

## Capítulo 13

### Vacíos de Conservación y Sitios Prioritarios para la Conservación de los Vertebrados Nativos de la Región de Atacama

PABLO I. RAMÍREZ DE ARELLANO, MARCELO F. TOGNETTI,  
CARLOS GARIN & PABLO A. MARQUET

#### RESUMEN

En base a la distribución de vertebrados en la Región de Atacama, se realizó una evaluación de vacíos de conservación considerando las áreas protegidas existentes y los sitios prioritarios propuestos por el gobierno (sitios CONAMA). Además, se identificaron áreas prioritarias de conservación para la Región de Atacama utilizando herramientas de planeamiento sistemático para la conservación y en relación a dos universos de comparación; a escala de todo el país versus sólo en esta región. Además se compararon las soluciones sistemáticas asignando metas de representatividad a todos los vertebrados presentes en la Región de Atacama con aquellas soluciones que sólo consideran un subconjunto de vertebrados endémicos y amenazados de la región. Adicionalmente, se evaluó el efecto del tamaño de las unidades de planificación en las soluciones. Finalmente, se evaluó si las especies de flora de la Región de Atacama podrían servir como indicadores ("substitutos") de los vertebrados. El análisis de vacíos de representatividad mostró que el 13,3% de los vertebrados no están cubiertos por ningún área protegida a nivel nacional, mientras que para la Región de Atacama este porcentaje fue 24,5%. Cuando se incluyeron los sitios CONAMA en el análisis, la representatividad mejoró aunque todavía se encontraron especies no protegidas (GAP). Como era de esperar, el porcentaje de territorio a conservar fue menor cuando se usó un subconjunto de las especies de la región y también cuando se usaron unidades de planificación de mayor resolución aunque las proporciones de territorio nunca bajaron del 35%, llegando incluso al 45% cuando se obligó la implementación de los sitios CONAMA y se cumplió con las metas de conservación definidas en este ejercicio. Finalmente, la flora de Atacama no sería un buen indicador de los vertebrados por lo que es conveniente agregar nuevos componentes de la biodiversidad para complementar el diseño de un sistema de áreas protegidas representativo y eficiente para la región.

**Palabras Clave:** Vertebrados, sitios prioritarios, análisis de vacíos de conservación, planeamiento para la conservación

#### INTRODUCCIÓN

Las crecientes presiones sobre los ecosistemas del planeta que resultan de las actividades de los seres humanos, hacen que la conservación de las áreas naturales sea vital para la persistencia de la diversidad biológica (McNeely

1994). Las áreas protegidas han demostrado ser una herramienta efectiva para mitigar los distintos usos antrópicos (i.e. deforestación, pastoreo, agricultura, etc.) y la consiguiente pérdida de la biodiversidad (Bruner et al. 2001, Sánchez-Azofeifa et al. 2003). Además de conservar la biodiversidad, las áreas protegidas pueden servir también para proveer otros beneficios, tales como protección de cabeceras de cuencas, protección contra inundaciones, protección de valores culturales y de poblaciones aborígenes (Possingham et al. 2006). Sin embargo, en general, las áreas naturales protegidas han sido creadas más en base a oportunidades que a criterios basados en maximizar la representatividad y la persistencia de las especies (Pressey et al. 1993, Pressey 1994, Margules & Pressey 2000).

En la actualidad, luego del claro reconocimiento de la relevancia de las áreas naturales protegidas en la preservación de las especies y ambientes, el dilema de los especialistas en la planificación de la conservación se centra en determinar qué porcentaje de una determinada región o país es necesario para brindar una protección adecuada que asegure la viabilidad de las especies en el largo plazo (Brooks et al. 2004, Svancara et al. 2005). En el III Congreso Mundial de Parques Nacionales realizado en Bali (Indonesia) en 1982, se propuso formalmente que las áreas naturales protegidas deberían cubrir al menos el 10% de cada bioma para el año 2000 (Miller 1984). Sin embargo, los pocos estudios disponibles para determinar las áreas requeridas para sostener los procesos ecológicos o mantener poblaciones viables de especies nativas son con frecuencia de 2 a 6 veces mayores (Odum 1970, Noss 1996, Cox et al. 1994). Si bien este objetivo de conservación fue definido de manera arbitraria y sin un fundamento científico del requerimiento mínimo de las especies (Soulé & Sanjayan 1998), ha sido adoptado por numerosas organizaciones internacionales de conservación (p.ej. IUCN, CBD) y gobiernos nacionales. Chile no ha sido la excepción a esta regla y en su Estrategia Nacional de Biodiversidad, el gobierno nacional a través de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) propuso la protección de al menos el 10% de cada ecosistema representativo del país para el año 2015 (CONAMA 2003). Para alcanzar este objetivo, la CONAMA generó un listado de sitios prioritarios de conservación (sitios CONAMA) que progresivamente se irán incorporando al sistema actual de áreas protegidas. Cabe destacar que la selección de estos sitios fue realizada con consulta a organizaciones públicas y privadas en la respectiva región administrativa.

De acuerdo con Pressey y colaboradores (1993), el porcentaje a conservar de una región o país debe emerger de los requerimientos particulares de los elementos de la biodiversidad (i.e., especies, ecosistemas, tipos de vegetación) que se quieren proteger y no estar limitados por objetivos arbitrarios. De esta manera, las metas de conservación deben surgir de un adecuado conocimiento y el mapeo de las distribuciones de estos elementos. Una planificación eficiente de la conservación pasa por evaluar el grado de protección que provee el sistema de áreas protegidas existentes (básicamente un análisis de vacíos y omisiones de conservación (GAP); Jennings 2000) y luego seleccionar sitios adicionales que complementen de manera eficiente la red de reservas actual con base en objetivos de conservación definidos *a priori*.

Desde la década del 80, se han venido desarrollando técnicas matemáticas basadas en algoritmos de optimización que permiten diseñar sistemas de reservas que representan la biodiversidad de manera eficiente. El conjunto de metodologías comúnmente conocidas bajo el nombre de planeamiento sistemático para la conservación (Margules & Pressey 2000) hoy constituye un

estándar para el diseño de nuevas reservas y está siendo aplicado en diversas regiones del mundo (p.ej., Pressey 1999, Ferrier et al. 2000, Noss et al. 2002, Cowling & Pressey 2003, Cantú et al. 2004) e incluso para la biósfera en su conjunto (Rodrigues et al. 2004b).

El planeamiento sistemático para la conservación ha motivado una verdadera revolución en la forma de diseñar conservación in-situ (Sarkar 2005). Sin embargo, a pesar de ser métodos repetibles y muy eficientes que permiten la interacción de las múltiples partes interesadas con base en objetivos explícitos de conservación, no dejan de depender de numerosas decisiones que afectan el número y localización de las propuestas de reservas. Entre estas decisiones se encuentra el número y naturaleza de los elementos de la biodiversidad a considerar; no es lo mismo planear una reserva para especies de flora que para especies de vertebrados. El representar adecuadamente un grupo taxonómico o clasificación biofísica (p.ej., Gajardo 1994) no garantiza la adecuada representación del resto de la biodiversidad. Además, el objetivo explícito de representatividad para cada elemento de la biodiversidad suele asignarse de manera arbitraria debido a la ausencia de estudios que correlacionen representatividad mínima de un elemento en áreas protegidas y su probabilidad de persistencia (Burgman et al. 2001, Groves 2002). Generalmente sólo es posible afirmar que a mayor representatividad, mayor probabilidad de persistencia. Un segundo factor, tan relevante como la información sobre biodiversidad y su distribución espacial es la superficie de costo (Naidoo et al. 2006). Los algoritmos de optimización se basan en cumplir todas las metas de biodiversidad a un mínimo costo, este costo puede ser simplemente el número total de reservas, el área total de las reservas u otro costo más elaborado definido en base a variables socioeconómicas como amenaza potencial, costo de oportunidad o factibilidad de implementación (ver Estévez et al., Capítulo 9). Una tercera fuente inevitable de incertidumbre es la escala espacial (Erasmus et al. 1999, Warman et al. 2004, Shriner et al. 2006, Ramírez de Arellano 2007) ya que el planeamiento sistemático para la conservación requiere de la clara delimitación del área de planificación. Esta zona en la cual diseñar nuevas reservas tradicionalmente es una ecorregión, un país, una región administrativa o incluso un continente o la biosfera en su totalidad. La extensión del análisis determina los elementos de la biodiversidad a incluir en el proceso además de influir en la meta de representatividad que se le asigna a cada uno de ellos. Un ejemplo clásico de la importancia para la conservación en relación a la extensión son los grados de amenaza global y local que utilizan muchos libros rojos (p.ej., Muñoz-Schick et al. 1996, Young 2007). El planeamiento sistemático también requiere de la subdivisión de la región de análisis en un conjunto de reservas potenciales. Tradicionalmente la región bajo análisis se subdivide en unidades homogéneas como hexágonos, pero también se han utilizado microcuencas y hasta subdivisiones administrativas o límites de propiedad de la tierra. El costo y la localización de las reservas diseñadas con base en un planeamiento sistemático dependen del tamaño y forma de las unidades de planificación (Pressey 1994, Hopkinson et al. 2000, Warman et al. 2004, Shriner et al. 2006). Finalmente, cabe destacar que existen múltiples fuentes adicionales de incertidumbre, entre ellas destaca la ausencia de un tratamiento dinámico de la información. Tanto las especies como las amenazas presentan dinámicas espacio-temporales, sin embargo, el planeamiento sistemático se basa en una "foto" del sistema para planear las reservas. Ante un escenario de cambio climático y una siempre cambiante amenaza antrópica así como de factibilidad de implementar nuevas reservas, el planeamiento sistemático es necesariamente una herramienta que debe

actualizarse permanentemente para apoyar la designación de nuevas reservas. Un sistema de reservas diseñado hoy, con la mejor información de biodiversidad y costos, con metas cuidadosamente definidas, con seguridad no será el mismo sistema que aquel sugerido por el ejercicio realizado en 5 años más, cuando se incorpore nueva información y se reevalúen las metas.

Dada la importancia de las fuentes de incertidumbre y por otra parte la urgencia de contar con diseños robustos de reservas, el presente capítulo utiliza información de vertebrados terrestres a nivel nacional y para la Región de Atacama para evaluar su representatividad en el sistema de áreas protegidas existente y en los sitios CONAMA. Luego se proponen distintas áreas prioritarias de conservación basados en algoritmos de optimización. En este último punto, para enfatizar el efecto de las principales incertidumbres se propusieron los siguientes objetivos:

- 1) Comparar sitios prioritarios propuestos de manera sistemática para la Región de Atacama en relación a si el ejercicio se hace para todo el país versus sólo en la región.
- 2) Comparar soluciones sistemáticas asignando metas de representatividad a todos los vertebrados presentes en la Región de Atacama con aquellas soluciones que sólo consideran un subconjunto de vertebrados endémicos y amenazados de la región.
- 3) Evaluar el efecto de utilizar dos tamaños de unidades de planificación.

Finalmente, con la intención de evaluar el desempeño de flora como sustituto de vertebrados (*sensu* Andelman & Fagan 2000, Lombard et al. 2003, Sarkar et al. 2005) comparamos la representatividad de vertebrados que se alcanza con las soluciones de flora presentadas en el Capítulo 8.

Los resultados de áreas prioritarias del presente ejercicio no deben tomarse como una guía para la localización de nuevos sitios debido a lo grueso de la información sobre distribución de vertebrados en Chile. La relevancia de este ejercicio radica en explicitar varias fuentes de incertidumbre que normalmente no se evalúan al aplicar planeamiento sistemático para la conservación y en identificar aquellos elementos de la biodiversidad de la Región de Atacama que debieran afinarse para contar con propuestas robustas de sitios prioritarios.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Datos**

La información sobre la distribución de todas las especies de vertebrados terrestres de Chile fue compilada de datos bibliográficos primarios y secundarios (p.ej., revisiones sistemáticas, atlas, guías de campo). Con estos datos se generaron mapas digitales de los rangos de distribución de cada especie usando un sistema de información geográfica. Durante el proceso de digitalización se usaron varios mapas temáticos adicionales (p.ej., mapas topográficos, cursos de agua, localidades, mapas de vegetación) para mejorar la precisión de los rangos de distribución. Los mapas resultantes revisados por expertos taxónomos de los distintos grupos (peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos) y luego corregidos de acuerdo con sus sugerencias. En total, se cartografió la distribución de 653 especies (42 peces, 49 anfibios, 97 reptiles, 363 aves y 102 mamíferos). Para el caso de la Región de Atacama se seleccionó un subconjunto de vertebrados que contenían más del 25% de su rango de distribución dentro de la Región, y que además son endémicas de

Chile y/o están en alguna categoría de amenaza según la IUCN (i.e., vulnerable, en peligro, en peligro crítico; IUCN 2007). En total, 21 especies cumplieron con estos criterios.

Se digitalizaron, también, las áreas protegidas y reservas naturales pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), las áreas protegidas privadas, las unidades demostrativas piloto y todas aquellas áreas que tienen algún tipo de protección legal en Chile o bien que forman parte de acuerdos internacionales firmados por el gobierno nacional. El total de áreas protegidas digitalizadas fue de 124 con una superficie media de 1.222,5 km<sup>2</sup> (rango 0,006-37.115 km<sup>2</sup>) y una mediana de 100,1 km<sup>2</sup>. Para la Región de Atacama las áreas protegidas fueron 5, cubriendo el 1,8% de la región. Además, obtuvimos de CONAMA los mapas digitales de los sitios prioritarios propuestos para ampliar la red de reservas existente, lo cual incorporaría 9 reservas adicionales llegando a una cobertura regional del 13,2% (a Junio de 2006).

### **Análisis de Vacíos de Representatividad**

Para evaluar el grado de representación de las especies en el sistema de áreas protegidas existente, superpusimos los mapas de distribución de las especies sobre los de las áreas protegidas y sitios CONAMA. De esta manera, una especie se consideró que estaba cubierta si un porcentaje predeterminado de su rango de distribución estaba dentro de áreas protegidas. A este porcentaje le llamamos meta de conservación y fue calculado para cada especie siguiendo la metodología de Rodrigues et al. (2004a,b). Básicamente, para especies que tienen rangos de distribución a nivel nacional  $\leq 10.000$  km<sup>2</sup> se fijó que el total del rango estuviese protegido, mientras que para especies con rangos nacionales  $\geq 250.000$  km<sup>2</sup> la meta de conservación fue del 10% de su distribución. Para valores intermedios, la meta de conservación se determinó interpolando entre estos dos extremos usando una transformación logarítmica (Rodrigues et al. 2004a,b). Los mismos porcentajes se utilizaron al fijar metas de conservación para la Región de Atacama, por lo tanto, la superficie del rango en la región se consideró un nuevo total. Mediante el establecimiento de metas de conservación para cada especie en la Región de Atacama y la posterior superposición de los rangos de distribución con las áreas protegidas se determinó cuales especies tienen su meta totalmente cubierta (especies cubiertas), parcialmente cubierta (especies "GAP" parciales) y cuales no están cubiertas (especies "GAP"). Se realizó este mismo análisis agregando los sitios prioritarios de CONAMA al sistema de áreas protegidas existente para evaluar el mejoramiento de la representatividad de las especies (67 sitios prioritarios a Junio de 2006).

### **Selección de Áreas Prioritarias**

Para la selección de áreas prioritarias de conservación, dividimos al país en 9.190 hexágonos de 100 km<sup>2</sup> (la mediana de la superficie de las áreas protegidas existentes), que representan las unidades de planificación. Para cada unidad de planificación se determinó la presencia de cada especie superponiendo los rangos de distribución con la grilla de hexágonos. Usamos el programa Marxan v.1.8.10 (Ball & Possingham 2000) que permite optimizar la selección de las áreas prioritarias de conservación cumpliendo con las metas de conservación propuestas para cada especie. Además, para cada unidad de planificación se calculó el costo total para su conservación basado en el número de habitantes, la superficie con usos antrópicos (p.ej., cultivos, plantaciones, áreas urbanas) y la longitud de caminos. Tanto a nivel nacional

como regional se estandarizaron las variables mencionadas para que cada una de ellas tuviera el mismo peso en el índice de costo. En todos los casos forzamos la selección para incluir las áreas protegidas existentes y en cada análisis, corrimos el algoritmo de optimización 100 veces. De esta manera, a partir de la frecuencia en que son seleccionadas las unidades de planificación se puede evaluar su importancia para la solución general. Por ejemplo, una unidad de planificación que fue seleccionada las 100 veces es indispensable para la solución y se dice que es irremplazable. Para el caso de la Región de Atacama, usamos unidades de planificación (hexágonos) de 100 km<sup>2</sup> y 25 km<sup>2</sup>. De esta manera, se generaron los siguientes escenarios de soluciones.

- 1) Soluciones sumadas utilizando todo Chile, unidades de planificación de 100 km<sup>2</sup> y todos los vertebrados.
- 2) Soluciones sumadas utilizando la Región de Atacama, unidades de planificación de 100 km<sup>2</sup> y todos los vertebrados cuyo rango de distribución intersecta la región.
- 3) Soluciones sumadas para la Región de Atacama, unidades de planificación de 100 km<sup>2</sup> y sólo los vertebrados que contengan más del 25% de su rango de distribución dentro de la Región, y que además son endémicas de Chile y/o están en alguna categoría de amenaza según la IUCN.
- 4) Soluciones sumadas para la Región de Atacama, unidades de planificación de 25 km<sup>2</sup> y conjunto de vertebrados del escenario anterior.

En cada escenario se evaluaron 2 situaciones de áreas protegidas como obligadas en la solución: Actuales áreas protegidas (AP) y actuales más sitios prioritarios de CONAMA (APS).

Para comparar las soluciones de los distintos escenarios de manera cuantitativa utilizamos el índice de convergencia espacial Kappa. Así se obtiene un valor de convergencia promedio de las soluciones de un mismo escenario y entre escenarios en una matriz de doble entrada (Wilson et al. 2005, Ramírez de Arellano 2007).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis de Vacíos de Representatividad (GAP)**

A escala nacional, identificamos 176 (26,9%) especies cuyas metas de conservación estaban cubiertas por las áreas protegidas existentes (especies cubiertas), 390 (59,7%) cuyas metas estaban parcialmente cubiertas (especies GAP parciales) y 87 (13,3%) que no estaban cubiertas por ningún área protegida (especies GAP). En general, casi la mitad de los vertebrados chilenos (45%) tienen menos del 20% de su meta de conservación cubierta por algún área protegida. En el caso de la Región de Atacama, identificamos 265 especies cuyos rangos de distribución están contenidos total o parcialmente en la región. De estos rangos de especies de vertebrados, 65 (24,5%) fueron especies GAP, vale decir, la totalidad de la superficie de estas especies en la Región de Atacama se encuentra fuera de las áreas protegidas. Por otra parte, 196 especies (74,0%) presentaron una proporción de cobertura de sus rangos geográficos en áreas protegidas que fue inferior a la meta de representatividad regional (i.e. GAP parciales). Finalmente, sólo 4 especies presentaron una representatividad adecuada de sus rangos en áreas protegidas.

Cuando incluimos los sitios prioritarios propuestos por CONAMA, el número de especies GAP a nivel nacional se redujo a 39 (5,9%), mientras que el

número de especies cubiertas y parcialmente cubiertas aumenta a 199 (30,5%) y 415 (63,6%) respectivamente. En el caso de la Región de Atacama, el número de especies GAP disminuyó a 19 (7,2%) y el de GAP parciales llegó a 131 (49,4%). El número de rangos regionales cubiertos adecuadamente si se incorporaran los sitios CONAMA llegó a 115 (43,4%).

En el caso particular de las 21 especies consideradas características de la Región de Atacama por poseer más del 25% de su rango de distribución dentro de la Región, y además ser endémicas de Chile y/o estar en alguna categoría de amenaza según la IUCN, 9 fueron GAP y el resto GAP parciales a nivel nacional (Tabla 1). Cuando se agregaron los sitios CONAMA, el número de especies GAP disminuyó a 2 sin embargo el resto permaneció sin cumplir la meta de representatividad nacional, vale decir, siguieron como GAP parciales. Como era de esperar, el patrón de representatividad regional fue similar al nacional, indicando que lo que ocurre a nivel regional para estas especies determina en gran parte su suerte a nivel nacional y global (Tabla 1). Este análisis refuerza los señalado por otros estudios (p.ej. Armesto et al. 1998, Cofré & Marquet 1999) en relación con la deficiente cobertura del actual sistema de áreas protegidas.

### **Selección de Áreas Prioritarias**

Para alcanzar las metas de conservación propuestas para cada especie de vertebrado, sería necesario conservar el 51,6% del área continental del país. Cuando se adicionan los sitios CONAMA, este porcentaje aumenta a 54,1%, indicando una menor eficiencia para mejorar la representatividad del sistema de áreas protegidas existente.

La situación en la Región de Atacama es representativa de lo que ocurre a nivel nacional en términos de requerimientos de área para conservación aunque las proporciones a proteger son menores. En esta región se requeriría de un 35,3% a un 40,3% para cumplir con la meta de conservación del presente ejercicio cuando se obliga a las actuales áreas protegidas a pertenecer a la solución óptima. Si se obliga a AP y los sitios CONAMA (APS) a pertenecer a la solución, entonces la proporción regional requerida bajo reservas aumenta a un rango entre 39,5% a 44,5% (Tabla 2). Esto indica que la adición de sitios CONAMA no mejora significativamente la representatividad de vertebrados.

El escenario 1, donde se planifica para todo el país y el escenario 2 donde se planifica sólo para Atacama, ambos y con todas las especies, entregaron soluciones con la mayor superficie. Los escenarios 3 y 4, que utilizan un subconjunto de 21 especies características de la región de Atacama, siempre fueron menores en superficie y con totales relativamente similares (Tabla 2). Sin embargo, el escenario 4, que es el que utiliza la unidad de planificación de menor tamaño consistentemente resultó en superficies totales levemente inferiores (Tabla 2). Obviamente, la meta de conservación explícita utilizada en el ejercicio de planeamiento sistemático determina la superficie total requerida para cumplirla, pero además es relevante que un menor tamaño de unidad de planificación permite una mayor eficiencia, se consiguen las metas con menos superficie.

**Tabla 1.** Lista de 21 especies “características” de la Región de Atacama y sus categorías de representatividad actual (AP) y al agregar sitios de CONAMA (APS) tanto a nivel nacional como para metas regionales. Categoría UICN: CR= en peligro crítico, VU= vulnerable, NT= casi amenazado, LC= Preocupación menor, DD: datos insuficientes, NL= no evaluado.

Especie	Superficie Nacional (km <sup>2</sup> )	Proporción en Atacama (%)	Endémica para Chile	Categoría UICN	Representatividad			
					Nacional		Regional	
					AP	APS	AP	APS
<i>Fulica cornuta</i>	121.007	28,9	no	NT	parcial	parcial	parcial	parcial
<i>Chilia melanura</i>	76.548	25,6	sí	LC	parcial	parcial	GAP	parcial
<i>Scelorchilus albicollis</i>	90.862	33,5	sí	LC	parcial	parcial	parcial	parcial
<i>Bufo atacamensis</i>	54.757	80,7	sí	LC	parcial	parcial	parcial	parcial
<i>Homonota gaudichaudii</i>	68.263	54,4	sí	NL	parcial	parcial	parcial	parcial
<i>Liolaemus atacamensis</i>	19.223	93,6	sí	NL	GAP	parcial	GAP	parcial
<i>Liolaemus bisignatus</i>	12.131	100,0	sí	NL	parcial	parcial	parcial	parcial
<i>Liolaemus isabelae</i>	77	100,0	sí	NL	GAP	parcial	GAP	parcial
<i>Liolaemus juanortizi</i>	33	100,0	sí	NL	GAP	GAP	GAP	GAP
<i>Liolaemus lorenzmuelleri</i>	13.964	89,4	sí	DD	GAP	parcial	GAP	parcial
<i>Liolaemus nigromaculatus</i>	277	100,0	sí	NL	GAP	parcial	GAP	parcial
<i>Liolaemus patriciaiturrae</i>	3.126	100,0	sí	NL	parcial	parcial	parcial	parcial
<i>Liolaemus platei</i>	53.426	52,2	sí	NL	parcial	parcial	parcial	parcial
<i>Liolaemus rosenmanni</i>	3.571	100,0	sí	NL	parcial	parcial	parcial	parcial
<i>Liolaemus silvai</i>	32	100,0	sí	NL	GAP	GAP	GAP	parcial
<i>Liolaemus velosoi</i>	354	100,0	sí	NL	GAP	parcial	GAP	parcial
<i>Microlophus atacamensis</i>	5.260	41,1	sí	NL	parcial	parcial	parcial	parcial
<i>Phrynosaura manueli</i>	303	100,0	sí	NL	GAP	GAP	GAP	GAP
<i>Callopistes palluma</i>	100.971	38,8	sí	NL	parcial	parcial	parcial	parcial
<i>Myotis atacamensis</i>	139.382	45,4	no	VU	parcial	parcial	parcial	parcial
<i>Chinchilla brevicaudata</i>	54.924	32,2	no	CR	parcial	parcial	parcial	parcial



**Tabla 2.** Superficie y proporción de la Región de Atacama requerida para cumplir con todas las metas de representatividad de vertebrados en los 4 escenarios analizados y cuando las actuales áreas protegidas (AP) o las actuales áreas protegidas más los sitios prioritarios CONAMA (APS) se fijan en la solución. La actual superficie de áreas protegidas (SNASPE + AMCP) alcanza el 1,8% regional mientras que con la adición de los sitios CONAMA se llega a 13,2%. Escenarios: cumplir con todas las metas para todas las especies a nivel nacional (1), cumplir con todas las metas para todas las especies presentes en la Región de Atacama (2), metas para sólo 21 especies características de la Región (3 y 4). Las unidades de planificación (PU) tienen una superficie de 100 km<sup>2</sup> en los escenarios 1 al 3 y de 25 km<sup>2</sup> en escenario 4. Valores con  $\pm$  2SE.

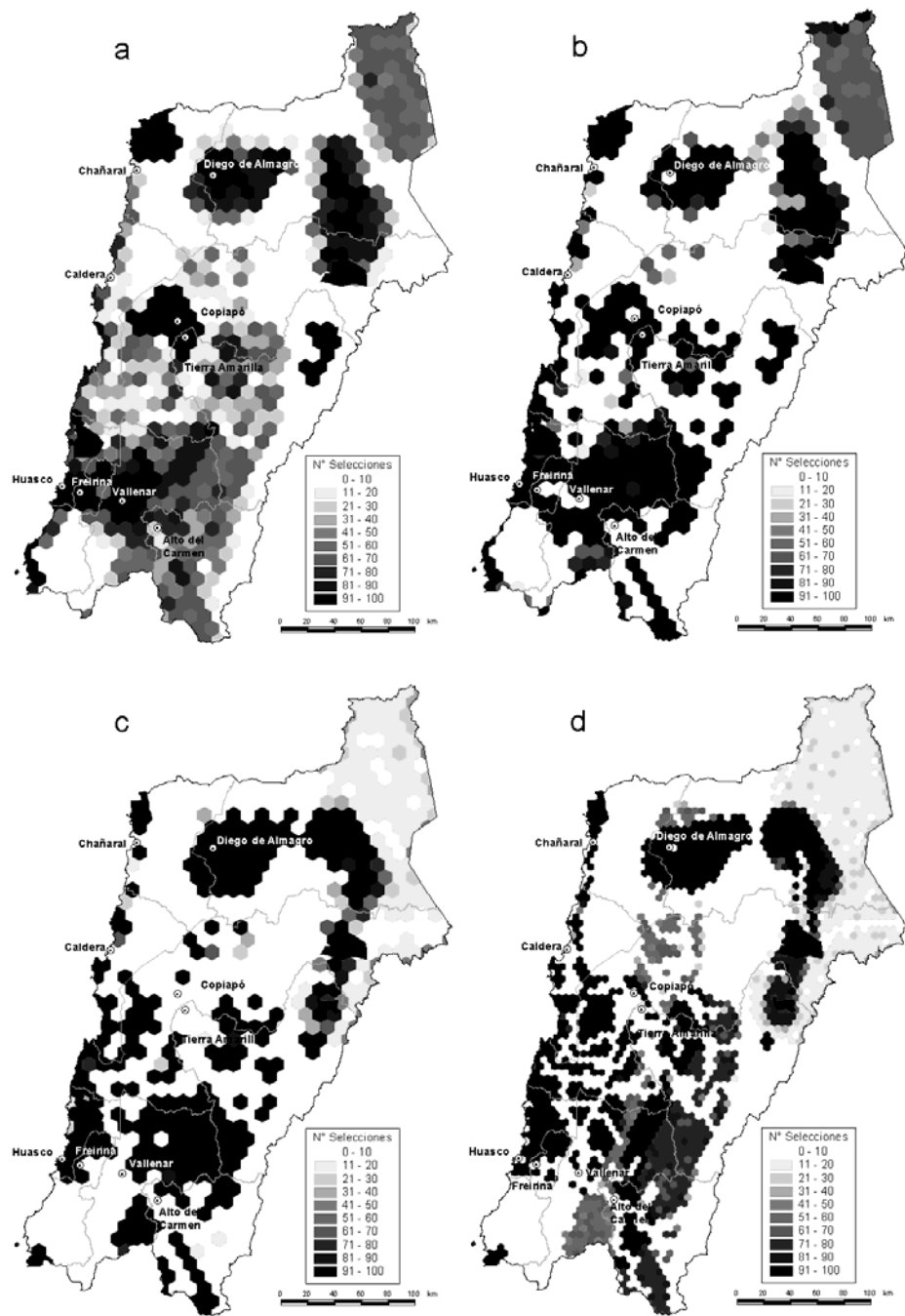
Escenario	AP		APS	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
1	30.543 $\pm$ 274	40,3 $\pm$ 0,4	33.755 $\pm$ 261	44,5 $\pm$ 0,3
2	30.272 $\pm$ 66	39,9 $\pm$ 0,1	34.223 $\pm$ 106	45,1 $\pm$ 0,1
3	27.057 $\pm$ 56	35,7 $\pm$ 0,1	31.170 $\pm$ 151	41,1 $\pm$ 0,2
4	26.753 $\pm$ 34	35,3 $\pm$ 0,0	29.936 $\pm$ 68	39,5 $\pm$ 0,1

En el escenario 1 (i.e., si se planifica para todo el país con todas las especies) hay una mayor proporción de unidades de planificación “flexibles”, vale decir, que no siempre aparecen en la solución óptima si se le compara con el resto de los escenarios (Fig. 1a). El mayor número de celdas flexibles incide en un menor índice Kappa (0,51) entre las 100 soluciones del mismo escenario (Tabla 3). Esto se explicaría por la mayor cantidad de opciones para establecer nuevas reservas fuera de la Región de Atacama, relajando los requerimientos dentro de la región para cumplir con las metas de conservación.

**Tabla 3.** Concordancia espacial entre escenarios. Media de la concordancia espacial de un conjunto de soluciones dentro de un mismo escenario y entre escenarios en base al índice Kappa de Cohen. Mayor valor indica mayor similitud espacial. Todos los errores estándar son menores a 0,001.

		Escenarios			
		1	2	3	4
Escenarios	1	0,51	0,51	0,35	0,27
	2		0,84	0,59	0,33
	3			0,84	0,45
	4				0,79

En el escenario 2, aunque similar al patrón espacial al del escenario 1, presenta un menor número de celdas flexibles, indicando que generalmente las soluciones óptimas se concentran en las mismas unidades de planificación (Fig. 1b). El índice Kappa indica esta menor flexibilidad de las soluciones ya que presenta un valor de 0,84 cuando las soluciones del escenario 2 se comparan entre ellas. El índice Kappa entre el escenario 1 y 2 es 0,51, esto es, las soluciones del escenario 1 son tan parecidas a si mismas como lo son con las del escenario 2. El índice Kappa presenta valores bastante más bajos cuando el escenario 1 se compara con los escenarios 3 y 4 con valores de 0,35



**Fig. 1.** Soluciones sumadas para la Región de Atacama cuando a) se planifica para todo el país con todas las especies, b) se asignan metas a todas las especies presentes en la región y se planifica sólo para la región, c) se planifica para el subconjunto de 21 especies y d) se planifica para el subconjunto de 21 especies y unidades de planificación de 25 km<sup>2</sup>.

y 0,27 respectivamente (Tabla 3). Por lo tanto, en términos espaciales, la solución del escenario 2 representa un subconjunto de la familia de soluciones del escenario 1.

En el escenario 3 sólo se planificó para 21 especies a diferencia del escenario 2 que utiliza las 265 especies que quedan con parte o la totalidad de su rango de distribución en la región de Atacama. Las principales diferencias entre ambos escenarios son: a) la ausencia en escenario 3 de un gran conjunto de celdas flexibles en el noreste de la región, b) un menor número de celdas irremplazables a lo largo de la costa en el escenario 3 y c) la desaparición de un sector de celdas irremplazables al sureste de Caldera en el escenario 3.

Entre el escenario 3 y 4 no existen grandes diferencias en cuanto a la distribución general de celdas irremplazables. Sin embargo, varios conjuntos de unidades irremplazables del escenario 3 pasan a definirse más finamente en el escenario 4, por ejemplo, varios caminos aparecen seccionando los conjuntos de celdas irremplazables en el escenario 4, quedando una solución más fragmentada que en el escenario 3. El índice Kappa es muy sensible al efecto del tamaño de unidad de planificación ya que disminuye a 0,45 cuando la solución 3 se compara con la 4.

### **Flora como Substituto de Vertebrados**

Si bien la mayoría de las soluciones para la flora amenazada representan mejor a los vertebrados que utilizar sólo las actuales áreas protegidas, la situación no debe extrañar ya que todas agregan superficie por sobre las áreas protegidas (Tabla 4). Sin embargo, al comparar la representatividad de vertebrados alcanzada por APS con las soluciones de flora, en ningún caso más del 40% de las especies quedó en mejor condición que APS. Aunque se debe considerar que APS incorpora más superficie que las soluciones de la flora, el menor desempeño de esta última indicaría que la flora no es un buen sustituto para vertebrados. Por otro lado, 15 de estas 21 especies de vertebrados tienen más de un 10% de su rango de distribución en la región dentro del caso 5 de la flora comparado con sólo 11 especies en APS. Las metas de conservación para estas especies de vertebrados son más altas que las utilizadas para la flora en el Capítulo 8, y para que se cumplan requieren más de un tercio de la superficie regional en comparación a sólo el 13% en el caso de la flora.

### **CONCLUSIONES**

El actual sistema de áreas silvestres protegidas de la Región de Atacama no cubre adecuadamente la distribución de vertebrados de la región. La adición los sitios prioritarios de CONAMA no mejoran significativamente la situación.

Definimos objetivos de representatividad explícita para los vertebrados de la región y se propusieron distintas soluciones que cumplen con dicha representatividad mientras intentan evadir conflictos con usos antrópicos. Estas soluciones presentan varias ventajas al ser repetibles, explícitas y eficientes como ha sido señalado en el Capítulo 8. Sin embargo, la calidad de la información de vertebrados debe mejorarse si las soluciones van a ser utilizadas en los programas de conservación regionales. En primer lugar, los rangos utilizados en el presente ejercicio son generales y asumen una igual

**Tabla 4.** Porcentaje de cobertura de rangos de distribución de especies de vertebrados de Atacama en la meta de conservación y la cubierta por las actuales áreas protegidas (AP), actuales más sitios prioritarios de CONAMA (APS) y los casos de soluciones expuestos en capítulo 8 para flora.

Especie	Meta (%)	AP	APS	Casos soluciones Flora (Cap. 8)					
				0	1	2	3	4	5
<i>Fulica cornuta</i>	21,7	3,0	6,1	8,7	8,9	9,4	9,5	8,8	10,3
<i>Chilia melanura</i>	29,2	0,0	4,3	7,0	5,8	6,4	25,4	6,2	21,2
<i>Scelorchilus albicollis</i>	26,5	2,6	26,8	7,9	9,7	13,0	12,8	13,4	13,1
<i>Bufo atacamensis</i>	34,7	2,3	24,0	7,5	9,1	11,8	11,5	12,2	12,1
<i>Homonota gaudichaudii</i>	31,1	2,7	26,3	7,3	9,4	12,4	12,3	12,8	12,7
<i>Liolaemus atacamensis</i>	51,7	0,0	8,3	7,1	6,2	10,8	13,2	10,6	12,4
<i>Liolaemus bisignatus</i>	59,3	4,6	54,2	12,2	15,9	21,0	20,8	21,3	21,1
<i>Liolaemus isabelae</i>	100,0	0,0	48,7	5,3	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
<i>Liolaemus juanortizi</i>	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Liolaemus lorenzmuelleri</i>	56,9	0,0	0,7	4,2	4,8	7,9	19,7	3,5	17,5
<i>Liolaemus nigromaculatus</i>	100,0	0,0	5,4	6,5	6,5	5,1	5,1	5,1	5,1
<i>Liolaemus patriciaturrae</i>	81,3	11,6	27,6	4,3	15,8	15,8	15,8	15,5	17,8
<i>Liolaemus platei</i>	35,1	2,8	29,1	9,3	11,2	15,1	17,3	15,5	16,9
<i>Liolaemus rosenmanni</i>	79,1	14,1	15,2	19,2	22,1	19,5	18,9	23,7	22,9
<i>Liolaemus silvai</i>	100,0	0,0	0,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
<i>Liolaemus velosoi</i>	100,0	0,0	9,3	2,1	1,3	1,3	2,1	2,2	1,2
<i>Microlophus atacamensis</i>	73,0	11,5	22,3	22,3	33,1	34,4	33,4	34,1	32,1
<i>Phrynosaura manueli</i>	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Callopistes palluma</i>	24,7	2,0	21,4	7,5	8,9	11,7	12,1	11,8	12,3
<i>Myotis atacamensis</i>	19,4	0,8	24,4	7,3	9,2	11,2	10,6	11,5	11,2
<i>Chinchilla brevicaudata</i>	34,5	3,5	6,6	9,1	9,3	9,9	8,7	10,0	9,5
Porcentaje de la superficie regional		2,0	13,3	7,6	8,4	9,7	12,0	9,9	12,1

probabilidad de encontrar a la especie dentro del rango. Esfuerzos de caracterización de hábitat clave y localización precisa de avistamientos resulta indispensable para mejorar el conocimiento de la distribución de las especies e invertir en forma eficiente los recursos para su conservación en el marco del planeamiento sistemático.

Los objetivos explícitos son la base del planeamiento sistemático, es necesario reevaluar los objetivos de representatividad planteados buscando coherencia entre ellos y la persistencia de las especies. En ese mismo sentido, resulta crucial en ejercicios regionales el evaluar qué especies incorporar y con una meta que refleje el estado de conservación fuera de la región. En el presente ejercicio, la inclusión de especies de distribución marginal a la Región de Atacama tuvo una fuerte incidencia en la solución incorporando nuevos sitios en sectores que pueden no poseer hábitat de gran calidad para las especies.

Si bien el uso de una unidad de planificación de menor tamaño aumentó la eficiencia de las soluciones, esta necesariamente debe reflejar la fineza espacial con que se maneja la información de distribución espacial de las especies. Es necesario destacar que la unidad de planificación de menor tamaño utilizada en este ejercicio es menor que la resolución espacial de los rangos de vertebrados.

Las soluciones generalmente se basan en una distribución estática de la biodiversidad y sus amenazas. Ante un escenario de cambio climático, factibilidad cambiante de implementación de reservas y amenazas en permanente evolución, será necesario evaluar las soluciones en un contexto más dinámico que lo planteado en este ejercicio.

La flora no resultó ser un buen sustituto de los vertebrados (ni viceversa), por lo tanto, será necesario realizar ejercicios que incorporen el máximo de grupos taxonómicos y algunas clasificaciones biofísicas para utilizar las metodologías de planeamiento sistemático en todo su potencial.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a los científicos que participaron en la generación y/o evaluación de los rangos de distribución de vertebrados (Ramón Formas, José Luis Galaz, Gonzalo González, Evelyn Habit, Herman Nuñez, Eduardo Palma y Juan Carlos Torres-Mura) así como el apoyo prestado por Iván Barria y Magdalena Bennett durante el proceso de corrección y digitalización de los rangos de distribución. PAM agradece el financiamiento proveído por los proyectos FONDAP-FONDECYT 1501-0001 e ICM P05-02.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ARMESTO JJ, R ROZZI, C SMITH-RAMÍREZ & MTK ARROYO (1998) Conservation targets in South American temperate forests. *Science* 282: 1271-1272.
- ANDELMAN S & W FAGAN (2000) Umbrellas and flagships: Efficient conservation surrogates or expensive mistakes? *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97: 5954-5959.
- BALL IR & HP POSSINGHAM (2000) Marxan (V 1.8.2) User's Manual. [en línea] <<http://www.ecology.uq.edu.au/marxan.htm>> [consulta: 15 enero 2008].

- BROOKS T, G DA FONSECA & A RODRIGUES (2004) Species, data, and conservation planning. *Conservation Biology* 18: 1682-1688.
- BRUNER AG, RE GULLISON, RE RICE & GAB DA FONSECA (2001) Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science* 291: 125-128.
- BURGMAN M, H POSSINGHAM, A LYNCH, D KEITH, M MCCARTHY, S HOPPER, W DRURY, J PASSIOURA & R DEVRIES (2001) A method for setting the size of plant conservation target areas. *Conservation Biology* 15: 603-616.
- CANTÚ C, RG WRIGHT, JM SCOTT & E STRAND (2004) Assessment of current and proposed nature reserves of Mexico based on their capacity to protect geophysical features and biodiversity. *Biological Conservation* 115: 411-417.
- COFRÉ H & PA MARQUET (1999) Conservation status, rarity, and geographic priorities for conservation of Chilean Mammals: an assessment. *Biological Conservation* 88: 1-16.
- CONAMA (2003) Estrategia Nacional de Biodiversidad. Gobierno de Chile. [en línea] <[http://www.sinia.cl/1292/articles-31858\\_EstrategiaNacionalBiodiversidad.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-31858_EstrategiaNacionalBiodiversidad.pdf)> [consulta: 12 febrero 2008]
- COWLING R, R PRESSEY, R SIMS-CASTLEY, A LE ROUX, E BAARD, C BURGERS & G PALMER (2003) The expert or the algorithm? - comparison of priority conservation areas in the cape floristic region identified by park managers and reserve selection software. *Biological Conservation* 112: 147-167.
- COX J, R KAUTS, M MACLAUGHLIN & T GILBERT (1994) Closing the GAPS in Florida's wildlife habitat conservation system Office of environmental Services. Florida Game and Fresh Water Fish Commission. 239 pp.
- ERASMUS B, S FREITAG, KJ GASTON, B H ERASMUS & A VAN JAARVELD (1999) Scale and conservation planning in the real world. *Proceedings: Biological Sciences* 266: 315-315.
- FERRIER S, RL PRESSEY & TW BARRETT (2000) A new predictor of the irreplaceability of areas for achieving a conservation goal, its application to real-world planning, and a research agenda for further refinement. *Biological Conservation* 93: 303-325.
- GAJARDO R (1994) La Vegetación Natural de Chile: Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria, Santiago. 165 pp.
- GROVES C, D JENSEN, L VALUTIS, K REDFORD, M SHAFFER, J SCOTT, J BAUMGARTNER, J HIGGINS, M BECK & M ANDERSON (2002) Planning for biodiversity conservation: Putting conservation science into practice. *Bioscience* 52: 499-512.
- HOPKINSON P, J EVANS & R GREGORY (2000) National-scale conservation assessments at an appropriate resolution. *Diversity and Distributions* 6: 195-20
- JENNINGS MD (2000) GAP analysis: Concepts, methods, and recent results. *Landscape Ecology* 15: 5-20.
- LOMBARD A, R COWLING, R PRESSEY & A REBELO (2003) Effectiveness of land classes as surrogates for species in conservation planning for the cape floristic region. *Biological Conservation* 112: 45-62.
- MARGULES CR & RL PRESSEY (2000) Systematic conservation planning *Nature* 405: 243-253.
- McNEELY JA (1994) Protected areas for the 21st century: Working to provide benefits to society. *Biodiversity and Conservation* 3: 390-405.

- MILLER RK (1984) The Bali action plan: A framework for the future of protected areas. En: (JA McNeely & KR Miller, eds) *National Parks, Conservation and Development: The Role of Protected Areas in Sustaining Society*: 756-764. Smithsonian Institution Press, Washington DC.
- MUÑOZ M, H NÚÑEZ & J YÁNEZ (1996) *Libro Rojo de los Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica de Chile*. CONAF, Santiago. 203 pp.
- NAIDOO R, A BALMFORD, P FERRARO, S POLASKY, T RICKETTS & M ROUGET (2006) Integrating economic costs into conservation planning. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 12.
- NOSS RF (1996) Protected areas: how much is enough? En: (RG Wright, ed) , *National Parks and Protected Areas*: 91-120. Blackwell Science, Cambridge Mass. 371 pp.
- NOSS RF, C CARROLL, K VANCE-BORLAND & G WUERTHNER (2002) A multicriteria assessment of the irreplaceability and vulnerability of sites in the greater Yellowstone ecosystem. *Conservation Biology* 16: 895-908.
- ODUM EP (1970) Optimum population and environment: a Georgia microcosm. *Current History* 58: 355-359.
- POSSINGHAM HP, S ANDELMAN, B NOON, S TROMBULAK & H PULLIAM (2001) Making smart conservation decisions. En: (M Soule & G Orians, eds) *Research Priorities for Nature Conservation*: 225-244. Island Press, Washington, DC.
- POSSINGHAM, HH, KA WILSON, SJ ANDELMAN & CH VYNNE (2006) Protected areas: Goals, limitations, and design. En: (MJ Groom, GK Meffe & CR Carroll, eds) *Principles of Conservation Biology*: 509-533. 3<sup>rd</sup> Edition. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA.
- PRESSEY RL (1994) Ad hoc reservations - forward or backward steps in developing representative reserve systems. *Conservation Biology* 8: 662-668
- PRESSEY RL (1999) Applications of irreplaceability analysis to planning and management problems. *Parks* 9: 42-51.
- PRESSEY RL, CJ HUMPHRIES, CR MARGULES, RI VANEWRIGHT & PH WILLIAMS (1993) Beyond opportunism - key principles for systematic reserve selection. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 124-128.
- RAMÍREZ DE ARELLANO (2007) *Systematic Conservation Planning in Chile: Sensitivity of Reserve Selection Procedures to Target Choices, Cost Surface, and Spatial Scale*. PhD Thesis. State University of New York. 145 pp.
- RODRIGUES ASL, SJ ANDELMAN, MI BAKARR, L BOITANI, TM BROOKS, RM COWLING, LDC FISHPOOL, GAB DA FONSECA, KJ GASTON, M HOFFMAN, J LONG, PA MARQUET, JD PILGRIM, RL PRESSEY, J SCHIPPER, W SECHREST, SN STUART, LG UNDERHILL, RW WALLER, MEJ WATTS & X YAN (2004a) Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature* 428: 640-643.
- RODRIGUES ASL, R AKÇAKAYA, SJ ANDELMAN, MI BAKARR, L BOITANI, TM BROOKS, LDC FISHPOOL, GAB DA FONSECA, KJ GASTON, M HOFFMAN, PA MARQUET, JD PILGRIM, RL PRESSEY, J SCHIPPER, W SECHREST, SN STUART, LG UNDERHILL, RW WALLER, MEJ WATTS & X YAN (2004b) Global GAP Analysis: Priority Regions for Expanding the Global Protected-Area Network. *Bioscience* 54: 1092-1100.
- SANCHEZ-AZOFEIFA GA, GC DAILY, ASP PFAFF & C BUSCH (2003) Integrity and isolation of Costa Rica's national parks and biological reserves:

- examining the dynamics of land-cover change. *Biological Conservation* 109: 123-135.
- SARKAR S, J JUSTUS, T FULLER, C KELLEY, J GARSON & M MAYFIELD (2005) Effectiveness of environmental surrogates for the selection of conservation area networks. *Conservation Biology* 19: 815-825.
- SHRINER S, K WILSON & C FLATHER (2006) Reserve networks based on richness hotspots and representation vary with scale. *Ecological Applications* 16: 1660-1673.
- SOULÉ ME & MA SANJAYAN (1998) Ecology - Conservation targets: Do they help? *Science* 279: 2060-2061.
- SVANCARA LK, R BRANNON, JM SCOTT, CR GROVES, RF NOSS & RL PRESSEY (2005) Policy-driven versus Evidence based Conservation: A Review of Political targets and Biological Needs. *Bioscience* 55: 989-995
- WARMAN L, A SINCLAIR, G SCUDDER, B KLINKENBERG & R PRESSEY (2004) Sensitivity of systematic reserve selection to decisions about scale, biological data, and targets: Case study from southern British Columbia. *Conservation Biology* 18: 655-666.
- WILSON K, M WESTPHAL, H POSSINGHAM & J ELITH (2005) Sensitivity of conservation planning to different approaches to using predicted species distribution data. *Biological Conservation* 122: 99-112.
- YOUNG SM (2007) New York Rare Plant Status Lists. New York Natural Heritage Program, Albany, NY. 105 pp.