

## Capítulo 19

### Priorización de las Especies Endémicas Presentes en la Región de Atacama: Unicidad Taxonómica y Grados de Endemismo

PABLO C. GUERRERO, PEDRO LEÓN-LOBOS & FRANCISCO A. SQUEO

#### RESUMEN

Se estableció un ranking para 528 de las 532 especies endémicas a Chile con presencia en la Región de Atacama. Para ello, se calculó un Índice de Prioridad (IP) considerando dos parámetros asociados a la unicidad taxonómica y al grado de endemismo. La unicidad taxonómica fue evaluada considerando el número de especies por género y número de géneros por familia presentes en Chile. Mientras que para el grado de endemismo se utilizó la distribución geográfica de las especies dentro de la región y a lo largo de Chile. La especie con mayor prioridad fue *Leontochir ovallei* (Alstroemeriaceae) debido a su alto grado de endemismo y unicidad taxonómica. Se plantea incorporar la priorización de especies como criterio complementario a la clasificación de amenaza en la toma de decisiones y práctica de la conservación de las especies vegetales de la Región de Atacama.

**Palabras Clave:** Unicidad filogenética, historia evolutiva, biología de la conservación, distribución geográfica, índice de prioridad.

#### INTRODUCCIÓN

La priorización de especies para su conservación posee un rol central en el manejo y acción de las instituciones gubernamentales y no gubernamentales, siendo una fase crucial en la conservación efectiva y planificación (Mace 1995, Lamoreoux et al. 2003). Actualmente, la priorización de especies ha sido principalmente entendida como el proceso de clasificación de amenaza de especies que se lleva a cabo en función de áreas geográficas o agrupaciones taxonómicas (Ceballos et al. 1998, Farjon & Page 1999, Cofré & Marquet 1999, Squeo et al. 2001, Donaldson 2003, IUCN 2004). Del enorme desafío que emana de la elevada tasa de extinción a nivel global, surge la necesidad cada vez mayor de utilizar e incorporar nuevas herramientas que utilicen criterios complementarios a los listados de amenaza para el ejercicio de la conservación y toma de decisiones (Burgman 2002, Possingham et al. 2002). En particular, la unicidad filogenética ha sido señalada como un aspecto fundamental que puede ser tomado en cuenta, ya que corresponde a una medida explícita de la historia evolutiva de las especies vivientes respecto de otras: se asume que las especies con pocos o sin especies relacionadas son genéticamente más diversas que linajes con muchas especies (May 1990, Vane-Wright et al. 1991, Nixon & Wheeler 1992, Pavoine et al. 2005). Existen dos aproximaciones principales en la evaluación de la historia evolutiva de las especies, la primera

considera árboles filogenéticos y la otra la clasificación taxonómica de las especies (May 1990, Nixon & Wheeler 1992, Mace 2004, Pavoine et al. 2005). Las principales restricciones de la primera aproximación es que requiere obligatoriamente que todas las especies tengan árboles filogenéticos, y por lo tanto, que las comparaciones sean dentro de clados monofiléticos. En el caso de las evaluaciones utilizando la taxonomía, el método puede verse afectado por el nivel de conocimiento taxonómico (clasificación natural) de las especies y la calidad de la base de datos que recoge principalmente la información generada de los especímenes de herbarios. En este estudio se considerará ésta última aproximación debido a que no hay suficiente información filogenética para el total de las especies endémicas de la Región de Atacama.

El objetivo de este capítulo es realizar una priorización de las especies endémicas a Chile que se encuentran presentes en la Región de Atacama, estableciendo un ranking de especies relacionadas con un índice de prioridad que permita ordenar de manera continua y decreciente las prioridades bajo dos criterios: unicidad taxonómica y el grado de endemismo de las especies. Este análisis no intenta ser una evaluación de amenaza de las especies, sino que busca ser un criterio adicional estratégico en la toma de decisiones y práctica de la conservación, vinculados a la historia evolutiva y patrones de endemismo de la flora de la Región de Atacama.

### ÍNDICE DE PRIORIDAD

El índice de prioridad (IP) es un algoritmo que pondera la unicidad taxonómica y amplitud en la distribución (grado de endemismo) de las especies (ecuación 1). La unicidad taxonómica se estima a través del valor taxonómico ( $T$ ) que resulta de la multiplicación del número de especies por género ( $NSP$ ) y el número de géneros por familia ( $NG$ ) presentes en Chile (ecuación 2). De esta forma una familia monotípica a nivel genérico y específico tendrá un valor taxonómico igual a uno, este valor crece en la medida que aumentan el número de géneros y especies en la familia. Mientras mayor es el valor taxonómico menor es la unicidad taxonómica de la especie, de esta forma, familias muy diversas tendrán valores taxonómicos altos. Dos especies correspondientes al mismo género tendrán el mismo valor taxonómico en cuanto compartan el mismo nivel e identidad genérica en la clasificación taxonómica.

Se utilizaron especies endémicas a Chile debido a la conveniencia de trabajar con el rango de distribución total de las especies (Gärdenfors 2001). La distribución geográfica de las especies ( $D$ ) fue evaluada utilizando dos parámetros: 1) número de áreas de 925 km<sup>2</sup> en que las especies evaluadas están presentes dentro de la Región de Atacama ( $NH$ , ver Capítulo 7); 2) número de regiones de Chile en que las especies están presentes ( $NR$ ). De la multiplicación de estos valores resulta en el valor de  $D$  (ecuación 3). Debido a que  $T$  puede alcanzar valores muy altos, a  $D$  se sumó un uno y se elevó al cuadrado. Asimismo, el resultado de la relación entre  $D$  y  $T$  fue transformada al logaritmo con base 10 para suavizar las diferencias entre las especies. El numerador de la ecuación 1 es la constante 0,7 y corresponde al valor máximo posible para el denominador alcanzado cuando  $D$  y  $T=1$  ( $\log_{10} ((1+1)^2 + 1)=0,7$ ), por lo tanto, el máximo valor alcanzable para IP es uno que decrece de manera continua al aumentar los valores de  $D$  y  $T$ .

$$\text{Índice de prioridad (IP)} = 0,7 / \log_{10} ((D_i + 1)^2 + T_i) \quad (1)$$

$$\text{Valor taxonómico (T)} = NSP \times NG \quad (2)$$

$$\text{Distribución geográfica (D)} = NH \times NR \quad (3)$$

La base de datos utilizada en este capítulo corresponde a la base generada en el Proyecto Libro Rojo de la Región de Atacama (ver Squeo et al., Capítulos 4 y 8). Finalmente, se evaluó mediante una correlación no paramétrica de Pearson, la existencia de una relación entre el estado de amenaza de las especies y su Índice de Prioridad. Para ello, las categorías de amenaza se transformaron a número y al  $\log_{10}(x+1)$  en orden creciente en función del estado de amenaza: Fuera de Peligro (0), Insuficientemente Conocida pero con sospecha de estar Fuera de Peligro (1), Insuficientemente Conocida (2), Insuficientemente Conocida pero con sospecha de estar Vulnerable (3), Vulnerable (4), Insuficientemente Conocida pero con sospecha de estar En Peligro (5), En Peligro (6) e Insuficientemente Conocida pero con sospecha de estar Extinta (7); no hay especies consideradas Extintas.

## RESULTADOS

Se analizaron en total 528 especies correspondiendo al 99% (total= 532) de las especies de plantas vasculares endémicas a Chile con presencia en la Región de Atacama. Las especies que no pudieron ser evaluadas carecían de información suficiente que permitiese conocer su distribución geográfica, correspondieron a: *Senna acuta* (Caesalpiniaceae), *Chorizanthe tenuis* (Polygonaceae), *Calandrinia corymbosa* y *C. speciosa* (Portulacaceae).

Las especies endémicas con presencia en la Región de Atacama se caracterizan por poseer cortas distribuciones latitudinales. El 42% de ellas se encuentra sólo en dos regiones de Chile y un 24% en tres regiones (Tabla 1). En tercer lugar están aquellas endémicas regionales (i.e., sólo distribuidas en la Región de Atacama) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Número de regiones y frecuencia en que se encuentra presentes las especies endémicas a Chile que habitan la Región de Atacama.

Número de Regiones	Frecuencia	
	n	%
1	77	14,6
2	220	41,7
3	127	24,1
4	43	8,1
5	30	5,7
6	12	2,3
7	11	2,1
8	4	0,8
9	1	0,2
10	3	0,6

Dentro de Atacama, las especies han sido registradas en  $6,7 \pm 0,3$  áreas de  $925 \text{ km}^2$ . De las especies endémicas regionales, 21 se encuentran en una sola área, de ellas 6 son Cactaceae (Tabla 2). Las especies con amplia distribución (> de 4 regiones) son menos frecuentes y corresponden al 12% de las especies endémicas. *Asteriscium chilense* (Apiaceae), *Stachys grandidentata* (Labiatae)

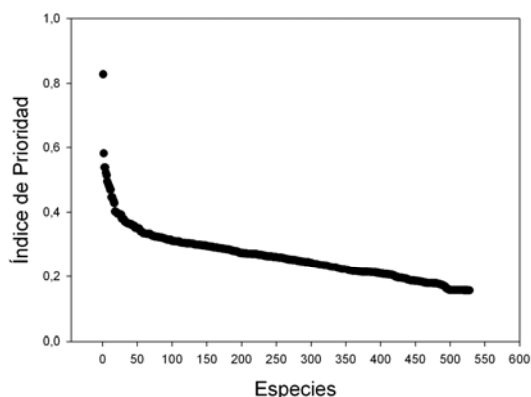
y *Tropaeolum tricolor* (Tropaeolaceae), presentes en 10 regiones, son las especies con mayor distribución.

**Tabla 2.** Especies endémicas regionales con distribución exclusiva en una sola área de 925 km<sup>2</sup>. Se incluye el valor del Índice de Prioridad (IP).

Familia	Especie	IP
Alstroemeriaceae	<i>Leontochir ovallei</i>	0,83
Papaveraceae	<i>Argemone crassifolia</i>	0,58
Polygalaceae	<i>Polygala solieri</i>	0,54
Brassicaceae	<i>Ivania cremnophila</i>	0,48
Brassicaceae	<i>Polypsecadium zoellneri</i>	0,37
Violaceae	<i>Viola godoyae</i>	0,32
Violaceae	<i>Viola pseudoasterias</i>	0,32
Violaceae	<i>Viola vallenarensis</i>	0,32
Cactaceae	<i>Maihueniopsis domeykoensis</i>	0,31
Cyperaceae	<i>Scirpus trachycaulos</i>	0,29
Boraginaceae	<i>Cryptantha dichita</i>	0,27
Portulacaceae	<i>Calandrinia stricta</i>	0,27
Cactaceae	<i>Copiapoa calderana</i>	0,27
Cactaceae	<i>Copiapoa fiedleriana</i>	0,27
Cactaceae	<i>Copiapoa humilis</i>	0,27
Cactaceae	<i>Copiapoa montana</i>	0,27
Cactaceae	<i>Copiapoa serpentisulcata</i>	0,27
Brassicaceae	<i>Menonvillea macrocarpa</i>	0,25
Fabaceae	<i>Astragalus valerianensis</i>	0,25
Asteraceae	<i>Conyza copiapina</i>	0,25
Fabaceae	<i>Adesmia odontophylla</i>	0,21

En cuanto a la unicidad taxonómica, 34 especies tuvieron Valores Taxonómicos ( $T$ ) menores o iguales a 10, de ellas, *Vasconcellea chilensis* (Caricaceae) obtuvo valor de  $T=1$ . El promedio de géneros en cada familia fue de  $33,2 \pm 2,0$ , mientras que cada género poseía una media de  $39,4 \pm 2,4$  especies. El alto número de géneros por familia está marcado fuertemente por la familia Asteraceae que al eliminarse del análisis la media desciende a  $14,1 \pm 0,9$  géneros.

El Índice de Prioridad varió entre 0,83 (para *Leontochir ovallei*) y 0,16, valor obtenido para 30 especies de *Senecio* (Asteraceae), más *Krameria cistoidea* (Krameriaceae), *Bahia ambrosioides* (Asteraceae), *Plantago hispidula* (Plantaginaceae) y *Pleurophora pungens* (Lythraceae). Los valores del Índice de Prioridad se encuentran correlacionados de manera positiva y fuertemente significativa con el aumento en el grado de amenaza de las especies ( $r= 0,45$ ;  $P < 0,001$ ). Ninguna especie tuvo valores de  $T=1$  y  $D=1$  al mismo tiempo, por lo que ninguna especie alcanzó el valor máximo de IP igual a uno (Fig. 1). La especie con mayor IP corresponde a *L. ovallei* ( $D= 1$ ;  $T= 3$ ), endémica regional y presencia en un solo hexágono, es parte de la familia Alstroemeriaceae con sólo tres géneros y *Leontochir* con una sola especie (Tabla 3). Dentro de las 30 primeras especies 7 son endémicas regionales, 19 poseen presencia en sólo 1 hexágono, 2 poseen un solo género en la familia y 6 son de géneros monotípicos (Tabla 3).



**Fig. 1.** Índice de Prioridad de las especies endémicas a Chile con presencia en la Región de Atacama (n = 528 especies).

Las familias Brassicaceae, Bromeliaceae y Papaveraceae son las que tuvieron más especies dentro de las 30 más prioritarias, representadas por *Ivana cremnophila* ( $IP= 0,48$ ) y *Werdermannia macrostachya* ( $IP= 0,40$ ) en el caso de Brassicaceae, *Puya boliviensis* ( $IP= 0,39$ ) y *Tillandsia capillaris* ( $IP= 0,41$ ) para Bromeliaceae, y finalmente, las especies de Papaveraceae *Argemone crassifolia* ( $IP= 0,58$ ) y *A. rosea* ( $IP= 0,45$ ).

### CONSIDERACIONES FINALES

El análisis de distribución geográfica y unicidad taxonómica mostró que la mayor parte de las especies poseen distribuciones acotadas (< 2 regiones), de ellas varias especies poseen una alta unicidad taxonómica. Sin embargo, de las 68 familias con especies endémicas presentes en la Región de Atacama, sólo Caricaceae tiene una representación monotípica en Chile, por ello *Vasconcellea chilensis* la “papaya chilena” debe considerarse como un recurso fitogenético prioritario. Adicionalmente, se determinó que la Garra de León (*Leontochir ovallei*) es la especie más prioritaria para su conservación debido a su alta unicidad taxonómica y estrecho rango de distribución. Este resultado es consistente con las propuestas realizadas por varios autores y metodologías que proponen a *L. ovallei* en estatus de En Peligro (Benoit 1989, Ravenna et al. 1998, Muñoz-Schick & Sierra 2006, Capítulo 4). Asimismo, proponemos a *L. ovallei* como la especie de prioridad máxima para su conservación a nivel regional por su situación de amenaza, rareza en su distribución geográfica e importancia como representante de un linaje único y poco diversificado en Chile. Otras especies a ser tomadas en consideración debido a su baja distribución intra e inter-regional y alta unicidad taxonómica son: *Argemone crassifolia* (Papaveraceae), *Polygala solieri* (Polygalaceae), *Ivania cremnophila* (Brassicaceae), *Microphytes robusta* (Caryophyllaceae), *Werdermannia pinnata* (Brassicaceae) y *Argylia bifrons* (Bignoniaceae).

La realización de una lista que permita comparar bajo dos criterios la importancia relativa de la originalidad de las especies en la Región de Atacama, puede considerarse como una manera de evaluación cuantitativa, lo que resulta en una contribución en el “cálculo de la biodiversidad” de una zona de alto endemismo y vulnerabilidad (*sensu* May 1990, Myers et al. 2000). La unicidad taxonómica y filogenética representan información relevante respecto a las decisiones en cuanto a conservación, debido a que las especies con alta

unicidad taxonómica pueden representar relictos de ramas filogenéticas completas, y por lo tanto, constituyen una fuente de diversidad genética. La pérdida de los relictos evolutivos representa una merma patrimonial mayor que la pérdida de especies de grupo altamente diversificado debido a que éstos últimos poseen taxa hermanos con mayor similitud genética, morfológica o fisiológica (Squeo et al. 1998, Pavoine et al. 2005).

**Tabla 3.** Treinta especies endémicas prioritarias para la conservación ordenadas en función del Índice de Prioridad (IP), calculado a partir del número de hexágonos presentes en la Región de Atacama (NH), número de regiones presentes en Chile (NR), número de especies por género (NSP) y número de géneros por familia (NG) y categoría de conservación (CAT).

Especie	NH	NR	NSP	NG	IP	CAT
<i>Leontochir ovallei</i>	1	1	1	3	0,83	EP
<i>Argemone crassifolia</i>	1	1	4	3	0,58	IC(EX?)
<i>Tigridia philippiana</i>	1	2	1	11	0,54	IC(EX?)
<i>Polygala solieri</i>	1	1	8	2	0,54	IC
<i>Epipetrum bilobum</i>	1	3	3	2	0,52	IC(EX?)
<i>Balbisia microphylla</i>	1	2	2	7	0,51	IC(EX?)
<i>Tropaeolum kingii</i>	1	2	17	1	0,49	IC(EX?)
<i>Aristolochia bridgesii</i>	2	2	2	1	0,49	IC(FP?)
<i>Polypodium espinosae</i>	1	3	4	3	0,48	IC(FP?)
<i>Ivania cremnophila</i>	1	1	1	25	0,48	IC(EX?)
<i>Deuterocohnia chrysantha</i>	2	2	1	6	0,47	EP
<i>Pilea elliptica</i>	1	4	2	3	0,47	IC(EX?)
<i>Pellaea myrtillifolia</i>	1	4	2	6	0,45	IC(EX?)
<i>Argemone rosea</i>	2	2	4	3	0,45	IC(FP?)
<i>Eryngium anomalum</i>	1	3	1	23	0,44	IC(EX?)
<i>Gentianella coquimbensis</i>	2	2	4	4	0,43	EP
<i>Tetragonia espinosae</i>	1	3	9	3	0,43	IC(EP?)
<i>Llagunoa glandulosa</i>	1	6	1	3	0,41	IC
<i>Domeykoa perennis</i>	1	2	2	23	0,40	IC(FP?)
<i>Limonium guaicura</i>	2	3	3	2	0,40	IC(EP?)
<i>Microphytes robusta</i>	2	1	3	16	0,40	IC(EX?)
<i>Werdermannia macrostachya</i>	1	2	2	25	0,40	IC(FP?)
<i>Werdermannia pinnata</i>	2	1	2	25	0,40	IC(FP?)
<i>Linum cremnophilum</i>	1	2	5	10	0,40	IC(EX?)
<i>Argylia bifrons</i>	3	1	11	4	0,39	IC(EX?)
<i>Montiopsis demissa</i>	1	4	5	7	0,39	IC(EX?)
<i>Puya boliviensis</i>	2	2	6	6	0,39	EP
<i>Chenopodium trifurcatum</i>	1	2	12	5	0,38	IC(VU?)
<i>Cyphocarpus psammophilus</i>	3	2	3	7	0,38	EP
<i>Aloysia fonckii</i>	3	2	2	11	0,38	IC(FP?)

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Alicia Marticorena por su amable aporte con información taxonómica de la flora de Chile. PC Guerrero agradece la beca doctoral CONICYT D-21070301. Este trabajo fue desarrollado gracias al apoyo del Millenium Seed Bank Project del Royal Botanic Gardens Kew.

## BIBLIOGRAFÍA

- BENOIT I (1989) Red list of Chilean terrestrial flora. Corporación Nacional Forestal, Santiago. 157 pp.
- BURGMAN MA (2002) Are listed threatened plant species actually at risk? Australian Journal of Botany 50: 1-13.
- CEBALLOS G, P RODRÍGUEZ & RA MEDELLÍN (1998) Assessing conservation priorities in megadiverse Mexico: mammalian diversity, endemism, and endangerment. Ecological Applications 8: 8-17.
- COFRÉ H, & PA MARQUET (1999) Conservation status, rarity, and geographic priorities for conservation of Chilean mammals: an assessment. Biological Conservation 88: 53-68.
- DONALDSON J (2003) Cycads. Status survey and conservation action plan. IUCN/SSC Cycad Specialist Group, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. ix + 139 pp.
- FARJON A & CN PAGE (1999) Conifers. Status survey and conservation action plan. IUCN/SSC Conifer Specialist Group, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. ix + 121 pp.
- GÄRDENFORS U (2001) Classifying threatened species at national versus global levels. Trends in Ecology and Evolution 16: 511-516.
- LAMOREUX J, HR AKÇAKAYA, L BENNUN, NJ COLLAR, L BOITANI, D BRACKETT, A BRÄUTIGAM, TM BROOKS, GAB DA FONSECA, RA MITTERMEIER, AB RYLANDS, U GÄRDENFORS, C HILTON-TAYLOR, G MACE, BA STEIN & S STUART (2003) Value of the IUCN red list. Trends in Ecology and Evolution 18: 214-215.
- MACE GM (1995) Classification of threatened species and its role in conservation planning. In: (JH Lawton & RM May, eds) Extinction Rates: 197-213. Oxford University Press, Oxford.
- MACE GM (2004) The role of taxonomy in species conservation. Philosophical Transactions of The Royal Society of London Series B-Biological Sciences 359: 711-719.
- MAY R (1990) Taxonomy as destiny. Nature 347: 129-130.
- MUÑOZ-SCHICK M & T SIERRA (2006) Ficha de antecedentes de especie: *Leontochir ovallei*. Documento de trabajo, Proceso Nacional de Clasificación de Especies, Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). [en línea] <<http://www.conama.cl/clasificacionespecies/>> [consultado el 14 de enero de 2008]
- MYERS N, RA MITTERMEIER, CG MITTERMEIER, GAB DA FONSECA & J KENT (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403: 853 - 858.
- NIXON KC & QD WHEELER (1992) Measures of phylogenetic diversity. En: (MJ Novacek & QD Wheeler, eds.) Extinction and Phylogeny: 216-234. Columbia University Press, New York.
- PAVOINE S, S OLLIER & AB DUFOUR (2005) Is the originality of a species measurable? Ecology Letters 8: 579-586.

- POSSINGHAM HP, SJ ANDELMAN, MA BURGMAN, RA MEDELLIN, LL MASTER & DA KEITH (2002) Limits to the use of threatened species lists. *Trends in Ecology and Evolution* 17: 503-5.
- RABENNA P, S TEILLIER, J MACAYA, R RODRÍGUEZ & O ZÖLLNER (1998) Categorías de conservación de las plantas bulbosas nativas de Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural* 47: 47-68.
- SQUEO FA, LA CAVIERES, G ARANCIO, JE NOVOA, O MATTHEI, C MARTICORENA, R RODRIGUEZ, MTK ARROYO & M MUÑOZ (1998) Biodiversidad de la flora vascular en la Región de Antofagasta, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 571-591.
- SQUEO FA, G ARANCIO & JR GUTIÉRREZ (2001) Libro Rojo de la Flora Nativa y los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena. xiii + 372 pp.
- THE WORLD CONSERVATION UNION (2004) IUCN Red List of Threatened Species. <http://www.redlist.org/>
- VANE-WRIGHT RI, CJ HUMPHRIES & PH WILLIAMS (1991) What to protect? Systematics and the agony of choice. *Biological Conservation* 55: 235-254.