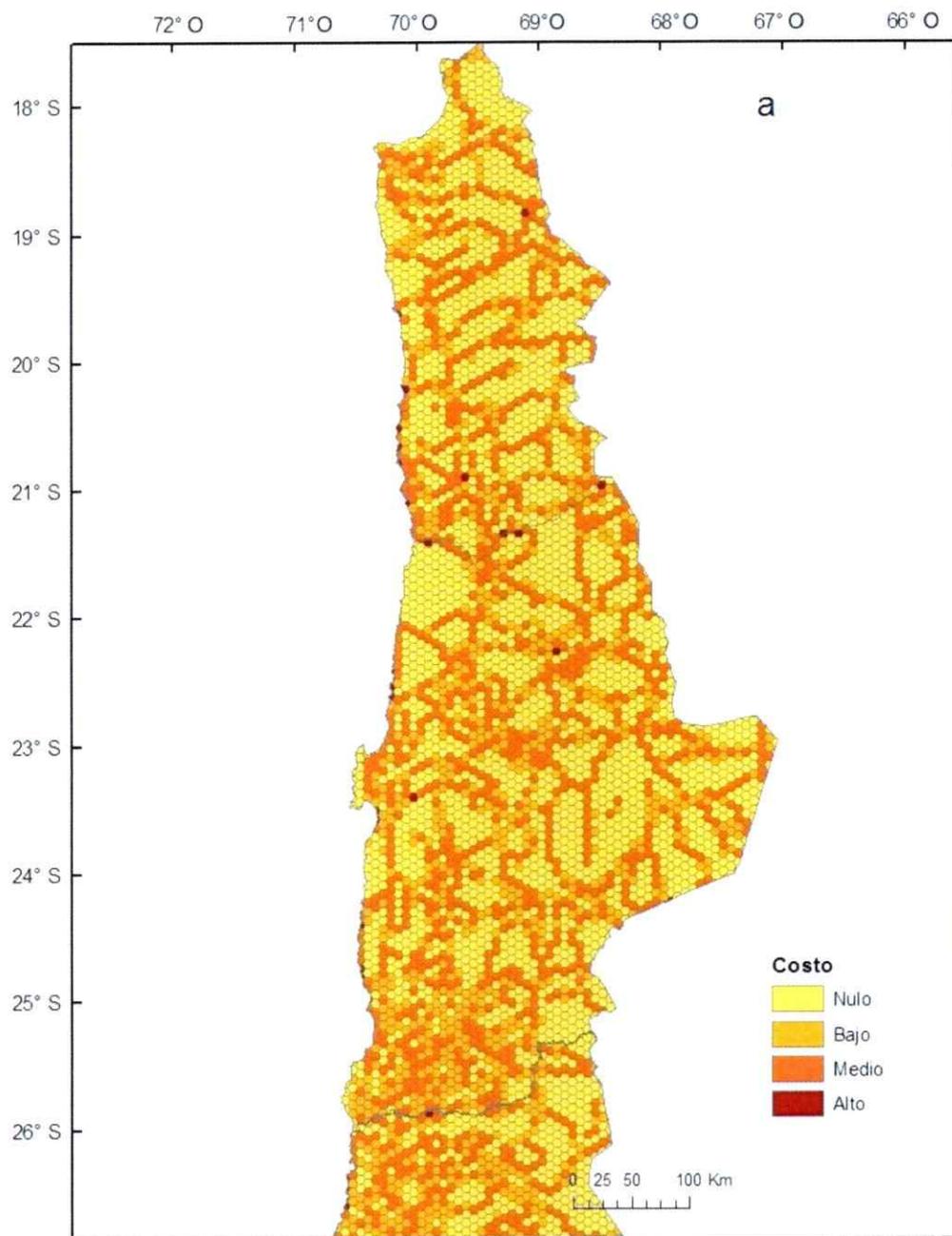


Figura 4 Costos de conservación estimados para las cactáceas por unidad de planificación. 4a en las Regiones XV a III. Los colores indican los valores relativos en una escala .

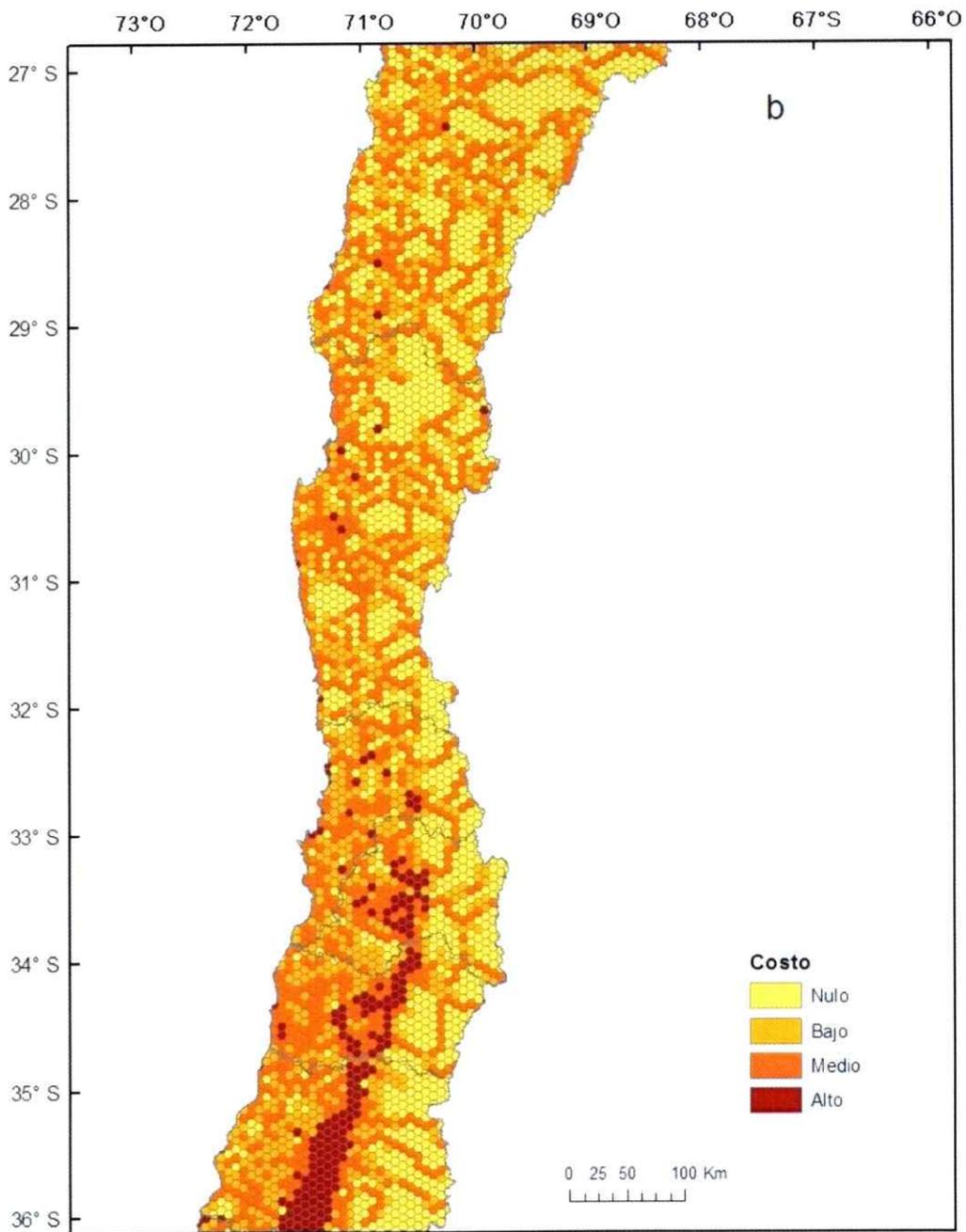


Figura 4 Costos de conservación estimados para las cactáceas por unidad de planificación.

4b En las Regiones III a VII. Los colores indican una escala relativa.

Regiones que cuentan con los el mayor número de unidades de planificación con costos de conservación en el rango “alto”, son aquellas ubicadas entre las latitudes 33°S y 36° (figura 4b). Las unidades de costo nulo representan el 34%. En tanto que las unidades con costo de conservación alto representan un 7.3% para la zona centro sur.

Se destaca el hecho que desde Región Metropolitana, hasta la Región VII, los costos de conservación se incrementan significativamente Esto se debe principalmente al costo de los terrenos de uso agrícola y urbano, los que se concentran desde la zona centro del país, hacia la zona Sur. Por el contrario la zona norte del país comprendida entre la XV y IV Región, presenta unidades de planificación con costo de conservación alto sólo en las zonas con desarrollo de minería, los que no ocupan más de 100 km² de área.

Propuesta de conservación

Escenario 1: criterios biológicos

El mejor escenario generado a partir de las variables biológicas (Índice de Prioridad, distribución y riqueza de especies y géneros, estado de conservación y costos) contempla la protección de 2.694 Unidades de Planificación lo que se traduce en 135.503,6 km² de superficie. En la figura 5a y 5b, se muestran las distribuciones de los 8 géneros de cactáceas. El escenario óptimo (colores naranja) considera zonas donde no se observa presencia de especies, por lo que estas unidades de planificación solo cumplen la función de incrementar la conectividad de las zonas de protección.

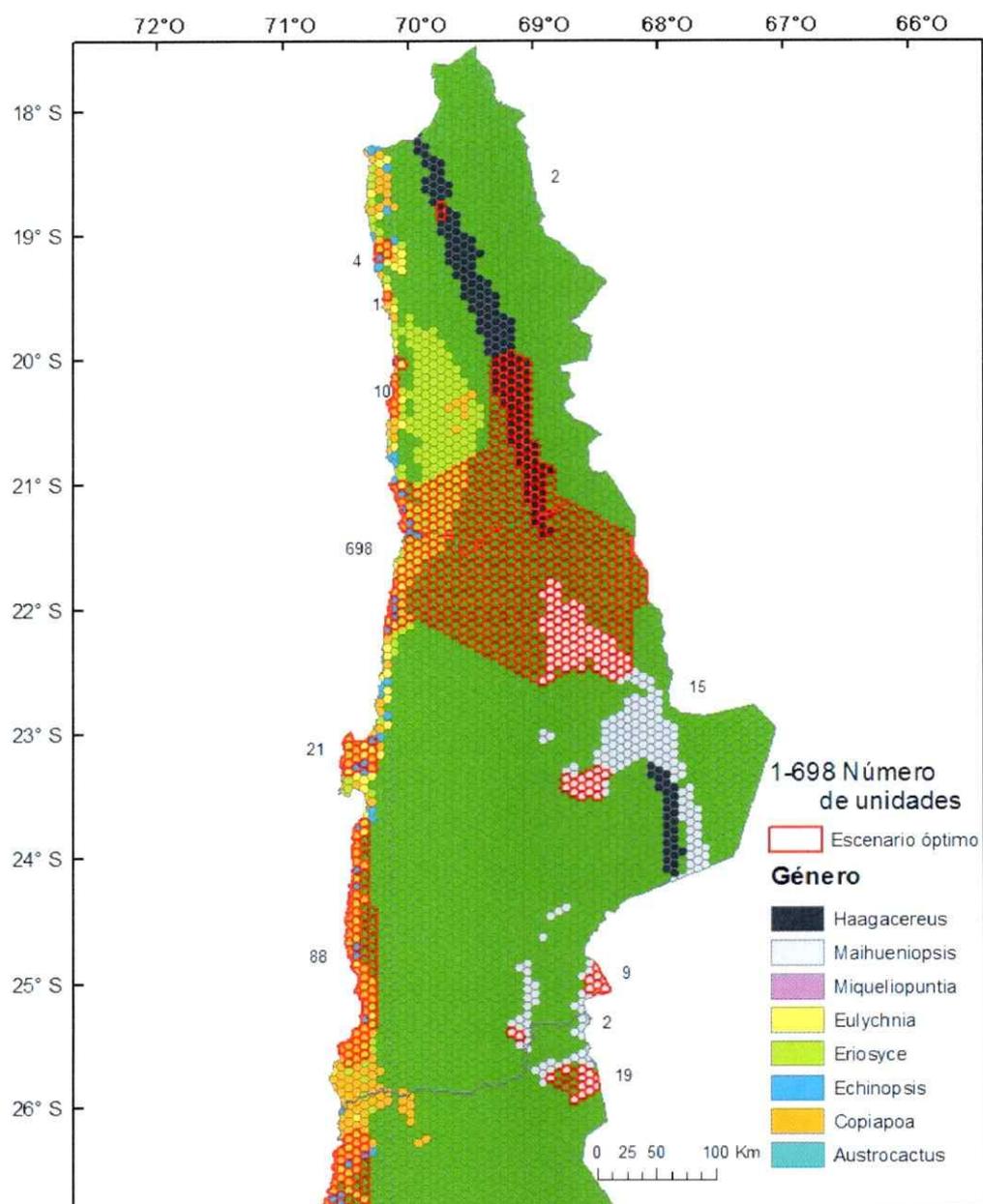


Figura 5 Configuración espacial de la solución óptima: criterios biológicos. 5a desde la Decimoquinta a la Segunda región.

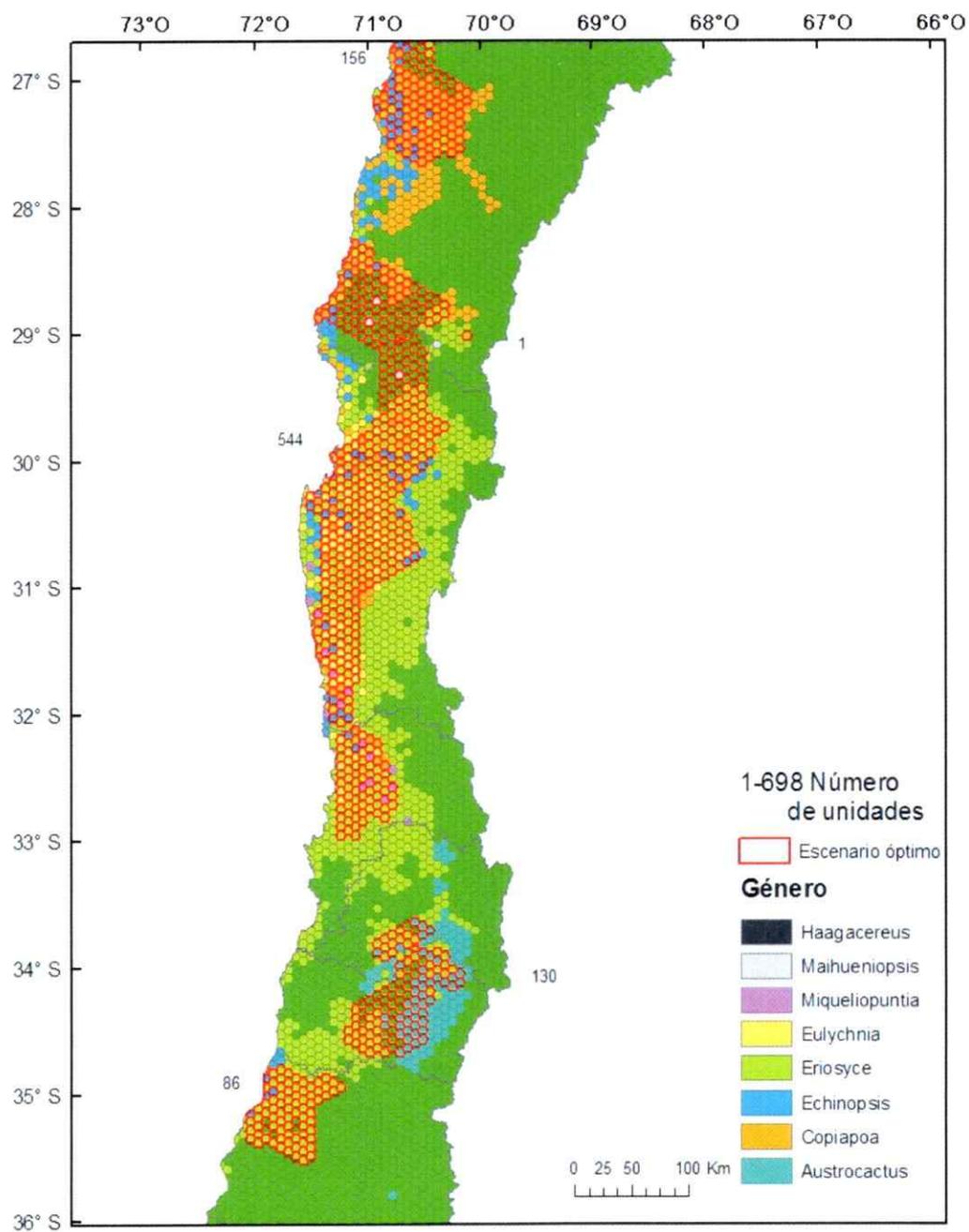


Figura 5 Configuración espacial de la solución óptima: criterios biológicos. 5b desde la Tercera a la Octava región.

El escenario contempla 16 sitios de conservación de diferente tamaño, tamaño, siendo el más pequeño de 1 unidad y el mayor de 698 unidades. Del total de unidades de planificación seleccionadas según este escenario, 985 corresponden efectivamente a zonas con presencia de especies, mientras que 786 unidades corresponden a zonas donde no se encuentran especies.

Escenario 2: criterios biológicos y costo de conservación

Los resultados obtenidos al utilizar criterios biológicos y costos de conservación presentan una cobertura distinta al escenario 1 observándose una menor conectividad y áreas más compactas (Figuras 6a y 6b).

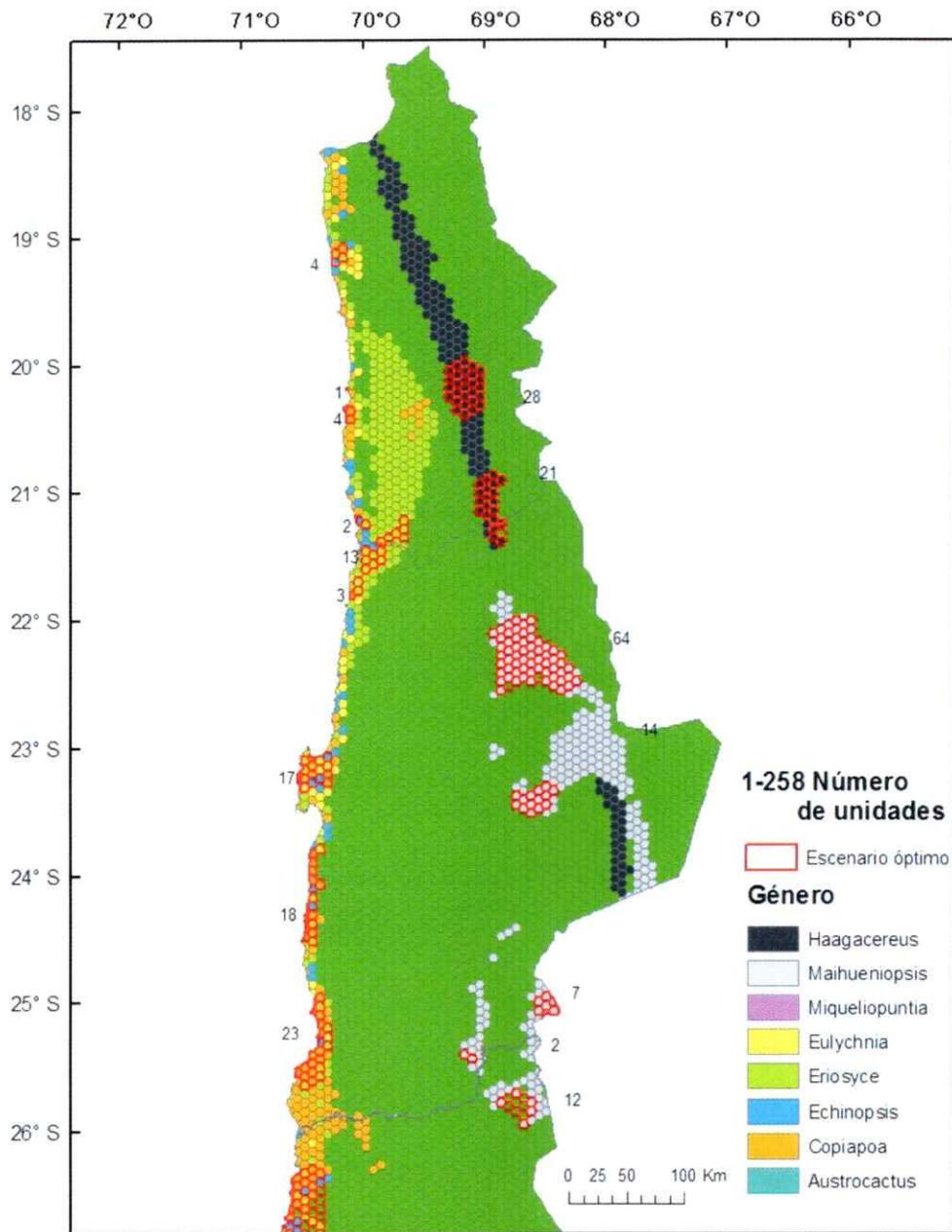


Figura 6 Configuración espacial de la solución óptima: criterios biológicos y socio económicos. 6 a Sitios Prioritarios, desde la Decimoquinta hasta la Segunda región.

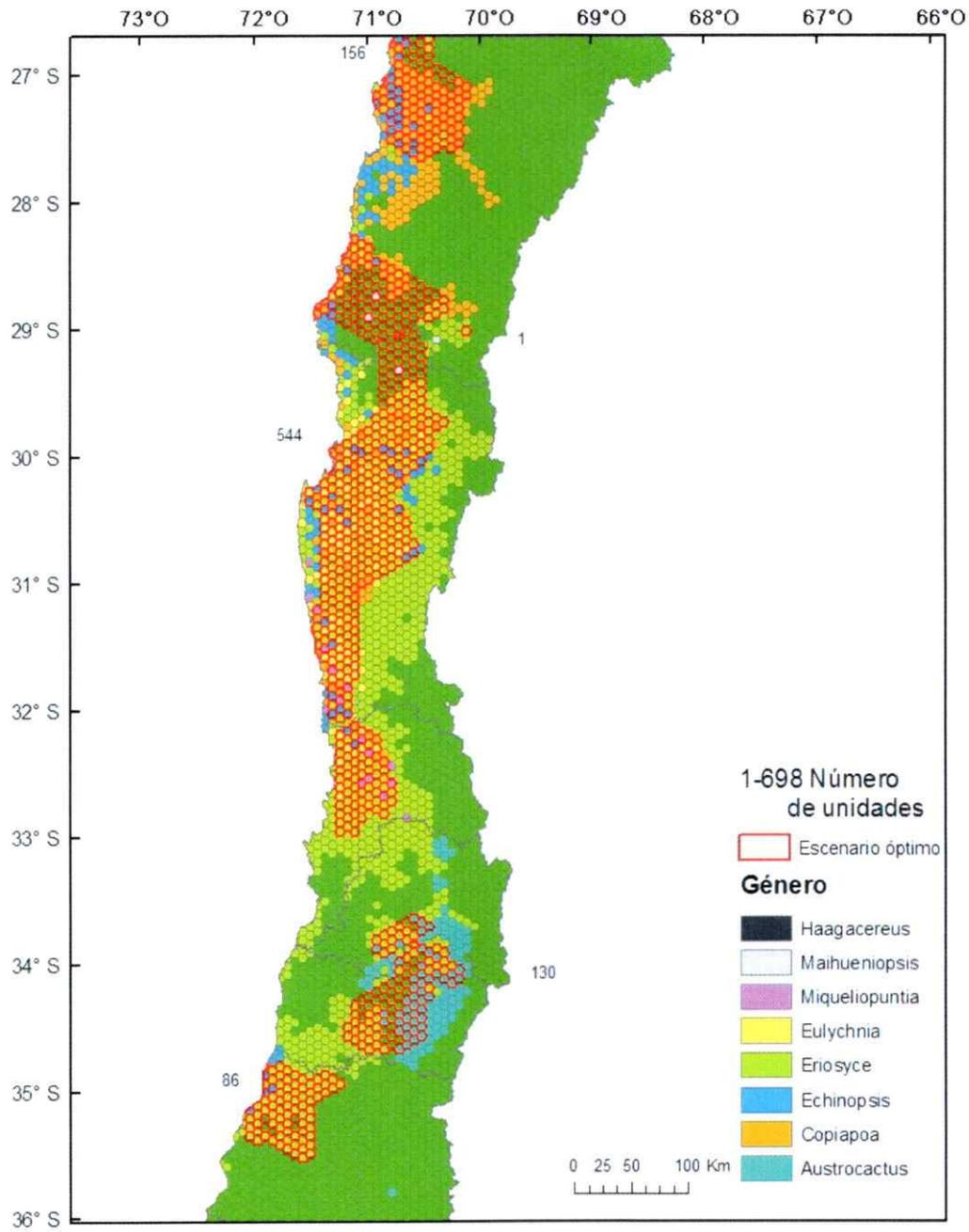


Figura 6 Configuración espacial de la solución óptima: criterios biológicos y socio-económicos. 6b Sitios Prioritarios, desde la Tercera hasta la octava región.

Esta propuesta contempla un total de 896 unidades de planificación con una superficie total de 58.053 km², divididos en 24 sitios prioritarios de distinto tamaño, siendo el más pequeño de 1 unidad y el mayor de 258 unidades. Del total de unidades de planificación resultantes en este nuevo escenario, 789 corresponden efectivamente a zonas con presencia de especies, mientras que 107 unidades corresponden a zonas donde no se encuentran especies, pero que de marginarse de la propuesta, generarían interrupciones en los sitios propuestos. Por otra parte, del total de unidades de planificación, 41 fueron seleccionadas en las 100 corridas, presentando la mayor frecuencia de selección.

Para determinar la similitud entre el escenario de criterios biológicos y el escenario con criterios biológicos + costos de conservación, se realizó una prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirlov para el tamaño de los sitios prioritarios de cada escenario, la que determinó que las distribuciones no son iguales entre ambos escenarios, y las diferencias entre ambos son significativas ($p < 0.001$) (figura 7). Estas diferencias tienen que ver con que el primer escenario presenta en promedio zonas de conservación de mayor tamaño que en el segundo escenario. De hecho el área promedio para el primer escenario es de 5.500km² mientras que el área promedio para el segundo caso fue 1.856km².

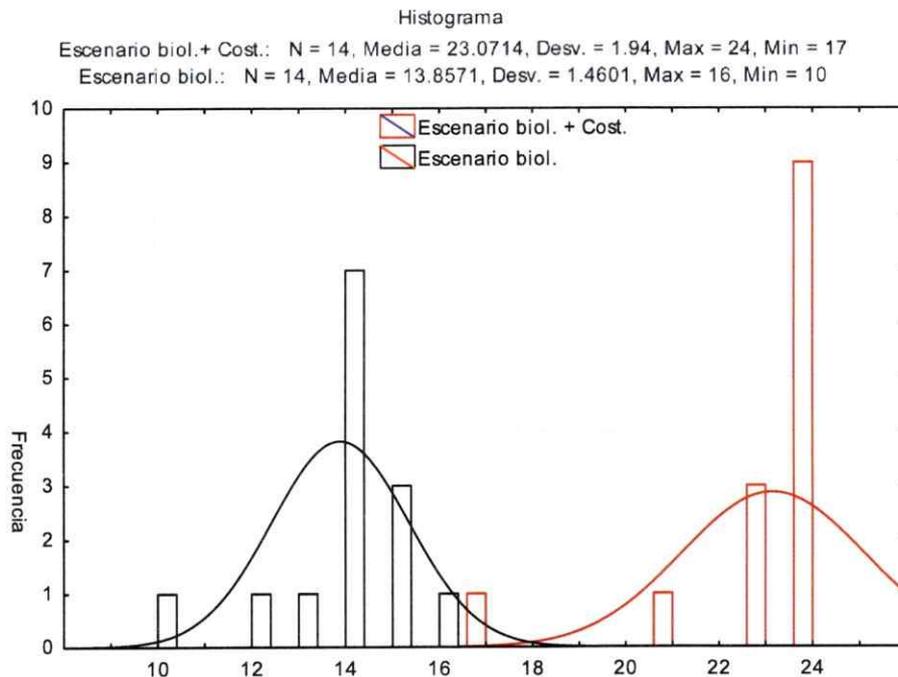


Figura 7. Histograma de las frecuencias (acumuladas) de tamaño de los sitios para el escenario 1(criterios biológicos) y escenario 2(criterios biológicos y costos de conservación).

En un análisis más fino, se examinó con qué frecuencia las unidades de planificación eran seleccionadas a partir de un total de 100 corridas. Las unidades de planificación seleccionadas sobre 95 veces (en el 95% de los casos) suman un total de 191, comprendiendo un territorio total aproximado de 32.611,3 km² de superficie. A partir de esta información, se encontraron 41 unidades seleccionadas 100 veces, es decir, fueron escogidos en todos los escenarios. (Figuras 8)

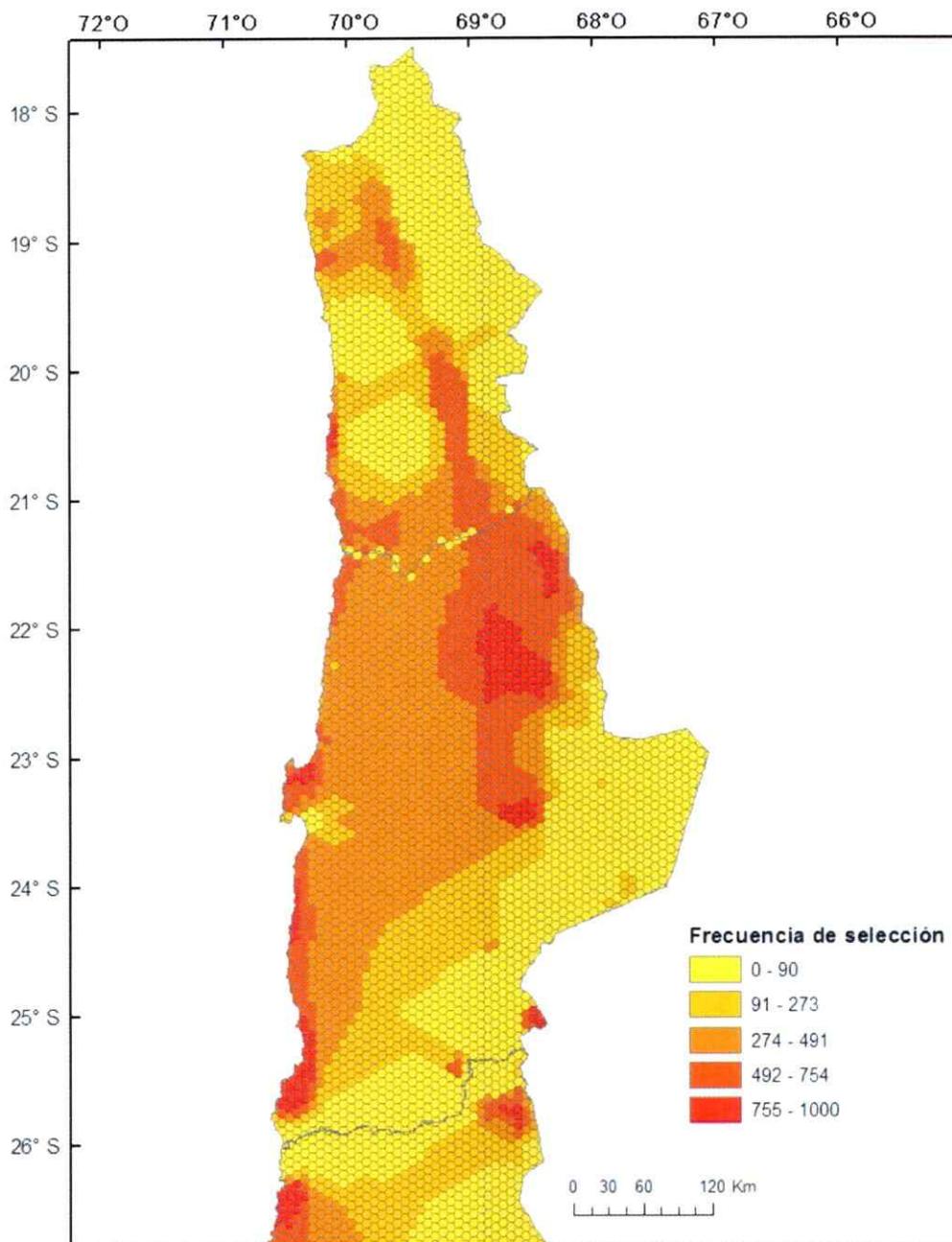


Figura 8 Configuración espacial de las Unidades de Planificación seleccionadas, de acuerdo a la frecuencia de selección porcentual. 8 a desde la Decimoquinta hasta la Segunda región.

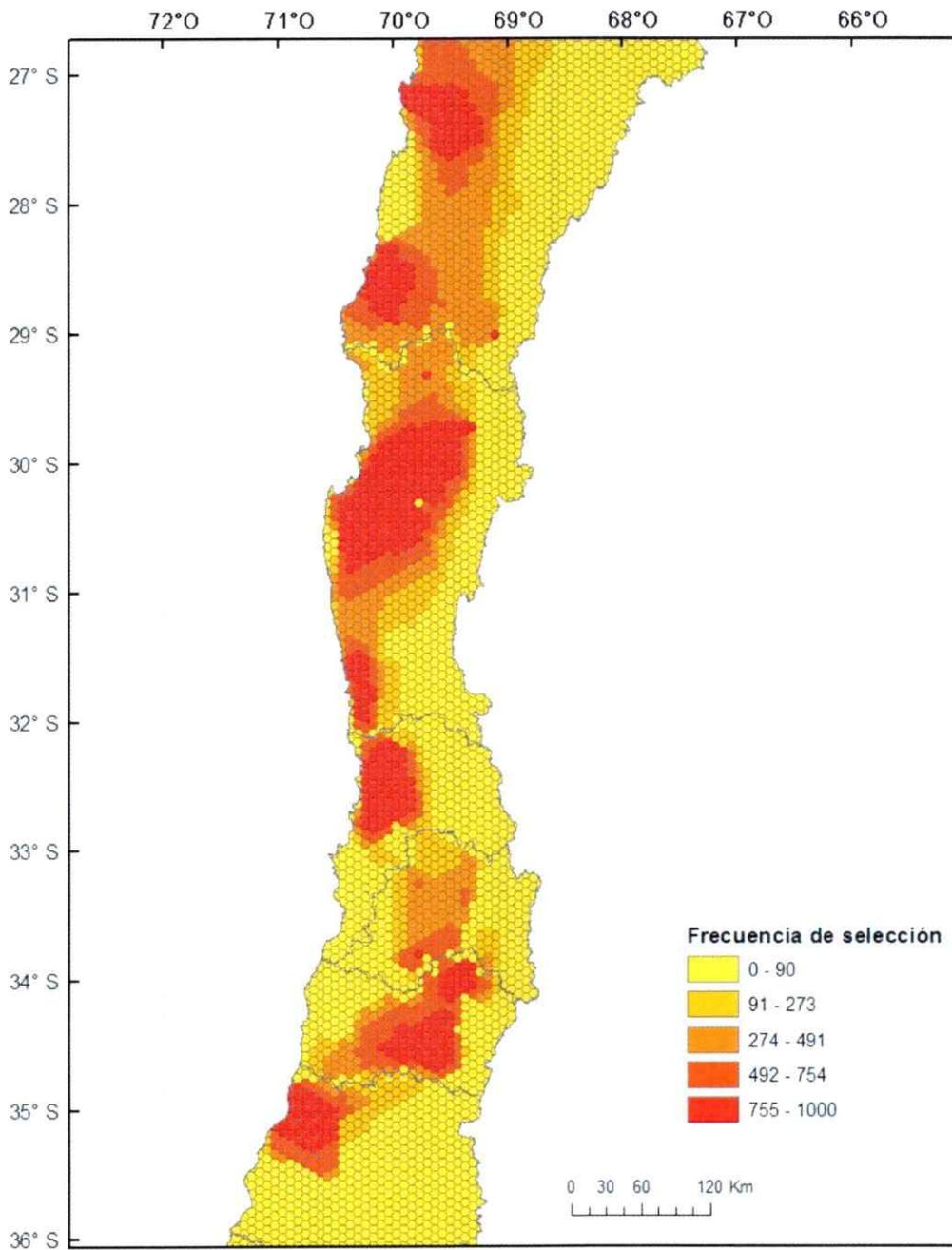


Figura 8 Configuración espacial de las Unidades de Planificación seleccionadas, de acuerdo a la frecuencia de selección porcentual. 8b desde la Tercera hasta la Octava región.

En la mayoría de los casos, no se encuentran unidades de planificación aisladas, a excepción de los casos en los que fue imposible seleccionar unidades más cercanas a los puntos de mayor riqueza de especies. Esto se debe a que hay especies con un alto índice de prioridad que solo se encuentran en 1 o 2 unidades.

Por otra parte, el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) tiene una superficie total de 146.201,546 km², de los cuales 13.461,195 km² se encuentran dentro del territorio estudiado (XV a las VIII región continental).

Existen 32 especies de cactáceas endémicas a Chile protegidas por el SNASPE. Dentro de las 40 especies sin protección, se encuentran las 10 especies con mayor índice de prioridad (tabla 4).

<i>Especie sin protección</i>		<i>IP</i>
<i>Austrocactus</i>	<i>philippi</i>	0,38
<i>Copiapoa</i>	<i>alticostata</i>	0,26
<i>Echinopsis</i>	<i>bolligeriana</i>	0,28
<i>Eriosyce</i>	<i>laui</i>	0,26
<i>Eriosyce</i>	<i>spectabilis</i>	0,26
<i>Maihueniopsis</i>	<i>archiconoidea</i>	0,38
<i>Maihueniopsis</i>	<i>crassispina</i>	0,38
<i>Maihueniopsis</i>	<i>domeykoensis</i>	0,38
<i>Maihueniopsis</i>	<i>grandiflora</i>	0,38
<i>Maihueniopsis</i>	<i>wagenknechtii</i>	0,38

Tabla 4. Especies prioritarias sin protección en el SNASPE

En la figura 9 se muestra una comparación del porcentaje de especies actualmente protegidas en el SNASPE, y aquellas especies que la propuesta incluye dentro de los sitios prioritarios.

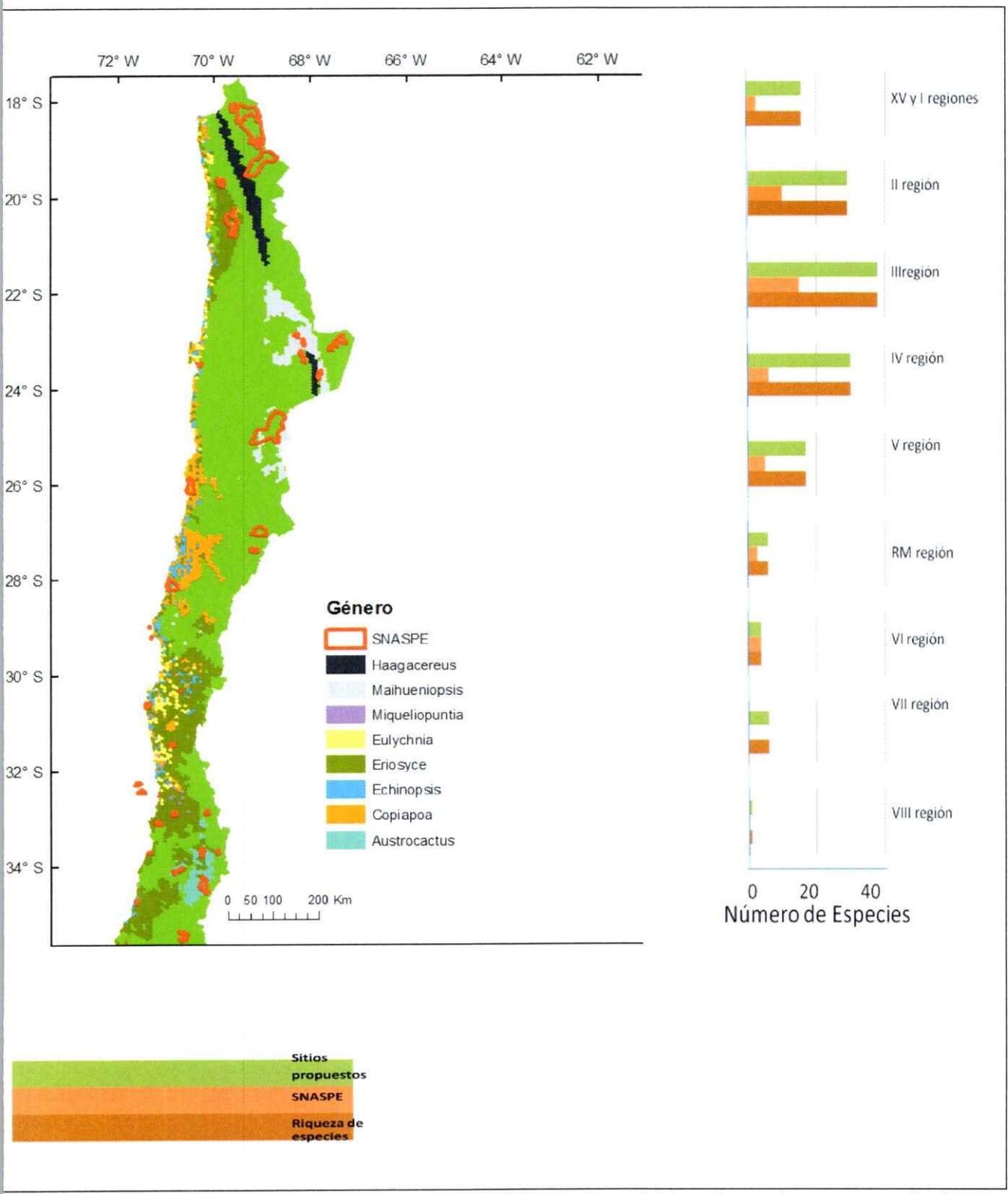


Figura 9. Riqueza de especies por región, cobertura del SNASPE y la propuesta de sitios prioritarios N°2.

Puede observarse que en la actualidad las cactáceas endémicas se encuentran pobremente protegidas en el SNASPE. En la VII región existe nula protección de las 4 especies presentes en el área, al igual que en la VIII región, donde se encuentra como única especie de la región a *Eriosyce subgibbosa*. La III Región cuenta con 15 especies protegidas, representando el 37,5% de las especies de la Región. Mientras que en la VI Región es donde se concentra el mayor porcentaje de especies protegidas, representando un 100% de las cactáceas presentes (n=4). En la Región Metropolitana es donde se concentra el segundo mayor porcentaje de especies protegidas (n=3), representando el 50% de las especies presentes en la Región.

DISCUSIÓN

Para generar propuestas que puedan ser llevadas a la práctica, es necesario tener información precisa para resolver las preguntas clásicas en biología de la conservación “¿qué, dónde y cómo proteger?” (Soulé 1985; Williams & Araújo 2002). Existe un consenso generalizado que la protección *in situ* es la forma más efectiva y necesaria de proteger la diversidad biológica (independientemente de la complementariedad de la conservación *ex situ*), debido a la importancia de la preservación de especies en sus hábitats para una adecuada dinámica poblacional y funcionamiento ecosistémico. Esto queda en manifiesto con la firma de la Convención sobre Diversidad Biológica en 1992, por la cual Chile enmarca la gestión del patrimonio biológica del país, principalmente en avances sobre el SNASPE y las AP privadas. Dentro del marco de la planificación sistemática para la conservación se han generado esfuerzos en conservación *in situ* (Sarkar et al. 2005), los que proporcionan herramientas concretas para la determinación de qué y donde conservar a partir de variables biológicas. Sin embargo más lento y complejo ha significado el incorporar el costo de conservación a éste esfuerzo de planificación, pero es sin duda un proceso necesario para hacer planificación sistemática de manera efectiva (Naidoo et al. 2006), pues genera la posibilidad de incorporar a los distintos actores sociales y a quienes toman las decisiones en los planes de conservación y manejo (Agostini et al. 2010). En el presente trabajo se incorporaron al análisis los costos asociados al uso de suelo, dejando como tarea el incorporar a este trabajo, variables complejas como es el costo asociado a planes de manejo y restauración, el que está siendo considerado en varios trabajos a nivel global (Moore et al. 2003, Bruner et al. 2004). A continuación tendremos

énfasis en tratar de responder qué y dónde conservar las especies de cactáceas endémicas a Chile, incorporando ambas variables.

¿Qué proteger? Priorización de las especies endémicas de cactáceas

Con la finalidad de determinar que especies son prioritarias al momento de planificar, se determinó el rango de unicidad taxonómica para las cactáceas, el que se encuentra entre 6-540, con un promedio de 385,2. Del total de las especies sólo *Miqueliopuntia miquelii* obtuvo un valor=6, y el género *Miqueliopuntia* tiene los valores más pequeños de unicidad.

De todas formas, ha sido importante para la conservación no sólo determinar qué especies conservar, sino las metas de conservación para las especies (Burgman et al. 2001).

En el estudio, se encontraron especies con distribuciones extremadamente estrechas (endemismos acotados), como es el caso de varias especies del género *Maihueniopsis*, *Copiapoa* y *Eriogyne*, por lo que estas especies son prioritarias para conservar. Además, dentro de las cactáceas endémicas existen especies de amplia distribución como es el caso de *Eriogyne curvispina* y *Echinopsis deserticola*, ambas con una distribución mayor a las 500 unidades de planificación, aproximadamente 50.000 km². Conjugando tanto la unicidad taxonómica como la distribución de las especies se trabajó con un índice de prioridad (Guerrero et al. 2008), desde el cuál fue posible determinar cual es la amplitud de distribución de cada especie que debe ser parte de los sitios a conservar. Las diez especies con mayor índice de prioridad (> 0.26) son *Austrocactus philippi*, *Copiapoa alticostata*, *Echinopsis bolligeriana*, *Eriogyne laui*, *Eriogyne spectabilis*, *Maihueniopsis archiconoidea*, *Maihueniopsis crassispina*, *Maihueniopsis domeykoensis*, *Maihueniopsis grandiflora* y *Maihueniopsis wagenknechtii*. Por otra parte, géneros más numerosos y de amplia

distribución como son gran parte del género *Eriosyce*, resultan tener índices de prioridad más bajos, relacionado principalmente a la distribución y a la elevada diversificación del género. En éste sentido, las metas de conservación apuntan conservar principalmente a aquellas especies con mayor índice de prioridad, sin embargo, la Familia Cactácea, por sus características biológicas (baja dispersión) y estado de conservación, presenta metas de conservación altas para todos sus géneros.

¿Dónde conservar? Análisis espacial

Para cumplir con las metas de conservación, MARXAN escoge aquella configuración en el espacio con mayor compactación, encontrando un equilibrio entre el tamaño del perímetro de cada zona de la propuesta y la conectividad entre cada unidad de planificación (Wilson et al. 2009).

Los costos de conservación son considerados como la factibilidad de realizar acciones de conservación en un área determinada (Squeo et al .2008). Se asignó entonces un valor para el costo relacionado con la oportunidad de cambio en cada unidad de planificación, de acuerdo las variables económicas seleccionadas: redes viales, centros mineros, terrenos urbanos, y terrenos de uso agrícola. Las regiones que resultaron tener los costos más altos son la V región, la VI región, y región metropolitana. Esto se debe principalmente al uso de suelo agrícola, el que ocupa una amplia superficie en la zona central del país, lo que implica mayor complejidad para definir áreas prioritarias. Sin embargo, el modelo corrige buscando la mejor configuración espacial para cumplir con las metas de conservación definidas.

Como resultado de la modelación con variables biológicas (distribución, taxonomía y endemismo) y económicas (costos), se obtuvo para el escenario 2, compuesto de 24 sitios

ubicados entre la XV y VIII región, divididos en 896 unidades de planificación de aproximadamente 100km² cada una. Considerando que la meta mínima de conservación es de un 10% para aquellas especies sin categoría de conservación, los sitios cumplen con las metas de conservación propuestas. Las unidades de planificación tienen una frecuencia de selección entre 0 y 1000 veces, de las cuales 41 unidades fueron seleccionadas en un 100%. Estas unidades de planificación son consideradas irremplazables (Tognelli et al. 2009), esto quiere decir que se encuentran en el 100% de los escenarios entre los cuales MARXAN escoge el escenario óptimo.

Mediante una prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov se determinó que el escenario con variables biológicas 1 y el escenario 2 son significativamente distintos, por lo tanto, incluir los costos en la modelación de sitios prioritarios no es trivial, y significa obtener sitios de menor tamaño, acotados tanto por la distribución de las especies como por los costos.

Como compromiso, se requiere incorporar otros factores relevantes para la planificación. A nivel global, se esperan cambios relevantes en los ecosistemas naturales (Sala et al. 2000). Por lo tanto, la inclusión del efecto del cambio climático global en la planificación para conservación es un desafío cada vez más relevante (Pressey et al. 2007, Dawson et al. 2011), debido a que existen evidencias del deterioro que sufren algunas poblaciones de cactáceas a causa de la aridificación debido a la expansión del desierto hiperárido (Schulz 2006), fenómeno descrito para algunas especies del género *Copiapoa* y *Eriogyne* en la zona norte de Chile (Pinto & Kisberg 2005).

Finalmente, para evaluar la actual protección de las especies por parte del SNASPE, se sobrepusieron los mapas de distribución de cada una de las especies con las áreas actualmente protegidas por el SNASPE. De un total de 72 especies estudiadas, solo el 44.4% se encuentra actualmente protegida, en alguna de sus poblaciones, lo que deja al descubierto un gran vacío de conservación para el grupo en general, vacío que ha sido descrito para diversos grupos de especies por Luebert F & Becerra 1998, y por Lagos et al. 2001. Además, dentro de las 32 especies que se encuentran en algún área protegida, ninguna presenta índices de prioridad altos, por el contrario, de las 10 especies de cactáceas endémicas con mayor índice ninguna se encuentra protegida.

En la actualidad, las áreas protegidas del SNASPE no resultan útiles para la protección de las cactáceas endémicas a Chile. Esto resulta particularmente problemático debido a que el 97.2% de las especies de cactáceas endémicas se encuentran en alguna categoría de amenaza (en peligro, vulnerable), debido al deterioro de sus poblaciones y, probablemente, a que muchas de las especies son naturalmente raras (especialistas de habitat, endemismos acotados o baja abundancia poblacional). Un ejemplo de la rareza de este grupo es el caso del género *Maihueniopsis*, grupo que se compone de 8 especies, todas con problemas de conservación y de distribución acotada. Esto se ve además reflejado en la permanencia de este grupo en el apéndice II en la CITES, esto implica que no pueden ser comercializadas a partir de la extracción *in situ* de los individuos (CITES 2010).

El presente trabajo propone 24 sitios prioritarios donde realizar actividades de conservación *in situ* desde la Decimoquinta a la Séptima Región, los que cumplen con metas de conservación basadas en la taxonomía y distribución de las especies. Estos sitios pueden ser utilizados tanto para la creación de parques y monumentos, como para generar planes de

manejo. Es también terreno para otras prácticas de conservación basadas en la restauración ecológica, todos ejercicios que permiten mejorar la conservación de las especies en el país.

REFERENCIAS

Agostini V, Margles S, Schill S, Knowles J, & Blyther R (2010) Marine Zoning in Saint Kitts and Nevis: A Path Towards Sustainable Management of Marine Resources, The Nature Conservancy. 39 pp.

Anderson S. (1994). Area and Endemism. *Quarterly Review of Biology* 69: 451–471.

Armesto J, Smith-Ramírez C, León P & Arroyo MTK (2002) Biodiversidad y conservación del bosque templado en Chile. *Ambiente y desarrollo* 8: 19-24.

Ball IR, Possingham HP & Watts M (2009). MARXAN and relatives: Software for spatial conservation prioritization. In: Moilanen A, Wilson KA, Possingham HP (eds) *Spatial conservation prioritization*: 185-194. Oxford University Press, Oxford, UK.

Benoit I (1999). Formaciones Vegetacionales Deficitarias en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado. Ediciones CONAF, Santiago de Chile. 11pp

Carwardine J, Wilson K, Whatts M, Etter A, Trembably-Boyer L, & Possingham, HP (2006). Where do we act to get de biggest conservation bang for our buck? A systematic spatial prioritization approach for Australia. Report for the Department of

the Environment and Heritage Biodiversity Trends Section, Canberra, Australia. 162 pp.

Clarke K & Warwick R (1998). A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, 35: 523-531.

Cavieres LH, Arroyo MTK, Posadas P, Marticorena C, Matthei O, Rodríguez R, Squeo, FA & Arancio G (2002). Identification of priority areas for conservation in an arid zone: application of parsimony analysis of endemism in the vascular flora of the Antofagasta region, northern Chile. *Biodiversity and Conservation*, 11: 301- 1311.

CONAMA (2005) Plan de Acción de País para la Implementación de la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2004-2015. CONAMA, Chile. 139 pp.

Dawson TP, Jackson ST, House JI, Prentice IC & Mace GM (2011). Beyond predictions: biodiversity conservation in changing climate. *Science* 332: 53-58.

Game ET & Grantham HS (2008). Manual del usuario de MARXAN. Universidad de Queensland, St. Lucia, Queensland, Australia, y la Asociación para la Investigación y Análisis Marino del Pacífico, Vancouver, British Columbia, Canadá. 138 pp.

Faith D (1996). Conservation priorities and phylogenetic patterns. *Conservation Biology* 10: 1286-1289.

Graham C, Ferrier S, Huettman F, Moritz C, & Peterson A (2004). New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology & Evolution* 19: 497-503.

Guerrero PC, Leon-Lobos P y Squeo F (2008). Priorización de las especies endémicas presentes en la Región de Atacama: unicidad taxonómica y grados de endemismo. En: Squeo FA, Arancio G & Gutiérrez JR (eds) Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Atacama: 339-346. Ediciones Universidad de la Serena, Chile.

Guisan A & Zimmermann N (2000) Predictive habitat distributional models in ecology. *Ecology Modeling* 135: 147–186

Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG & Jarvis A (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.

Hoffmann AE & Walter HE (2004). *Cactáceas en la flora silvestre de Chile*. Segunda edición. Ediciones Fundación Claudio Gay, Santiago, Chile. 307 pp.

Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (2010). Base de Datos en http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/home.php. (Revisado el 10 de junio del 2010).

Lamoreux J, Akçakaya HR, Bennun L, Collar NJ, Boitani L, Brackett D, Bräutigam A, Brooks TM, Da Fonseca GAB, Mittermeier RA, Rylands AB, Gärdenfors U, Hilton-Taylor C, Mace G, Stein BA & Stuart S (2003) Value of the IUCN red list. *Trends in Ecology and Evolution* 18: 214-215.

Luebert F y Becerra (1998) Representatividad vegetacional del Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) en Chile. *Ciencia y Ambiente* 14: 62-69.

Laffan S & Crisp M (2003) Assessing endemism at multiple spatial scales. With an example from the Australian vascular flora. *Journal of Biogeography* 30: 511-520.

Luzadis V, Goslee K, Greenfield E, & Schaeffer T (2002) Toward a more integrated ecosystem model. *Society and Natural Resources* 15: 89-94.

Mace GM (1995) Classification of threatened species and its role in conservation planning. In: Lawton JH y May RM Eds. *Extinction Rates*. Oxford University Press, Oxford.

Margules CR & Pressey RL (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, 405: 243-253.

Martcorena C (1990) Contribución a la estadística de la Flora Vascular de Chile. *Gayana Botánica* 47: 85-113.

Molinen A & Kujala H (2008). The Zonation Conservation Planning Framework and Software v 1.: User Manual. <http://www.uq.edu.au/MARXAN.html> (Revisado el 15 de junio del 2010).

Moilanen A (2008) Two Paths to a Suboptimal Solution-Once More About Optimality in Reserve Selection. *Ecological Application* 12: 913-926.

Moriba J (2003) Estrategia Nacional de Conservación y convenios internacionales. www.conama.cl/biodiversidad/1308/propertyvalue-15408.html (Revisado el 15 de junio del 2010).

Naidoo R, Balmford A, Ferraro PJ, Polasky S, Ricketts T & Rouget M(2006) Integrating economic costs into conservation planning. *Trends Ecology and Evolution* 21: 681-688.

Ormazabal CS (1993). The conservation of biodiversity in Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 383-402.

Phillips SJ, Anderson RP & Schapire RE (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling* 190: 231–259.

Phillips SJ, Dudík M & Schapire R (2004). A maximum entropy approach to species distribution modeling. In *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*: 655-662. Banff, Canada.

Pinto R & Kierberg A (2005) Conservation status of *Eriosyce* (Cactaceae) in the northernmost Chile. *Bradleya* 23: 7-16.

Pliscoff PA (2003). Priorización de áreas para fortalecer la conservación de la flora arbórea nativa en la zona mediterránea de Chile. MScThesis. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 102 pp.

Pressey R, Cabeza M, Watts M, Cowling R & Wilson K (2007). Conservation planning in a changing world. *Trends in Ecology & Evolution* 22: 583-591.

Possingham HP, Wilson KA, Andelman SJ & Vynne CH (2006) Protected areas: goals, limitations, and design. In: Groom MJ, Meffe GK y Carroll CR (eds) *Principles of Conservation Biology*: 507-549. Third edition, Sinauer Associates, Massachusetts, United States.

Possingham HP, Andelman SJ, Burgman MA, Medellín RA, Master LL & Keith DA (2002). Limits to the use of threatened species lists. *Trends in Ecology and Evolution* 17: 503-508.

Rovito S, Arroyo MTK & Pliscoff P(2004) Distributional modelling and parsimony analysis of endemism of *Senecio* in the Mediterranean-type climate area of Central Chile. *Journal of Biogeography* 31: 1623–1636.

Saldivia P & Rojas G (2008). Nuevos registros y antecedentes de la familia Cactaceae para Chile en la Región de Aisen. *Gayana Botanica* 65: 198-208.

Serey I, Ricci M & Smith-Ramírez C (eds) (2007). Libro Rojo de la Región de O'Higgins. Corporación Nacional Forestal – Universidad de Chile, Rancagua, Chile. 222 pp.

Squeo FA, Arancio G & Gutiérrez JR (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, Chile. 361 pp.

Squeo FA, Letelier L, Gaymer C, Stoll A, Smith C, Miethke Cundill G, Lhermitte S, Marquet P, Samaniego H, Guerrero PC, Arancio G, Marticorena A, López D & Martínez K (2009) Estudio de análisis de omisiones y vacíos de representatividad en los esfuerzos de conservación en la biodiversidad en Chile. Informe Técnico Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA, Chile.

Squeo FA, Arancio G & Gutiérrez JR (2008) Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Atacama. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile. 456 pp.

Soulé ME (1985). What is Conservation Biology? *BioScience* 35: 727 -734.

Tognelli MF, Fernández M & Marquet PA (2009). Assessing the performance of the existing and proposed network of marine protected areas to conserve marine biodiversity in Chile. *Biological Conservation* 142: 3147-3153.

Tognelli MF, Ramirez de Arellano PI & Marquet PA (2008). How well do the existing and proposed reserve networks represent vertebrate species in Chile? *Diversity and Distributions* 14: 148–158

Underwood JG, D'Agrosa C & Gerber LR (2010) Identifying Conservation Areas on the Basis of Alternative Distribution Data Sets. *Conservation Biology* 24: 162-170.

Vane-Wright R, Humphries C & Williams P (1991) What to protect-systematics and the agency of choice. *Biological Conservation* 55: 235-54.

Williams P & Araújo M (2002). Apples, oranges, and probabilities: Integrating multiple factors into biodiversity conservation with consistency. *Environmental Modeling and Assessment* 7: 139-151.

Wilson K, Cabeza M & Klein C (2009). Fundamental Concepts of Spatial Conservation Prioritization. In: Moilanen A, Wilson KA y Possingham HP (eds) *Spatial Conservation Prioritization*: 16-27. Oxford University Press, Oxford, UK.

APENDICE A

Marco conceptual

Planificación Sistemática para la Conservación

La conservación de la biodiversidad es dependiente de múltiples factores, dentro de los cuales los factores entrópicos juegan un rol fundamental a la hora de determinar cambios positivos o negativos en la biodiversidad. Es entonces fundamental entender la necesidad de generar planes de conservación que incluyan la participación de la mayor cantidad de actores sociales posibles, siendo entonces necesaria información clara y propuestas concretas. La planificación sistemática busca ser una metodología para abrir las puertas a una conservación integrada, a partir de un análisis riguroso de la mejor información disponible sobre los territorios a conservar. Este método propone la división del territorio en Unidades de Planificación, que son divisiones espaciales con formas determinadas (cuadrados, hexágonos, cuencas, etc) para poder definir los sitios a conservar de manera organizada y clara. Para entender a cabalidad la Planificación Sistemática, es debido manejar cuales son los fundamentos o cimientos focalizados en los conceptos de Complementariedad, Representatividad, Priorización, relación Costo-eficiencia y irremplazabilidad de las especies.

Complementariedad, este término alude a la necesidad de conservar de acuerdo a la riqueza de especies presente en las Unidades de Planificación (UP) y la abundancia de cada especie traducida en número de UP en las que se encuentra la especie. Así si una especie se encuentra sólo en una UP, esta parte del territorio se debe encontrar en la propuesta final,

pero si hay una especie que se encuentra en todas las UP, basta con conservar aquel territorio donde se encuentra la especie 1. De modo que las Unidades de complementan a medida que estas logran representar juntas las especies que se quieren conservar.

Priorización, para poder evaluar que especies deben ser conservadas y en que proporción, es necesario establecer la importancia de éstas según factores biológicos como son la distribución, la unicidad taxonómica, y el estado de conservación. Para robustecer el análisis, es correcto incorporar a lo menos estos tres parámetros, de modo de cuantificar claramente las características en el espacio que tienen las especies y lograr compararlas entre sí.

Costos de conservación

Para realizar planificación territorial para la conservación de especies, es necesario integrar los costos de conservación asociados a los sitios a conservar. Existen diversas aproximaciones que permiten definir cuáles son los costos de las Unidades de Planificación en las cuales se está trabajando. Entre los métodos se encuentran (Naidoo et al, 2006):

Costos de adquisición: relacionados con el costo de comprar (si es necesario) los sitios en los cuales se pretende planificar.

Costos de Oportunidad: relacionados con los usos del suelo, y la ganancia o pérdida por escoger usar en conservación o en alguna actividad económica.

Costo de transacción: relacionados con cambios de uso de suelo, transacciones de compra-venta.

Costo de manejo: relacionado con la gestión necesaria para implementar los planes de conservación en el territorio.

En el presente trabajo se consideran los costos de adquisición, en términos de la posibilidad de conservar en áreas urbanas con alta densidad poblacional, y en áreas donde se encuentren proyectos mineros. En ambos casos, en una primera instancia, no es posible establecer alguna de las figuras de protección del SNASPE existentes en Chile: Parque Nacional, Monumento Natural y Reservas Nacionales, mas es posible, aunque no será abordado en el presente trabajo, establecer Planes de Manejo que permitan incluir a la población en la conservación de las especies.

APENDICE B

Tabla de la unicidad taxonómica, distribución e índice de prioridad por especie.

<i>Especie</i>	<i>NE</i>	<i>NG</i>	<i>NT</i>	<i>UT(x10⁻³)</i>	<i>D</i>	<i>IP</i>
<i>Austrocactus philippi</i>	3	5	4	16.7	2	0,38
<i>Austrocactus spiniflorus</i>	3	5	4	16.7	177	0,16
<i>Copiapoa alticostata</i>	24	5	4	2.08	2	0,26
<i>Copiapoa atacamensis</i>	24	5	4	2.08	168	0,16
<i>Copiapoa calderana</i>	24	5	4	2.08	210	0,15
<i>Copiapoa cinerascens</i>	24	5	4	2.08	65	0,19
<i>Copiapoa cinérea</i>	24	5	4	2.08	95	0,18
<i>Copiapoa coquimbana</i>	24	5	4	2.08	55	0,20
<i>Copiapoa dealbata</i>	24	5	4	2.08	74	0,18
<i>Copiapoa echinoides</i>	24	5	4	2.08	114	0,17
<i>Copiapoa fiedleriana</i>	24	5	4	2.08	29	0,22
<i>Copiapoa grandiflora</i>	24	5	4	2.08	83	0,18
<i>Copiapoa humilis</i>	24	5	4	2.08	150	0,16
<i>Copiapoa hypogaea</i>	24	5	4	2.08	182	0,15
<i>Copiapoa krainziana</i>	24	5	4	2.08	37	0,21
<i>Copiapoa laui</i>	24	5	4	2.08	66	0,19
<i>Copiapoa longistaminea</i>	24	5	4	2.08	73	0,19
<i>Copiapoa marginata</i>	24	5	4	2.08	36	0,21
<i>Copiapoa megarhiza</i>	24	5	4	2.08	180	0,15

<i>Copiapoa montana</i>	24	5	4	2.08	52	0,20
<i>Copiapoa serpentisulcata</i>	24	5	4	2.08	66	0,19
<i>Copiapoa decorticans</i>	24	5	4	2.08	47	0,20
<i>Copiapoa leolensis</i>	24	5	4	2.08	57	0,20
<i>Copiapoa arhemephiana</i>	24	5	4	2.08	10	0,25
<i>Copiapoa solaris</i>	24	5	4	2.08	33	0,22
<i>Copiapoa taltalensis</i>	24	5	4	2.08	73	0,19
<i>Eriogyne engleri</i>	27	5	4	1.85	1	0,26
<i>Eriogyne laui</i>	27	5	4	1.85	1	0,26
<i>Eriogyne aspillagae</i>	27	5	4	1.85	226	0,15
<i>Eriogyne aurata</i>	27	5	4	1.85	331	0,14
<i>Eriogyne chilensis</i>	27	5	4	1.85	56	0,20
<i>Eriogyne confinis</i>	27	5	4	1.85	97	0,17
<i>Eriogyne eriosyzoides</i>	27	5	4	1.85	49	0,20
<i>Eriogyne crispa</i>	27	5	4	1.85	10	0,25
<i>Eriogyne curvispina</i>	27	5	4	1.85	660	0,12
<i>Eriogyne esmeraldana</i>	27	5	4	1.85	46	0,20
<i>Eriogyne garaventa</i>	27	5	4	1.85	99	0,17
<i>Eriogyne heinrichiana</i>	27	5	4	1.85	108	0,17
<i>Eriogyne iquiquensis</i>	27	5	4	1.85	5	0,25
<i>Eriogyne napina</i>	27	5	4	1.85	27	0,22
<i>Eriogyne occulta</i>	27	5	4	1.85	3	0,26
<i>Eriogyne odieri</i>	27	5	4	1.85	52	0,20

<i>Eriosyce paucicostata</i>	27	5	4	1.85	51	0,20
<i>Eriosyce recóndita</i>	27	5	4	1.85	47	0,20
<i>Eriosyce rodentiophila</i>	27	5	4	1.85	90	0,18
<i>Eriosyce senilis</i>	27	5	4	1.85	159	0,16
<i>Eriosyce simulans</i>	27	5	4	1.85	2	0,26
<i>Eriosyce sociabilis</i>	27	5	4	1.85	4	0,25
<i>Eriosyce spectabilis</i>	27	5	4	1.85	1	0,26
<i>Eriosyce subgibbosa</i>	27	5	4	1.85	280	0,14
<i>Eriosyce taltalensis</i>	27	5	4	1.85	104	0,17
<i>Eriosyce tenebrica</i>	27	5	4	1.85	2	0,26
<i>Eriosyce villosa</i>	27	5	4	1.85	52	0,20
<i>Eulychnia acida</i>	4	5	4	12.5	298	0,14
<i>Eulychnia breviflora</i>	4	5	4	12.5	78	0,18
<i>Eulychnia castanea</i>	4	5	4	12.5	184	0,15
<i>Eulychnia iquiquensis</i>	4	5	4	12.5	263	0,14
<i>Maihueniopsis archiconoidea</i>	11	6	1	12.8	1	0,38
<i>Maihueniopsis atacamensis</i>	11	6	1	12.8	41	0,21
<i>Maihueniopsis camachoi</i>	11	6	1	12.8	221	0,15
<i>Maihueniopsis colorea</i>	11	6	1	12.8	23	0,25
<i>Maihueniopsis crassispina</i>	11	6	1	12.8	2	0,37
<i>Maihueniopsis domeykoensis</i>	11	6	1	12.8	1	0,38
<i>Maihueniopsis grandiflora</i>	11	6	1	12.8	1	0,38
<i>Maihueniopsis wagenknechtii</i>	11	6	1	12.8	1	0,38

<i>Miqueliopuntia miquelii</i>	1	6	1	166.6	116	0,17
<i>Echinopsis bolligeriana</i>	9	3	4	9.26	13	0,28
<i>Echinopsis chiloensis</i>	9	3	4	9.26	94	0,18
<i>Echinopsis coquimbana</i>	9	3	4	9.26	132	0,16
<i>Echinopsis deserticola</i>	9	3	4	9.26	556	0,13
<i>Echinopsis skottsbergii</i>	9	3	4	9.26	112	0,17
<i>Haageocereus fascicularis</i>	2	3	4	41.7	165	0,16