

Estado del conocimiento y conservación de los helechos y plantas afines en Bolivia

Knowledge and conservation status of ferns and fern allies in Bolivia

Rodrigo W. Soria-Auza^{1,2} & Michael Kessler¹

¹Dirección actual: Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften, Abteilung Systematische Botanik, Untere Karspüle 2, D-37073 Göttingen, Alemania
E-mail: wilbersa@armonia-bo.org Autor para correspondencia

²Asociación Armonía - BirdLife International, Av. Lomas de Arena, Casilla 3566, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Resumen

El análisis de bases de datos extensas es una estrategia objetiva para evaluar el estado del conocimiento y conservación de la biodiversidad. Utilizando nuestra base de datos de pteridofitas (23.221 registros; 1.163 especies) y sistemas de información geográfica, analizamos la diversidad y cantidad de especies amenazadas en dos escalas: 1) Ecoregional, y 2) áreas protegidas de Bolivia (AP). Las ecoregiones más diversas fueron los Yungas (1.034 spp.) y los bosques montanos secos (458 spp.), mientras que las más pobres fueron el Pantanal (12 spp.), las sabanas del Beni (80 spp.) y la puna seca de los Andes centrales (80 spp.). Las AP's más ricas se encuentran en los Yungas (Carrasco, Cotapata y Madidi), siendo el Territorio Indígena y Parque Nacional (TIPN) Isiboro Sécore la excepción. Aunque el orden de importancia de las ecoregiones y AP basados en la cantidad de especies amenazadas es consistente con el de la riqueza de especies, se puede observar ligeras modificaciones a nivel ecoregional (Yungas, puna húmeda de los Andes Centrales y bosques secos montanos) y de AP (Cotapata, Madidi y Carrasco). También se identificaron varios centros importantes con especies amenazadas no registradas hasta ahora dentro el sistema de AP, las cuales se encuentran principalmente en los Andes húmedos y zonas de transición. Aunque existe una fuerte influencia de la intensidad de colecta en la determinación de la riqueza de especies y la cantidad de especies amenazadas en ambas escalas, una corrección no llevará a una modificación drástica del patrón hallado, puesto que refleja la preferencia por coleccionar especies en lugares más diversos florísticamente. El cambio más fuerte previsible es un incremento del TIPN Isiboro Sécore. Es posible que un incremento en la intensidad de colecciones fuera de las AP's conduzca a la identificación de sitios importantes para helechos.

Palabras clave: Pteridofitas, ecoregiones, áreas protegidas, bases de datos, SIG.

Abstract

The analysis of extensive databases has become an important tool evaluating the knowledge and conservation status of the biodiversity. We evaluated the species richness and the occurrence of threatened species (TS) of Pteridophyta at two levels: 1) ecoregional and 2) protected areas (PA's). In order to achieve this goal we analyzed the database of ferns (23,221 records; 1,163 species) through GIS. The richest ecoregion were the Yungas (1,034 spp.) and the dry montane forest (458 spp.), whereas the poorest were the Pantanal (12 spp.), the Beni Savannas (80 spp.) and the central

Andean dry Puna (80 spp.). The richest PA's were placed in the Yungas (Carrasco, Cotapata and Madidi), being TIPNIS the exception. Although the order of importance based on the TS was consistent with the species richness, one slight change in the order of importance were detected between both levels of analyses (in decreasing order: Yungas, humid Puna of the central Andes and dry montane forest for the ecoregions; Cotapata, Madidi and Carrasco for the PA's). We also identified several important areas holding TS not registered in any PA, most of them located in the wet Andes and transition zones. Although the influence of the intensity of collection determining the species richness and the occurrence of TS was strong, a correction of its effect won't change drastically the general pattern, since it is the reflex of the preference of collecting in richest areas. The most evident predicted change would be the up-listing of TIPN Isiboro Sécure. Finally, it is possible that a more intense collecting activity outside PA's will drive to identify other important areas for TS not recorded into PA's.

Key words: Pteridophyta, ecoregions, protected area, databases, GIS.

Introducción

El estado del conocimiento macroecológico para muchos taxones en Bolivia es básico. Esta falta de datos puede llevar a una apreciación de patrones de diversidad intuitivos y/o endemismo que pueden tener efectos conservacionistas negativos frente a la urgente situación de establecer prioridades. En los últimos años se han producido los primeros trabajos macroecológicos, describiendo la diversidad de algunos grupos taxonómicos (Kessler 2001, Müller *et al.* 2003), así como las primeras evaluaciones objetivas para identificar regiones importantes para la conservación, apoyándose en bases de datos disponibles para grupos taxonómicos específicos como aves (Herzog *et al.* 2005) y orquídeas (Vásquez & Ibsch 2000, 2004). Paralelamente se han incorporado actualizaciones del conocimiento para otros grupos, revelando en algunos casos unos vacíos de información considerables (Churchill 2003, Gonzales & Reichle 2003, Reichle 2003).

Sin embargo, aún contando con las bases de datos necesarias para el desarrollo de este tipo de análisis, existen ciertos problemas que el investigador debe confrontar en la identificación de los centros de importancia para la conservación, incluyendo la intensidad de muestreo o recolecta desigual (Nelson *et al.* 1990, Stoms *et al.* 1992). Por ejemplo, algunos

autores han identificado una influencia de la accesibilidad sobre sitios altamente diversos y por lo tanto, prioritarios para la conservación en África (Freitag *et al.* 1998, Reddy & Dávalos 2003), mientras que otros mencionan que la intensidad de muestreo desproporcional con relación al área también puede conducir a conclusiones erróneas, sobre todo en hábitats fragmentados (Scroeder *et al.* 2004).

Las pteridofitas son uno de los grupos taxonómicamente más diversos y abundantes en los bosques tropicales húmedos, incluyendo principalmente formas de vida herbáceas terrestres, epífitas, hemiepífitas y formas arbóreas que pueden aportar a la diversidad local hasta un 19% (Kessler 2001, Kessler *et al.* 2001). Sin embargo, este grupo es frecuentemente ignorado en estudios de composición y dinámica de la vegetación, dándose mayor énfasis a los grupos de plantas leñosas (Gentry 1988, 1995, Libermann *et al.* 1996). Así mismo, tampoco han sido mencionados en trabajos de regionalización ecológica en Bolivia (Ibsch & Mérida 2003) y se ha escrito muy poco acerca de su nivel de conservación. A la luz de este vacío de información nos propusimos realizar un análisis de la distribución de riqueza de especies de helechos en dos escalas: a) Nivel ecoregional y b) de áreas protegidas. Al mismo tiempo, identificamos la distribución de sitios con especies prioritarias para la conservación

que no se encuentran incluidas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) de Bolivia.

Métodos

Utilizamos una base de datos de los helechos de Bolivia compilada por M. Kessler y A. R. Smith en el marco de sus estudios hacia una flora de helechos de Bolivia (www.fernsofbolivia.uni-goettingen.de) como base para el análisis. Los datos provienen de colecciones científicas de diversos museos de historia natural - incluyendo a herbarios bolivianos - y otros recursos científicos disponibles en Internet (p. ej. TROPICOS). Debido a que este proceso de meta-análisis puede incorporar diversas fuentes de error, realizamos un depuramiento de los datos bajo criterios que garanticen una calidad adecuada para este tipo de análisis. Estos criterios fueron los siguientes: 1) Se eliminaron los sinónimos para una misma especie y se adoptaron los nombres científicos aceptados por M. Kessler y A. R. Smith, 2) se eliminaron todos los registros no determinados hasta el nivel de especie, sin embargo se mantuvieron los registros considerados como nuevas especies, 3) se eliminaron los registros que no se encontraban georreferenciados (en algunos casos se corrigieron los registros erróneamente georeferenciados; este procedimiento fue empleado sólo en los casos en que la localidad de colecta era conocida con certeza) y 4) no se tomaron en cuenta los datos considerados no confiables. Después de este proceso de limpieza, la base de datos disponible para análisis se redujo de 27.501 a 23.221 registros.

El estado de conservación de cada especie fue evaluado en base a los criterios de la UICN (2001) (http://www.iucnredlist.org/info/categories_criteria2001), siguiendo el método aplicado por Valencia *et al.* (2000) para las especies endémicas de Ecuador (véase Pitman 2000). A diferencia del estudio ecuatoriano, nuestro análisis no se limitó a las especies endémicas y consideró la distribución y abundancia global de cada especie.

Los datos de distribución se diagramaron en los sistemas de información geográfica ArcView 3.2 (ESRI Inc.) y DIVAGIS 5.4 (Lizartech Inc.). Utilizamos los documentos de vectores digitales (shapefiles) que definen la división administrativa y de áreas protegidas (AP) de Bolivia (ver <http://www.diva-gis.org/>). Para el análisis a nivel ecoregional, utilizamos la desarrollada por la World Wildlife Found (Olson *et al.* 2001), cuyos shapefiles se encuentran disponibles en <http://www.worldwildlife.org/ecoregions>. Siguiendo la nomenclatura de esta publicación, Bolivia cuenta con 12 ecoregiones: 1) Amazonía húmeda del suroeste, 2) sabanas del Beni, 3) bosque húmedo del Madeira-Tapajos, 4) bosque seco Chiquitano y el cerrado, 5) pantanal, 6) chaco seco, 7) Yungas andinos del Sur, 8) bosques secos montanos, 9) Yungas de Bolivia, 10) puna de los Andes centrales, 11) puna seca de los Andes centrales y 12) puna húmeda de los Andes centrales (Figura 2a). Calculamos la riqueza de especies como el número total de especies, cantidad de especies amenazadas y la cantidad de recolectas científicas para cada una de estas ecoregiones. Realizamos el mismo proceso para hacer un análisis similar a nivel de áreas protegidas (AP). A diferencia del primer procedimiento, el cálculo de la riqueza de especies, cantidad de especies amenazadas y la cantidad de colectas científicas de cada AP incluyó los registros que se encontraban hasta cuatro kilómetros fuera de sus límites. Este procedimiento se encuentra justificado debido a las características de alta dispersión que los pteridofitos poseen (Barrington 1993), la designación artificial de los límites que las AP's poseen con relación a la distribución natural de cualquier taxón y sobre todo a que en varios lugares hay amplias recolectas en las inmediaciones de AP a lo largo de carreteras en su área de influencia (p.e. PNANMI Cotapata, PN Carrasco). No utilizamos métodos estadísticos para controlar los esfuerzos de muestreo en diferentes ecoregiones o AP, tales como rarefacción o estimadores de riqueza, ya que nuestro énfasis es mostrar números

absolutos de especies y debido a que muchas entidades de muestreo tienen un número demasiado bajo de colectas para poder aplicar estos métodos matemáticos.

A partir de los datos trabajados en los sistemas de información geográfica, creamos un documento de cuadrículas (en inglés: gridfile) para Bolivia con una resolución de 0.15 x 0.15 grados (equivalente a 9 x 9 minutos) mostrando las zonas que albergan a las especies que consideramos amenazadas según los criterios de la UICN (2001). Realizamos análisis de regresión simple de Pearson (Sokal & Rohlf 1995) para verificar si la cantidad de recolectas científicas tiene una influencia determinante sobre la riqueza de especies y/o la cantidad de especies amenazadas. Este análisis fue llevado a cabo tanto a nivel ecoregional como de áreas protegidas (AP). Estos análisis estadísticos fueron llevados a cabo en el paquete Statistica 6.0 (STATSOFT Inc.).

Resultados

Los 23.221 registros de pteridofitas en nuestra base de datos correspondieron a un total de 1.163 especies. El 38% de estas especies son conocidas de al menos cinco registros en el país. El promedio y la mediana de registros por especie son de 20 y 10, respectivamente.

Los Yungas de Bolivia es la ecoregión más rica en especies (1.034 spp., 88%), la diferencia entre ésta y la siguiente más rica es de 576 especies (bosques montanos secos; 458 spp., 40%). Entre las más pobres en especies se encuentran el Pantanal (12 spp., 1%), las sabanas del Beni (80 spp., 9%) y la puna seca de los Andes centrales (80 spp., 9%). La tabla 1 muestra la riqueza de especies registradas en las ecoregiones de Bolivia. Este análisis muestra que la riqueza de especies y la cantidad de especies amenazadas en las ecoregiones se encuentran fuertemente influenciadas por la cantidad de recolectas ($r^2 = 0.91$, $p < 0.001$; $r^2 = 0.97$, $p < 0.001$, respectivamente). En otras palabras, las ecoregiones que poseen una mayor cantidad

de recolectas presentan una mayor riqueza de especies y cantidad de especies amenazadas (Figura 1a).

Un total de 116 especies fueron clasificadas como especies amenazadas en extinción (10% de las especies registradas en Bolivia). De este grupo, *Cyathea zongoensis* Lehnert se encuentra en peligro crítico (CR), *Blechnum anthracinum* R.C. Moran, *B. cochabambense* M. Kessler & A.R. Sm., *B. reflexum* Rosenst., *Ceradenia madidiensis* M. Kessler & A.R. Sm., *Elaphoglossum mandonii* (Mett. ex Kuhn) H. Christ, *E. paucinervium* M. Kessler & Mickel, *Polystichum bachii* M. Kessler & A.R. Sm., *P. lepidotum* Sundue & M. Kessler, *Selaginella glossophylla* Crabbe & Jermy y *Serpocaulon silvulae* (M. Kessler & A.R. Sm.) A.R. Sm. se encuentran en peligro (EN) y las restantes 105 especies fueron clasificadas como vulnerables (VU). La ecoregión con mayor cantidad de especies amenazadas fue los Yungas de Bolivia (100 spp., 86% de las spp. amenazadas), seguida por puna húmeda de los Andes Centrales (12 spp., 10 % de las spp. amenazadas) y los bosques secos montanos de Bolivia (10 spp., 9 % de las spp. amenazadas) (Tabla 1).

La cantidad de registros provenientes de las AP's suma un total de 13.210 (57%, Figura 2b). Este sesgo es pronunciado si tomamos en cuenta que la extensión cubierta por las AP's es el 14% del territorio de Bolivia (161.592,61 km²). Las AP's con mayor riqueza de especies son Carrasco (587 spp., 50% de todas las especies bolivianas), Cotapata y Madidi (ambos con 556 spp., 48%), Apolobamba (443 spp., 38%), Amboró (401 spp., 34%) y Pilón Lajas (251 spp., 22%); todas ubicadas al menos parcialmente sobre la Cordillera Oriental de los Andes. El Territorio Indígena y Parque Nacional Isiboro Sécuré (TIPNIS) es la única AP en los Yungas con una riqueza de especies apreciablemente inferior a sus similares (172 spp., 15%). Las restantes AP's no superan más de 128 especies (Tabla 2). El orden de importancia de AP's para los helechos es modificado si solo tomamos en cuenta a las especies amenazadas, situándose

Cotapata como el AP con la mayor riqueza de especies amenazadas (37 spp., 29%), seguida por Madidi (25 spp., 19%), Carrasco (21 spp., 16%) y Apolobamba (16 spp., 12%) (Tabla 2). Al igual que en el análisis ecoregional, la cantidad de colectas tiene una fuerte influencia sobre la riqueza de especies y la cantidad de especies amenazadas ($r^2 = 0.78$, $p < 0.001$; $r^2 = 0.88$, $p < 0.001$, respectivamente; Figura 1b).

Del total de especies, 123 (aprox. 10%) no se encuentran registradas en ninguna AP; similarmente, 28 (24%) especies amenazadas tampoco están registradas en AP's. Entre estas especies tenemos a *Cyathea zongoensis* Lehnert (CR), *Elaphoglossum mandonii* y *Polystichum bachii* (EN); 24 de las 28 especies amenazadas que no se encuentran en ninguna AP se distribuyen principalmente al noroeste del

Tabla 1: Valores registrados de riqueza de especies, especies amenazadas y la cantidad de colectas por ecoregión de Bolivia (según Olson *et al.* 2001).

Ecoregión	Riqueza de especies	Especies amenazadas	Número de colectas
Sabanas del Beni	80	0	227
Bosques secos montaños	458	10	2.545
Yungas de Bolivia	1.034	100	14.934
Puna seca de los Andes centrales	80	2	118
Puna de los Andes centrales	203	4	717
Puna húmeda de los Andes centrales	311	12	1.634
Bosque seco Chiquitano & Cerrado	196	3	705
Chaco seco	138	1	458
Bosque húmedo de Madeira-Tapajós	84	0	175
Pantanal	12	0	16
Amazonía húmeda del Suroeste	235	3	898
Yungas andinos del Sur	213	3	721

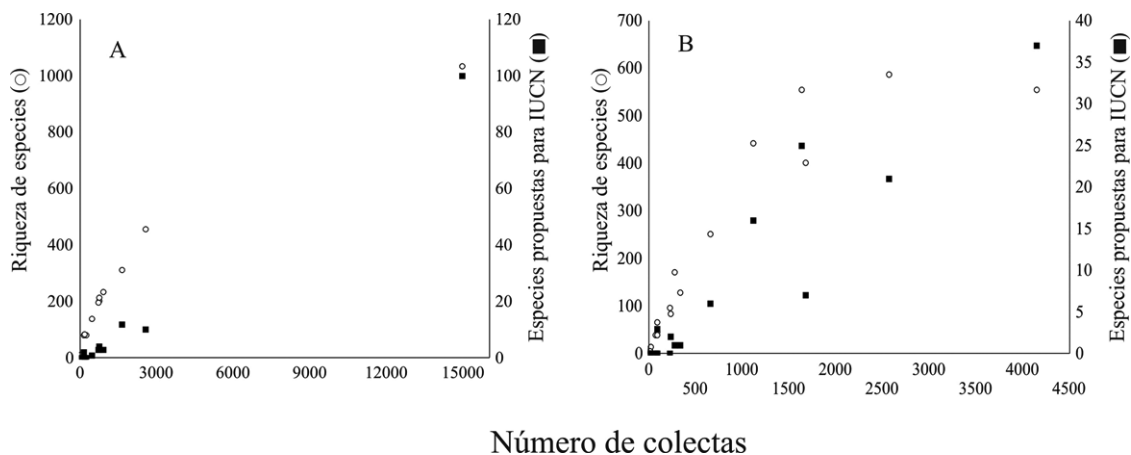


Fig. 1: Relación de riqueza de especies y especies amenazadas, en función al número de colectas. a) Análisis ecoregional y b) análisis a nivel de áreas protegidas.

departamento de Cochabamba y sud-centro de La Paz, sobre los Yungas bolivianos (17 spp.), los bosques secos montanos y puna húmeda de los Andes centrales. En algunos casos se encuentran en zonas de transición entre estas ecoregiones: *Adiantum tuomistoanum* J. Prado, *Asplenium ayopayense* M. Kessler & A.R. Sm., *A. trilobatum* C. Chr., *Cerademia mirabilis* L.E. Bishop, *C. Nudicarpa* (Copel.) L.E. Bishop *Cyathea zongoensis*, *Diplazium bolivianum* M. Kessler & A.R. Sm., *D. bipinnatum* M. Kessler & A.R. Sm., *Elaphoglossum accedens* M. Kessler & Mickel, *E. elkeae* M. Kessler & Mickel, *E. Mandonii* (Mett. Ex Kuhn) H. Christ, *E. solomoni* M. Kessler & Mickel, *Huperzia acuta* (Rolleri) Rolleri & Defarrari, *Lellingeria carrascoensis* M. Kessler & A.R. Sm., *Melpomene allosuroides*, (Rosenst.) A.R. Sm. & R.C. Moran, *Polystichum bachii*, *P.*

congestum M. Kessler & A.R. Sm., *Selaginella angustifolia* Valdespino ined., dos especies nuevas del género *Thelypteris* en proceso de descripción (Smith & Kessler en prensa) y tres especies nuevas del género *Terpsichore* también en proceso de descripción (Sundue & Kessler en prensa). En la ecoregión del bosque seco chiquitano se ha registrado a la especie amenazada *Selaginella chiquitana* M. Kessler, A.R. Sm. & M. Lehnert solo en una localidad sobre la Serranía de Santiago. Las dos especies amenazadas conocidas de la Amazonía húmeda del suroeste - *Adiantum squamulosum* J. Prado & A.R. Sm. y *A. Solomonii* J. Prado - fueron registradas en la localidad de Puerto Rico (a orillas del Río Manuripi, Depto. Pando) y otras dos ubicadas en las cercanías a Riberalta (Depto. Beni). Finalmente, *Blechnum vallegrandense* M.

Tabla 2: Valores registrados de riqueza de especies, especies amenazadas y cantidad de colectas de las áreas protegidas de Bolivia.

Áreas protegidas	Riqueza de especies	Especies amenazadas	Número de Colectas
1) Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Aguara Güe	6	0	7
2) Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Amboró	401	7	1.674
3) Área Natural de Manejo Integrado Apolobamba	443	16	1.114
4) Parque Nacional Carrasco	587	21	2.566
5) Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata	556	37	4.143
6) Reserva de la Biosfera Estación Biológica del Beni	44	0	87
7) Territorio Indígena y Parque Nacional Isiboro Securé	172	1	272
8) Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Iñaño	96	0	220
9) Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Kaa Iya del Gran Chaco	5	0	8
10) Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Madidi	556	25	1.628
11) Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica Manuripi	40	0	69
12) Parque Nacional Noel Kempff Mercado	128	1	329
13) Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Otuquis	2	0	7
14) Área Natural de Manejo Integrado el Palmar	7	0	8
15) Reserva de la Biosfera y Territorio Indígena Pilon Lajas	251	6	655
16) Reserva Biológica de la Cordillera de Sama	39	0	87
17) Área Natural de Manejo Integrado San Matías	15	0	16
18) Reserva Nacional de Flora y Fauna Tariquia	66	3	86
19) Parque Nacional Torotoro	6	0	7
20) Parque Nacional Tunari	84	2	227

Kessler & A.R. Sm. es conocida solo de cercanías de Vallegrande (Depto. Santa Cruz).

La cuadrícula de 0.15 x 0.15 grados de resolución (Figura 2c) revela dos zonas en que se alcanza la máxima acumulación de especies amenazadas no protegidas por el SNAP (tres especies cada una): 1) Cercanías a la comunidad de Pampa Grande (Ayopaya, Cochabamba) y 2) dos kilómetros al sur de Sailapata (Ayopaya, Cochabamba). También se identificaron cuatro centros secundarios de acumulación de especies amenazadas (dos especies), tres de éstos se encuentran en el departamento de La Paz y uno en el Beni: 1) en las cercanías de Sorata (Larecaja, La Paz), 2) en las cercanías de Chururaqui (Murillo, La Paz), 3) en el valle del río Zongo (Murillo, La Paz) y 4) aproximadamente a 13 km al este de Riberalta (Vaca Diez, Beni).

Discusión

El Neotrópico con aproximadamente 3.000 especies de helechos y plantas afines es el segundo centro de mayor diversidad de helechos en el mundo, después de la región sureste de Asia (La península Malaya, el archipiélago Malayo, incluyendo Nueva Guinea) con ca. 4.500 especies. Aunque no se cuenta con datos precisos acerca de la riqueza de especies para todos los países neotropicales, datos reportados para el Perú (León *et al.* 2006) y la región mesoamericana oscilan entre 1.200 y 1.800 (Moran & Riba 1995). En Bolivia no existe otro grupo de plantas para la cual se tenga disponible una base de datos de dimensiones similares. Vásquez & Ibisch (2000, 2004) realizaron un análisis biogeográfico de algunas

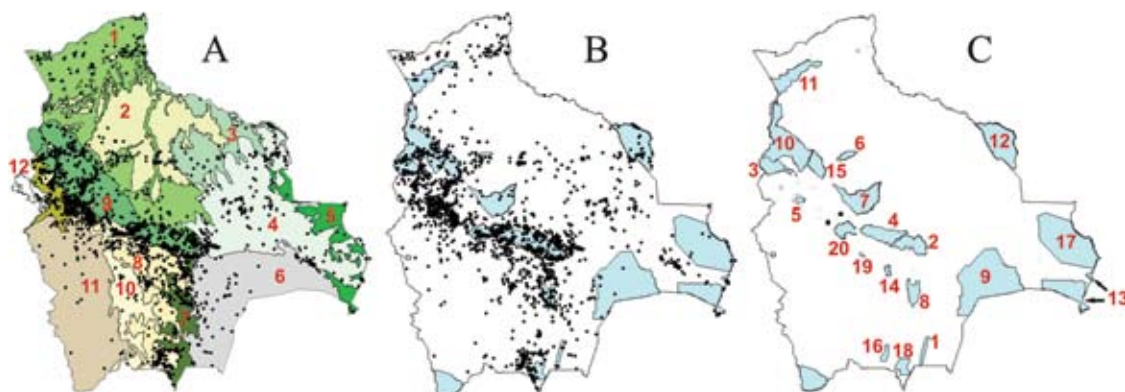


Fig. 2: Mapas de Bolivia mostrando la distribución espacial de a) la distribución geográfica de los registros de helechos con relación a la disposición espacial de las diferentes ecorregiones que se encuentran en Bolivia (Olson *et al.* 2001), la numeración corresponde con el texto detallado en materiales y métodos, b) distribución espacial de los registros con relación a la disposición espacial de las áreas protegidas y c) disposición espacial de los centros que albergan especies amenazadas no registradas en ninguna AP. La numeración en la figura 2c y tabla 2 son correspondientes para las diferentes AP que poseen registros de pteridofitas; las cuadrículas negras representan los centros de acumulación de especies no protegidas por el SNAP (tres spp.), las cuadrículas gris oscuro los centros secundarios de acumulación de especies amenazadas no protegidas por el SNAP (dos spp.) y las cuadrículas gris claro áreas donde se registró una especie amenazada reportada en ninguna AP (todas encerradas en un círculo).

familias de orquídeas (Laeliinae, Polystachinae, Sobraliinae y Pleurothallidinae), representando mapas de distribución de especies utilizando una base de datos de aproximadamente 2.000 datos, con una media de 3.58 registros por especie, evidentemente una cantidad de datos por especie inferior a la utilizada por nosotros. A pesar de que la base de datos de los helechos y plantas afines que utilizamos es mucho más extensa que la utilizada por otros autores (Vásquez & Ibsch 2000, 2004), consideramos que la riqueza de especies aún se encuentra regional y localmente subestimada. Esta aseveración se basa en los siguientes criterios que deben tomarse en cuenta a la hora de analizar nuestros resultados: 1) Existe un fuerte sesgo a favor de recolectas provenientes de las AP's; esta reducida pero heterogénea porción de Bolivia (14% de la superficie del país) ha sido intensamente visitada por científicos y colectores (57% de los registros) con relación a otras zonas del país (Figura 2b). 2) Existen áreas remotas y de difícil acceso, pero potencialmente ricas en especies de helechos y plantas afines, que han sido muy poco estudiadas (e.g. la cordillera de Mosestenes y grandes sectores de la Amazonía del norte de Bolivia). 3) La región del Pantanal es un caso crítico, aunque es relativamente pequeña en Bolivia, la intensidad de recolectas provenientes de esta ecoregión es muy baja (16 recolectas; 12 especies). 5) La tasa de descripción de especies registrada en los últimos años (Kessler 2003), incluso para zonas frecuentemente visitadas como Pelechuco y Charazani (I. Jiménez 2006 com. pers.), sugiere que la riqueza de especies seguirá incrementándose en los próximos años.

Los análisis a nivel ecoregional y de AP's revelan una fuerte influencia del nivel de recolecta sobre la riqueza de especies y la cantidad de especies amenazadas. Sin embargo, este resultado no debe interpretarse como una relación de causa y efecto, ya que al menos refleja parcialmente la preferencia de los investigadores por recolectar en regiones donde la diversidad de helechos es mayor. La dominancia en

riqueza de especies en los Yungas de Bolivia sobre las restantes ecoregiones no es un patrón recientemente identificado. Varios estudios realizados en diferentes regiones del mundo y escalas han encontrado una fuerte asociación entre la humedad y la riqueza de especies de helechos (Kessler 2001, Ponce *et al.* 2002, Krömer *et al.* 2005, Kluge *et al.* 2006), confirmando de esta manera la naturaleza poiquilohídrica de muchos pteridofitos (Gurung 1985, van der Werff 1990). Un detalle que debemos resaltar del análisis ecoregional es la alta riqueza de especies de los bosques secos montanos. Este alto valor para esta ecoregión puede deberse a la influencia de los Yungas sobre los bosques secos montanos, sobre todo en las islas biogeográficas de bosque seco montanos, que se encuentran inmersos en una matriz de bosques yungueños.

La cantidad de especies amenazadas en Bolivia es considerablemente reducida en comparación a la riqueza total de helechos (116 spp.; no superando el 10%). Este patrón es comparable con el reportado para el Perú (<http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/biologia/v13n2/pdf/a04.pdf>). Tanto en Bolivia (Kessler datos no publicados) como en Perú se reportó una estrecha asociación entre las especies endémicas y amenazadas (83% de las especies endémicas de Perú se encuentran amenazadas; León *et al.* 2006), incluso comparando números absolutos las relaciones son similares (Perú: 1200 riqueza de especies de pteridofitas, 95 especies endémicas). El criterio principal utilizado para la incorporación de especies en la lista roja se basa en la reducida extensión de la superficie de ocurrencia (área definida por un polígono convexo que incluye todos los registros conocidos, inferidos o proyectados) y su relación con el área de ocupación del taxón en cuestión (el área dentro la superficie de ocurrencia que es ocupado por el taxón). Esta medida refleja el hecho de que un taxón no ocupa la totalidad de la superficie de ocurrencia, debido por ejemplo a la presencia de hábitats inapropiados, bajo la premisa de que un taxón con un área de ocupación reducida es altamente susceptible

de extinción debido a eventos estocásticos (ver criterios en: http://www.iucnredlist.org/info/categories_criteria2001). Los helechos, debido a su reproducción por medio de esporas poseen una capacidad de dispersión grande (Barrington 1993, Kessler 2002). Esta característica biológica puede explicar la baja cantidad de especies con distribuciones pequeñas entre los pteridofitos, cuyos rangos de distribución pequeños pueden deberse a requerimientos ecológicos específicos (Kessler 2002).

La mayor parte de las especies de helechos amenazados se encuentra registrada en las AP's. El ligero cambio en el orden de importancia de las AP's en base a la riqueza de especies y de especies amenazadas no altera la priorización fundamental de las cinco AP ubicadas en los Yungas. Sin embargo, es necesario generar más información para áreas con limitado número de registros como el TIPN Isiboro Séure y el ex-AP departamental Altamachi. *Cyathea zongoensis*, la especie de mayor prioridad para la conservación (CR) es conocida a partir de una sola colecta procedente del valle de Zongo (La Paz). Otras especies altamente prioritarias para la conservación (EN) que provienen de localidades únicas son *Elaphoglossum mandonii* (Sorata) y *Polystichum bachii* (cercañas de Sailapata). Si bien las AP's protegen una gran parte de la riqueza de especies y especies amenazadas de este grupo de plantas, podemos ver que *Cyathea zongoensis*, la especie de mayor prioridad para el país no se encuentra debidamente protegida por el sistema de AP del país. Recientemente se ha reportado un registro de esta especie en la parte alta del AP Madidi, aunque solamente se encontró un solo individuo (I. Jiménez com pers.). Esta región ha sido relativamente bien visitada y aunque este nuevo registro insinúa una mayor distribución de esta especie, es necesario incrementar estudios poblacionales para esta especie en esta zona, ya que su relativa fácil detectabilidad sugiere que el único registro de esta especie no significa

que se encuentra debidamente protegida. En este punto debemos agregar que la mayor parte de las AP's enfrentan limitaciones tanto logísticas como de personal, que limitan la eficacia en la protección de la diversidad biológica que albergan.

De igual manera, identificamos que los centros de acumulación de especies prioritarias no protegidas por el sistema de AP se encuentran en 1) cercañas de Pampa Grande (Cochabamba) y 2) dos km al sur de Sailapata (Cochabamba). Al mismo tiempo, se hallan cuatro centros secundarios de acumulación de especies: 1) Cercañas de Sorata (La Paz), 2) cercañas de Chururaqui (La Paz), 3) Valle del Río Zongo (con *Cyathea zongoensis*; La Paz) y 4) 13 km al Este de Riberalta (Beni). Finalmente, se encuentran más sitios en que se reportaron especies amenazadas no protegidas, principalmente en los Yungas, zonas de transición al noroeste del departamento de Cochabamba (Ayopaya) y el centro-sur del departamento de La Paz (Provincias Inquisivi, Sud Yungas, Nor Yungas, Murillo y Larecaja). Así como registros aislados de estas especies en la Amazonía (Puerto Rico y Cercañas de Riberalta), la Chiquitanía y Yungas de Sur.

La principal limitante en la evaluación macroecológica del estado de conservación de los helechos y plantas afines en Bolivia, es el marcado desbalance de la intensidad de recolecta tanto a escala ecoregional como de AP. Un esfuerzo futuro para balancear la cantidad de recolectas provenientes de las ecoregiones o áreas menos estudiadas (e.g. Pantanal, áreas en la Amazonía húmeda del suroeste al norte de Bolivia, ciertos sectores de los Yungas de Bolivia y Yungas Andinos del Sur) conducirá a cambios en la riqueza de especies en ambos niveles de análisis, pero de ningún modo modificará el patrón general reportado en este estudio. Bajo este mismo criterio, podríamos esperar un incremento de sitios con especies amenazadas no protegidas por el sistema de AP, pero no se desechará de ninguna manera los ahora identificados.

Finalmente, el estado de conservación de los helechos puede no ser tan positivo como el descrito hasta ahora, puesto que en los últimos años la mayor parte de las AP's ha sufrido cierto nivel de perturbación, especialmente en las laderas húmedas de los Andes. No obstante, a partir de este estudio describimos el estado general del conocimiento actual de este antiguo grupo de plantas, así su estado de conservación actual en escalas geográficas gruesas.

Agradecimientos

Deseamos agradecer las valiosas sugerencias de Blanca León, Mónica Ponce y de un revisor anónimo. Así mismo, deseamos expresar nuestra gratitud a Alan R. Smith por su extensa colaboración en la determinación y el delineamiento taxonómico de las especies de pteridofitos de Bolivia, a L. Betz y S. Roedde por su ayuda en elaborar la lista roja de especies, a I. Jiménez por sus valiosas observaciones sobre el manuscrito. Esta publicación es posible gracias al apoyo de la DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) a MK, así como de la oficina de intercambio estudiantil de Alemania (Deutscher Akademischer Austauschdienst) y el programa Russell E. Train - Education for Nature de la WWF a RS.

Referencias

- Barrington, D.S. 1993. Ecological and historical factors in fern biogeography. *Journal of Biogeography* 20: 275-280.
- Churchill, S. 2003. Briofitas. Pp. 96-99. En P. L. Ibsch & G. Mérida (Eds.). *Biodiversidad: La Riqueza de Bolivia*. Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra.
- Freitag, S., C. Hobson, H. C. Biggs & A. S. Van Jaarsveld. 1998. Testing for potential surveys bias: the effect of roads, or urban areas and nature reserves on a southern African mammal data set. *Animal conservation* 1: 119-127.
- Gentry, A. H. 1988. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Annals of Missouri Botanical Garden* 75: 1-34.
- Gentry, A. H. 1995. Patterns of biodiversity and floristic composition in neotropical montane forest. pp. 103-106. En: Churchill, S. P., H. Balslev, E. Forero & L. Luteyn (eds). *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forest*, The New York Botanical Garden, Nueva York.
- Gonzales, L. & S. Reichle. 2003. Reptiles Pp: 141-145. En P. L. Ibsch & G. Merida (eds.). *Biodiversidad: La Riqueza de Bolivia*. Editorial FAN, Santa Cruz.
- Gurung, V.D.L. 1985. Ecological observations on the pteridophyte flora of Langtang National Park, Central Nepal. *Fern Gaz.* 13: 25-32.
- Herzog, S. K., R. Soria Auza & A. B. Hennessey. 2005. Patrones ecoregionales de riqueza, endemismo y amenaza de la avifauna boliviana: prioridades para la planificación ecorregional. *Ecología en Bolivia* 40 (2): 27-40.
- Ibsch, P. L. & G. Mérida (eds.) 2003. *Biodiversidad: La riqueza de Bolivia*. Estado de conocimiento y conservación. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN, Santa Cruz. 638 p.
- Kessler, M. 2001. Pteridophyte species richness in Andean forest in Bolivia. *Biodiversity and Conservation* 10: 1473-1495.
- Kessler, M. 2002. Range size and its ecological correlates among the pteridophytes of Carrasco National Park, Bolivia. *Global Ecology and Biogeography* 11: 89-102.
- Kessler, M. 2003. Helechos. Pp. 100-103. En P. L. Ibsch & G. Mérida (eds.). *Biodiversidad: La Riqueza de Bolivia*. Editorial FAN, Santa Cruz.
- Kessler, M., B.S. Parris & E. Kessler. 2001. A comparison of the tropical montane pteridophyte floras of mount Kinabalu, Borneo, and Parque Nacional Carrasco,

- Bolivia. *Journal of Biogeography* 28: 611-622.
- Kluge, J., M. Kessler & R. Dunn. 2006. What drives elevational patterns of diversity? A test of geometric constraints, climate, and species pool effects for pteridophytes on an elevational gradient in Costa Rica. *Global Ecology and Biogeography* 15: 358-371.
- Krömer, T., M. Kessler, S.R. Gradstein & A. Acebey. 2005. Diversity patterns of vascular epiphytes along an elevational gradient in the Andes. *Journal of Biogeography* 32: 1799-1810.
- León, B., N. Pitman & J. Roque. 2006. Introducción a las plantas endémicas del Perú. Pp. 9-22. En B. León, J. Roque, C. Ulloa Ulloa, N. Pitman, P. M. Jorgensen & A. Cano (Eds.). *El Libro Rojo de las Plantas Endémicas del Perú / Revista Peruana de biología, número especial*: 13: 9-22.
- Libermann, D., M. Libermann, R. Peralta & G. S. Hartshorn. 1996. Tropical forest structure and composition on a large scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology* 84: 137-152.
- Müller, R., C. Nowicki, W. Barthlott & P. L. Ibisch. 2003. Biodiversity and endemism mapping as a tool for regional conservation planning – case study of the Pleurothallidinae (Orchidaceae) of an Andean rain forest in Bolivia. *Biodiversity and Conservation* 12: 2005-2024.
- Moran, R.C. & R. Riba. 1995. *Flora Mesoamericana*. Vol. 1. Psilotaceae a Salviniaceae. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 470 p.
- Nelson, B. W., C. A. Ferreira, M. F. Da Silva & M. L. Kawasaki. 1990. Refugia, endemism centres and botanical collection density in Brazilian Amazonia. *Nature* 345: 714-716.
- Olson, D.M., E. Dinerstein, E. D. Wikramanayake, D. N. Burgess, G. V. N. Powell, E. C. Underwood, J. A. D'Amico, I. Itoua, H. E. Strand, J. C. Morrison, C. J. Loucks, T. F. Allmutt, T.H. Ricketts, Y. Kura, J. F. Lamoreoux, W. W. Wettengel, P. Hedao & K. R. Kassen. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of the life on Earth. *BioScience* 51: 933-938.
- Pitman, N. 2000. Resumen de las categorías y criterios de la UICN. Pp. 5-14. En: Valencia, R., N. Pitman, S. León-Yáñez & P. M. Jørgensen (eds.). *Libro Rojo de las Plantas Endémicas del Ecuador*. Publicaciones del herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Ponce, M., K. Mehlreter & E. R. de la Sota. 2002. Análisis biogeográfico de la diversidad pteridofítica en Argentina y Chile continental. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 703-717.
- Reichle, S. 2003. Anfíbios. Pp. 133-137. En: P. L. Ibisch & G. Mérida (eds.). *Biodiversidad: La Riqueza de Bolivia*. Editorial FAN, Santa Cruz.
- Reddy, S & L. M. Dávalos. 2003. Geographical sampling bias and its implications for conservation priorities in Africa. *Journal of Biogeography* 30: 1719-1727.
- Schroeder, J. H., C. Galbiati, C. R. Ribas, T. G. Sobrinho, C. F. Sperber, O. DeSouza & C. Lopez-Andrade. 2004. Should we use proportional sampling for species-area studies? *Journal of Biogeography* 31: 1219-1226.
- Sokal, R. R. & F. J. Rolf. 1995. *Biometry*. Freeman and Company, Nueva York. 419.
- Stoms, D. M., F. W. Davis & C. B. Cogan. 1992. Sensitivity of wildlife habitat models to uncertainties in GIS data. *Photogr. Eng. Rem. Sens.* 58: 843-850.
- UICN 2001. website: <http://intranet.iucn.org/webfiles/doc/SSC/RedList/redlistcatspanish.pdf>
- Valencia, R, Pitman N., León-Yáñez S. & P. M. Jørgensen (eds.). 2000. *El libro rojo de las plantas endémicas de Ecuador*. Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Quito. 489 p.

Van der Werff, H. 1990. Pteridophytes as indicators of vegetation types in the Galapagos Archipelago. *Monographs of Systematic Botany of the Missouri Botanical Garden* 32: 79-92.

Vásquez, R. & P. Ibisch (eds.) 2000. *Orquídeas de Bolivia/Orchids of Bolivia. Diversidad y estado de conservación/Diversity and conservation status. Vol. 1: Pleurothallidinae*. Editorial FAN, Santa Cruz. 565 p.

Vásquez, R. & P. Ibisch (eds.) 2004. *Orquídeas de Bolivia/Orchids of Bolivia. Diversidad y estado de conservación/diversity and conservation status. Vol. 2: Laeliinae, Polystachinae, Sobraliinae con actualización y complementación de/ with update and complementation of Pleurothallidinae*. Editorial FAN, Santa Cruz. 629 p.

Artículo recibido en: Marzo de 2007.

Manejado por: Blanca León.

Aceptado en: Agosto de 2007.