

REEVALUACIÓN DEL RIESGO DE EXTINCIÓN DE CINCO ESPECIES DEL GÉNERO *POLIANTHES* L. (AGAVACEAE)

TERESA PATRICIA FERIA-ARROYO^{1,2}, ELOY SOLANO² Y ABISAÍ GARCÍA-MENDOZA³

¹University of Texas-Pan American, Department of Biology,
Laboratory of Landscape Ecology, 1201 W. University Drive,
Edinburg, TX 78541 USA. tpferia@utpa.edu

²Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores
Zaragoza, Unidad de Investigación en Sistemática Vegetal y Suelo, Herbario
FEZA, Apdo. postal 9-020, 09230 Iztapalapa, México.

³Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Jardín
Botánico, Apdo. postal 70-614, Coyoacán 04510 México, D.F., México.

RESUMEN

Con base en el método de evaluación del riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER), se redefinió el de *Polianthes densiflora*, *P. howardii*, *P. longiflora*, *P. palustris* y *P. platyphylla*. Estas cinco plantas se encuentran listadas en la categoría de protección especial en la Norma Oficial Mexicana y fueron catalogadas como raras por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). El criterio A del MER (amplitud de la distribución geográfica) se estimó mediante tres métodos: área ocupada, extensión del área ocupada y mapas obtenidos a partir de modelos de distribución. Los criterios B (condición del hábitat natural) y D (impacto humano) fueron evaluados con base en el mapa de Influencia Humana de Sanderson et al., el cual asigna valores entre 0 y 100, en donde 0-10 indica áreas conservadas y 100 la total destrucción del hábitat. El criterio C (vulnerabilidad intrínseca), se asignó en función de la naturaleza geófila de las especies. Los resultados obtenidos sugieren que *Polianthes densiflora* y *P. howardii* están en peligro de extinción, *P. longiflora* y *P. platyphylla* se encuentran amenazadas y *P. palustris* está probablemente extinta. Ninguna de las cinco plantas se ha registrado en alguna Área Natural Protegida. Se proponen estrategias de conservación in situ y ex situ para las especies estudiadas, así como el desarrollo de programas de uso sustentable para *P. longiflora* y *P. platyphylla*, que podrían ser cultivadas y domesticadas mediante la propagación vegetativa.

Palabras clave: Agavaceae, conservación, extinción, *Polianthes*.

ABSTRACT

We reassessed the extinction risk of the species *Polianthes densiflora*, *P. howardii*, *P. longiflora*, *P. palustris* and *P. platyphylla* by applying the MER (method of evaluation of extinction risk of wild species for Mexico). These species are listed as rare by the International Union for Conservation of Nature (IUCN) and are considered to be in the category of special protection according to Mexican regulation. MER criterion A (geographic distribution) was assessed with three methods: area of occupancy, extent of occurrence, and species distribution models. Criteria B (habitat conditions) and D (impact of human activity) were examined by superimposing the human footprint map of Sanderson et al., where values range from 0 to 100. In this map, 0-10 denote pristine areas and 100 indicates that the habitat has been completely transformed. Criterion C (intrinsic biological vulnerability) was assigned based on the geophytic nature of the species. According to our findings, *Polianthes densiflora* and *P. longiflora* are in danger of extinction, while *P. howardii* and *P. platyphylla* are endangered and *P. palustris* is likely extinct. None of the five species concerned occur in any Natural Protected Area. We propose in situ and ex situ strategies to maintain these species as well as the development of programs of sustainable use for *Polianthes longiflora* and *P. platyphylla*. These species could be cultivated and domesticated by means of vegetative propagation.

Key words: Agavaceae, conservation, extinction, *Polianthes*.

INTRODUCCIÓN

El género *Polianthes* pertenece a la familia Agavaceae, es endémico de México y está conformado por 14 especies, tres variedades y dos cultivares (Solano, 2000). Este taxon, como muchos otros de distribución restringida, es sensible a las perturbaciones de su hábitat natural y en consecuencia es vulnerable a la extinción. Varios de los representantes del género son importantes a nivel científico, cultural y económico. En tal contexto, desde tiempos prehispánicos, *Polianthes tuberosa* ha sido utilizada con fines medicinales, ornamentales y ceremoniales (Solano y Feria, 2007). La transformación del hábitat es uno de los principales factores que afectan a las poblaciones silvestres (García-Mendoza, 1995, 2004). A la fecha existen pocos estudios que evalúen las categorías de su vulnerabilidad (Solano y Feria, 2007). Por ejemplo, a nivel internacional, ninguna se encuentra en la lista de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en Inglés) (Anónimo, 2001). En México, cinco especies de *Polianthes* (*P. densiflora*, *P. howardii*, *P. longiflora*, *P. palustris* y *P. platyphylla*) se hallan incluidas en la categoría de protección especial en la Norma Oficial Mexicana (Anónimo, 2002) y estaban

catalogadas como raras por la IUCN (Oldfield, 1997); término que ya no es utilizado; sin embargo, como se mencionó previamente no se incluyen en el listado actual de especies amenazadas de esta organización. La rareza es una categoría natural de distribución o abundancia del taxon y no necesariamente indica riesgo de extinción; por esta razón, la Norma Oficial Mexicana no usa este término. No obstante, tal concepto (p.e., en especies de área restringida o poco comunes localmente) puede considerarse como un factor importante para evaluar el estatus de conservación de las especies (Anónimo, 2002).

La transformación de los hábitats naturales se debe principalmente a las actividades agrícolas y ganaderas, lo que hace indispensable la continua revisión del estatus de conservación de las especies. Son precisamente estas modificaciones del hábitat las que ponen en grave peligro a poblaciones de geófitas como las del género *Polianthes*, pues sus cormos y bulbos son vulnerables al pisoteo por el ganado y a las labores culturales (Carter, 1997). Estas plantas permanecen vivas durante las estaciones adversas, gracias a sus órganos de reserva subterráneos, entre ellos, cormos, bulbos, tubérculos y rizomas. La parte aérea se seca durante el estiaje y el invierno, pero el vegetal persiste en función de estos órganos, en los cuales se almacenan agua y sustancias nutritivas. El pastoreo, la erosión del suelo y las labores culturales, a menudo destruyen o provocan daños a estas estructuras y colocan a estos organismos en alguna categoría de riesgo (Carter, 1997). Por otro lado geófitas como, *Manfreda scabra*, *M. pringlei*, *Polianthes bicolor*, *P. geminiflora* y *P. mexicana* (*Prochnyanthes mexicana*), son favorecidas por alteraciones del hábitat, como construcción de vías de comunicación, deforestación e incendios forestales.

De acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Anónimo, 2002), la inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo debe hacerse con base en el Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER). Asimismo, la normatividad mexicana establece que es necesario actualizar periódicamente la información acerca de las poblaciones. No obstante, si las estimaciones del riesgo de extinción no se traducen en acciones que efectivamente conserven a los taxones, se pierde el objetivo del ejercicio (Whitten et al., 2001). Al menos 70% de los trabajos que se publican sobre este tema tienen poca o nula repercusión. Son escasos aquellos que después de evaluar el estatus de conservación se traducen en programas que realmente protejan la naturaleza (Knight et al., 2008). El problema se agudiza si consideramos que el tiempo entre la publicación de una propuesta para la conservación y su ejecución puede ser de varios años (Knight et al., 2008). En tal contexto, es importante incluir tanto a investigadores y conservacionistas, así como a los pobladores que habitan las áreas en las que viven las plantas en cuestión (p.e.,

Vovides e Iglesias, 1994), además, de los políticos encargados de asignar los recursos para lograr los objetivos planteados (Knight et al., 2008). En este artículo se reevaluó el estatus de conservación de las cinco especies de *Polianthes* listadas en la Norma Oficial Mexicana con base en el MER y se proponen estrategias para su conservación in situ y ex situ, así como para el manejo sustentable de algunas de ellas.

MÉTODOS

Fuentes de información. Se revisó el material de los siguientes herbarios: ENCB, FEZA, GUADA, IBUG, IEB, MEXU, MICH, NY, RSA, UAMIZ, US y las bases de datos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) y de World International Network REMIB (<http://www.conabio.gob.mx/remib/remib.html>). Con esta información, se elaboró una base de datos con 94 registros para las cinco especies de *Polianthes* analizadas (Cuadro 1). Además, se realizó trabajo de campo de 1994 a 2006 en áreas donde se distribuyen estas plantas (Fig. 1). Se ubicaron todas las localidades de ejemplares históricos que carecían de coordenadas geográficas, con mapas topográficos escala 1: 50,000. El análisis cartográfico se hizo con ArcView 3.2.

Evaluación del riesgo de extinción. Las categorías asignadas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Anónimo, 2002) para las cinco especies del género *Polianthes* se reevaluaron de acuerdo con los cuatro criterios del MER: A) amplitud de la distribución del taxon en México, B) estado del hábitat con respecto al desarrollo natural, (C) vulnerabilidad biológica intrínseca y D) impacto de la actividad humana (Anónimo, 2002). Cada uno de estos elementos de juicio es independiente, tienen valores numéricos del 1 al 4, en orden ascendente de riesgo, la sumatoria de ellos determina la categoría. Por lo tanto, una especie o población cuya suma total se sitúe entre 12 y 14 puntos es considerada En Peligro de Extinción (P) y entre 10 y 11 como Amenazada (A) (www.ine.gob.mx).

Criterio A. Amplitud de la distribución del taxon en México. Se consideran cuatro niveles: 1) muy restringida, cuando el área cubre menos de 5% del territorio nacional (4 puntos); 2) restringida, si abarca entre 5 y 15% (3 puntos); 3) medianamente restringida o amplia, cuando la repartición incluye más de 15%, pero menos de 40% (2 puntos) y 4) muy amplia, si es igual o mayor que 40% de la extensión referida (1 punto). El área de distribución de las especies evaluadas se obtuvo de Solano y Feria (2007), quienes la estimaron con tres métodos: área ocupada (es el área más pequeña,

Cuadro 1. Especies del género *Polianthes* cuyo estatus de conservación fue reevaluado y su distribución geográfica estimada con tres métodos diferentes (reproducido de Solano y Feria, 2007).

Especie	AO ¹ (km ²)	SM ² (%)	EAO ³ (km ²)	SM ² (%)	DP ⁴ (km ²)	SM ² (%)
<i>Polianthes densiflora</i> (B. L. Rob. & Fernald) Shimmers	5	0.0003	3616.38	0.1841	1462	0.0744
<i>P. howardii</i> Verh.-Willl.	7	0.0004	1235.6	0.0629	187	0.0095
<i>P. longiflora</i> Rose	31	0.0016	29138.4	1.4833	15303	0.7790
<i>P. palustris</i> Rose	1	0.0001	-	-		0.0000
<i>P. platyphylla</i> Rose	29	0.0015	38576.9	1.9638	43021	2.1901

¹ Área ocupada, estimada superponiendo una cuadrícula de 1 x 1 km.

² Porcentaje del territorio mexicano que ocupa el taxon, con base en una superficie de 1 964 375 km² (www.inegi.gob.mx).

³ Extensión del área ocupada.

⁴ Área de distribución potencial estimada modelando el nicho ecológico de la especie con un algoritmo genético y editado (recortado) en función de las provincias biogeográficas, subcuencas y uso del suelo y vegetación.

esencial para la supervivencia de las poblaciones existentes de un taxon, cualquiera que sea su etapa de desarrollo (Anónimo, 2001)); extensión del área ocupada (área contenida dentro de los límites imaginarios continuos más cortos que pueden dibujarse para incluir todos los sitios conocidos, inferidos o proyectados, en los que un taxon se halle presente (Anónimo, 2001)) y; área potencial de distribución (área probable de distribución que presenta las condiciones del hábitat conocido para la especie).

Criterios B y D. El estado del hábitat con respecto al desarrollo natural de la especie (criterio B) está por lo general relacionado con el impacto de las actividades del hombre sobre la misma (criterio D) (Olson et al., 2005); de este modo, ambos se sometieron a un análisis cuantitativo y cualitativo. El primero se realizó superponiendo el mapa de influencia humana de Sanderson et al. (2002), el cual fue diseñado a una resolución de 1 km x 1 km y es producto de la sumatoria que considera la densidad poblacional, uso del suelo y vegetación, accesibilidad (p.e., presencia de carreteras) e infraestructura eléctrica, que se representa como un índice, con valores de 0 a 100, los de 0-10 denotan áreas intactas, mientras que mayores de 10, presentan algún tipo de alteración (Sanderson et al., 2002). Con base en este índice, las escalas de riesgo para el criterio B fueron: ≥ 50 = hostil o muy limitante (3 puntos), 25-49 = intermedio o

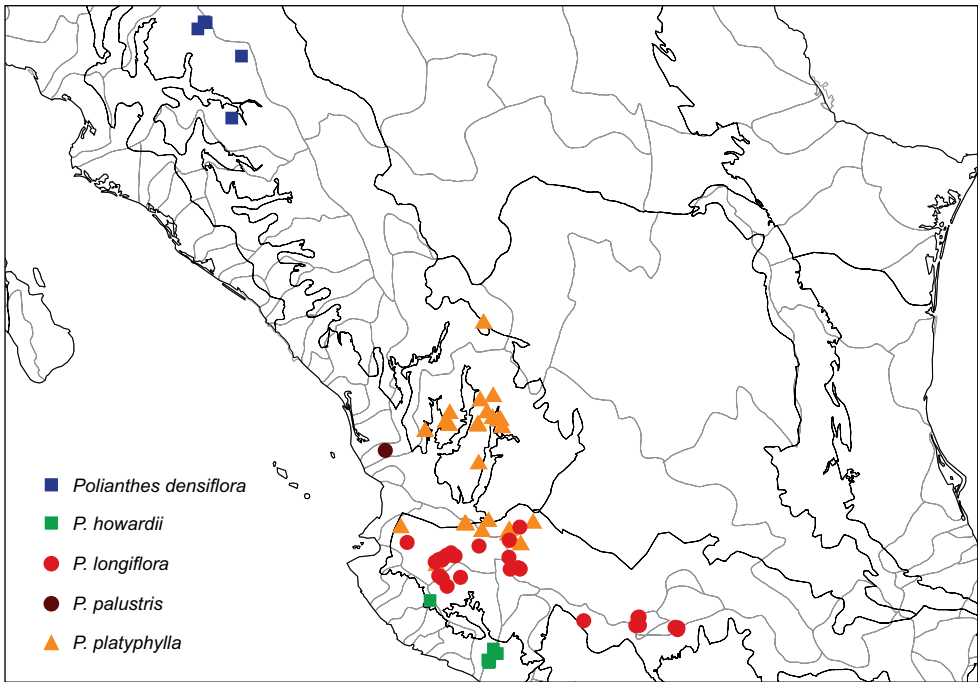


Fig. 1. Localidades en donde se han recolectado las cinco especies de *Polianthes* analizadas.

limitante (2 puntos) y 0-25 = propicio o poco limitante (1 punto). Los parámetros para el criterio D fueron: ≥ 50 = impacto alto (4 puntos), 25-49 = medio (3) y 0-25 = bajo (2). El análisis cualitativo se realizó a partir de los datos contenidos en las etiquetas de herbario. Para establecer el grado de transformación de los hábitats naturales en donde han sido recolectadas las especies, primero se determinó el tipo de vegetación original superponiendo las localidades históricas de recolecta con el mapa de vegetación potencial desarrollado por Rzedowski (1990) y posteriormente con el de Uso del Suelo y Vegetación (USV) (www.conabio.gob.mx). Finalmente, para determinar si las especies se encuentran en algún área natural protegida o de gran importancia biológica, se sobrepusieron los mapas de las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) (Arriaga et al., 2000) y el de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) (Anónimo, 1999). El primero representa zonas con biodiversidad y nivel de amenazas altas, que por lo tanto, pueden ser elegidas para fines de conservación, sin embargo, actualmente carecen de un decreto nacional de protección. El segundo muestra las áreas que cuentan con la mencionada sanción legal para su protección.

Criterio C. La vulnerabilidad biológica intrínseca del taxon se refiere al “conjunto de factores relacionados con la historia o la forma de vida propios del taxon, que lo hacen vulnerable”. Los ejemplos de tales elementos pueden ser: “estrategia reproductiva, parámetros demográficos más relevantes, historia de vida, fenología, intervalos de tolerancia, parámetros fisicoquímicos, aspectos alimentarios, variabilidad genética, grado de especialización, tasa de reclutamiento, efecto nodriza, entre otros”. En este criterio se consideran tres aspectos: 1) vulnerabilidad alta (3 puntos), 2) vulnerabilidad media (2 puntos) y 3) vulnerabilidad baja (1 punto). Los valores correspondientes se determinaron con base en características intrínsecas de las especies, relacionadas con la transformación de sus hábitats naturales: son geófitas y según Verhoek (1998), por presentar frutos capsulares y dehiscentes, con semillas ligeras, aplanadas, alas cortas y poco endospermo, se considera que son dispersadas principalmente por el viento. Arizaga y Ezcurra (2002) citan el mismo síndrome para *Agave macroacantha*, cuyas características morfológicas son similares a las de *Polianthes*.

RESULTADOS

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana, las categorías de riesgo de extinción de las especies reevaluadas en este trabajo son: 1) en peligro de extinción: *Polianthes densiflora* y *P. howardii*, 2) amenazadas: *P. longiflora* y *P. platyphylla* y 3) probablemente extinta: *P. palustris* (Cuadro 2).

Polianthes densiflora (Fig. 2A) tiene una distribución muy restringida (Cuadro 1). Se encuentra únicamente en la subcuenca Río Fuerte en la provincia biogeográfica Sierra Madre Occidental. Esta especie crece en rocas volcánicas, donde se acumula materia orgánica y suelo. Los especímenes fueron recolectados desde el año 1892 hasta 2006, principalmente en bosque de pino-encino, que concuerda con los datos del mapa de vegetación potencial de Rzedowski (1990). Sin embargo, el de USV muestra una transformación hacia pastizales inducidos y áreas de agricultura. Este tipo de vegetación tiene una tasa anual de alteración de 0.25% (Mas et al., 2004), con áreas muy perturbadas en la Sierra Madre Occidental, provincia en donde se distribuye esta especie. El mapa de influencia humana de Sanderson et al. (2002) presenta valores que van de 26 a 65 (impacto alto), lo cual indica que las condiciones de los sitios donde se distribuye son limitantes a hostiles. En algunas áreas semi-urbanas, los cormos y bulbos de *P. densiflora*, son forrajeados por cerdos, lo cual pone en grave riesgo su supervivencia. Algunos individuos se encontraron en los

Cuadro 2. Categorías de riesgo de extinción para cinco especies del género *Polianthes* definidas con base en el Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de Especies Silvestres (MER) (Los valores de los rubros para cada uno de los criterios se encuentran entre paréntesis). Criterios: A = distribución geográfica en México: 4 = muy restringida (<0.5% del territorio mexicano); B = condiciones del hábitat: 3 = altamente limitante u hostil; 2 = intermedio o limitante; 1 = favorable o poco limitante; C = vulnerabilidad biológica intrínseca: 3 = alta; 2 = media; 1 = baja. D = impacto de la actividad humana: 4 = alta ; 3 = media; 2 = baja. Suma total entre 12 y 14 = en peligro de extinción (P); de 10 a 11 amenazada (A). EX = probablemente extinta.

Especie	Criterios				Suma total	Estatus de conservación
	A	B	C	D		
<i>Polianthes densiflora</i>	4	3	3	4	14	P
<i>P. howardii</i>	4	2	3	4	13	P
<i>P. longiflora</i>	4	2	2	3	11	A
<i>P. palustris</i>	4	3	3	4	14	EX
<i>P. platyphylla</i>	4	2	2	3	11	A

límites de la RTP Alta Tarahumara-Barrancas, cerca de áreas urbanas, sin embargo, no se han registrado en ninguna ANP.

Polianthes howardii (Fig. 2B) tiene una distribución muy restringida (Cuadro 1); se circunscribe a tres subcuencas (Río Armería, Río Coahuayana y Río San Nicolás-Cuitzamala) en las provincias biogeográficas Costa Pacífica Mexicana y Eje Neovolcánico Transmexicano. Sin embargo, la mayoría de los especímenes han sido colectados en la intersección de las subcuencas Río Armería y Río Coahuayana; solamente un individuo procede de Río San Nicolás-Cuitzamala. Para esta última área el mapa de USV muestra una transformación total a pastizales inducidos y se considera que la población que existía en esta zona puede estar extinta; situación que debe apoyarse en trabajo de campo. De acuerdo con la información de las etiquetas de herbario, los especímenes fueron recolectados entre 1972 y 2006, principalmente en bosque tropical caducifolio; estos datos concuerdan con la información de vegetación potencial de Rzedowski (1990). Un par de ejemplares se obtuvieron en laderas yesosas. El mapa de USV muestra una transformación del bosque tropical caducifolio a pastizal inducido, áreas de agricultura y zonas urbanas. Sanderson et al. (2002) presenta valores que van de 30 a 60, indicativo de un impacto alto, y condiciones limitantes a hostiles para la distribución de la especie. Ningún individuo ha sido encontrado en alguna RTP o ANP. La mayoría



Fig. 2. A. *Polianthes densiflora* (B. L. Rob. & Fernald) Shinnery (Foto: E. Solano C.); B. *P. howardii* Verh.-Will. (Foto: C. Castillejos); C. *P. longiflora* Rose (Foto: E. Solano C.); D. *P. platyphylla* Rose (Foto: A. Rodríguez C.)

de los registros históricos se localizan cerca de las zonas urbanas adyacentes a la ciudad de Colima, Colima.

Polianthes longiflora (Fig. 2C) tiene distribución muy restringida (Cuadro 1). Se encuentra en 10 subcuencas en la provincia biogeográfica Eje Neovolcánico Transmexicano. De acuerdo con la información de herbario, los especímenes fueron recolectados desde 1901 hasta 2001, principalmente en bosque de pino-encino, bosque tropical caducifolio, pastizales y zonas inundadas durante la época de lluvia. Rzedowski (1990), menciona bosque de pino-encino y tropical caducifolio. El mapa de USV muestra una transformación a pastizales inducidos, áreas de agricultura y zonas urbanas. En México, los bosques templados tienen una tasa de transformación anual de 0.25% y el tropical caducifolio de 0.76% (Mas et al., 2004). La influencia humana presenta valores de 18 a 70, por lo tanto, las áreas de distribución de la especie son limitantes a hostiles, con un impacto medio a alto. Esta especie crece en la RTP Cerro Viejo-Sierras de Chapala, sin embargo, la zona está rodeada por diferentes asentamientos humanos del municipio de Jocotepec, Jalisco. Ningún individuo ha sido registrado de alguna ANP. En toda su área de distribución *P. longiflora* ha sido extensivamente explotada como ornamental, ceremonial y medicinal. En este último caso para curar la bronquitis y calmar el dolor reumático (Solano, 2000). No existe un programa de uso sustentable de la especie.

Polianthes palustris (Fig. 3) se conoce únicamente de la localidad tipo, en la subcuenca Río San Pedro, provincia biogeográfica Costa Pacífica Mexicana. El espécimen fue recolectado en 1897 (*J.N. Rose 1943*). De acuerdo con los datos de la etiqueta del holotipo, crecía “in swamps on the western foothills of the Sierra Madre, between Acaponeta and Pedro Paulo, territorio de Tepic”. En la actualidad son suelos inundados durante la época de lluvia convertidos en potreros. Según Rzedowski (1990), la vegetación potencial en el área de recolecta fue un bosque tropical caducifolio. La cartografía de USV muestra parcelas de agricultura y zonas urbanas. El bosque tropical caducifolio en México tiene una tasa de transformación anual de 0.76% (Mas et al. 2004) y es considerado de los más amenazados del mundo (Miles et al., 2006). La influencia humana presenta valores de 36 a 76, que indica un ambiente hostil, de impacto alto. A pesar de una extensiva búsqueda en el campo durante varios años, la planta no ha sido recolectada nuevamente (Solano, 2000).

Polianthes platyphylla (Fig. 2D) tiene una distribución restringida (Cuadro 1). Se localiza en ocho subcuencas (Ríos Ameca-Atenguillo, Ameca-Ixtapa, Bolaños, Huaynamota, Juchipila, San Pedro, Santiago-Guadalajara y Santiago-Aguamilpa), sin embargo, varios especímenes han sido recolectados en las intersecciones de éstas (p.e., Ríos Juchipila, Santiago-Guadalajara y Santiago-Aguamilpa). La especie se registra

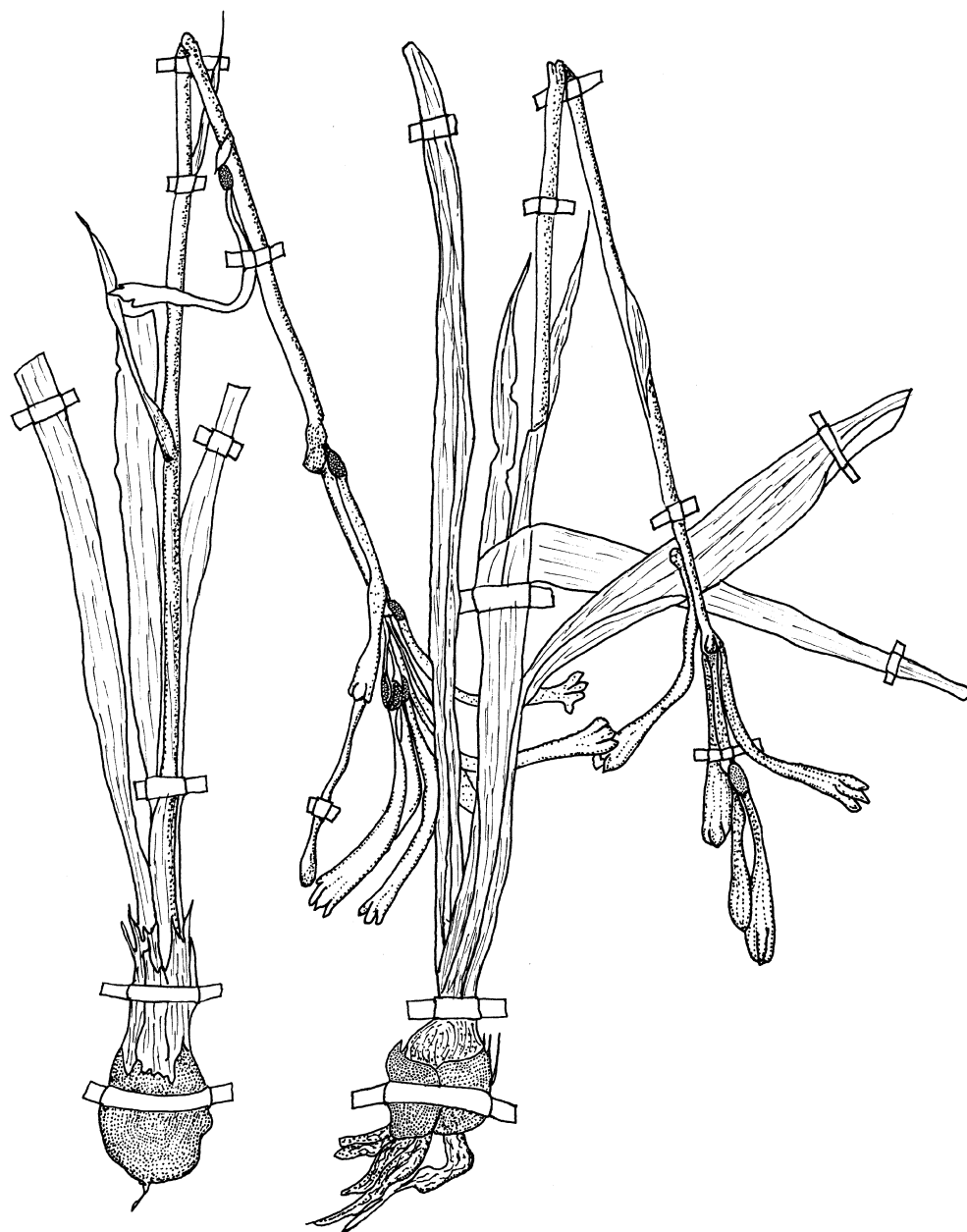


Fig. 3. *Polianthes palustris* Rose (Ilustración: C. Castillejos, dibujada del tipo nomenclatural, J. N. Rose 1943).

en cuatro provincias biogeográficas: Altiplanicie, Costa Pacífica Mexicana, Eje Neovolcánico Transmexicano y Sierra Madre Occidental. De acuerdo con los datos de herbario, los ejemplares fueron cosechados entre los años 1897 a 2005, principalmente en bosque de pino y encino. Rzedowski (1990) muestra una vegetación original en el área de bosque de pino-encino, bosque tropical caducifolio y subcaducifolio. La cartografía de USV indica una transformación de estos bosques a pastizales inducidos, áreas de agricultura y zonas urbanas. El mapa de influencia humana presenta valores que van de 16 a 93. Los ambientes son poco limitantes a hostiles con impacto bajo a alto. Sin embargo, varias de las localidades de donde la planta se ha registrado históricamente se encuentran cerca de Guadalajara, Jalisco y Sombrerete, Zacatecas, zonas con influjo antropógeno muy grande (> 90). Algunos individuos han sido recolectados en los límites con las RTPs Sierra del Río Jesús-María, Sierra los Huicholes y Sierra Vallejo-Río Ameca, pero no se han registrado de ninguna de ellas o de alguna ANP. *Polianthes platyphylla* se ha explotado extensivamente con fines ornamentales, sin embargo, no existe un plan de uso sustentable.

DISCUSIÓN

Distribución geográfica. La estimación de este aspecto es uno de los criterios más frecuentemente usados para evaluar el estatus de conservación (Gaston, 2003) y los datos de herbario han mostrado ser particularmente útiles para estos fines (Willis et al., 2003). A pesar de que el MER no especifica un método particular para definir las áreas de distribución geográfica de las especies, la apreciación de la superficie ocupada, extensión de la misma y los mapas de distribución potencial pueden ser utilizados para tal propósito. Generalmente la primera tiende a subestimar, mientras que la segunda propende a sobreestimar el área de ocupación real. Por lo tanto, el uso de los mapas de distribución potencial calculados mediante el modelaje del nicho ecológico pueden ser más objetivos (Solano y Feria, 2007). En este caso, los tres métodos mostraron que las especies tienen distribuciones muy restringidas, pues ocupan menos de 5% del territorio nacional. La mayoría de ellas crece en bosques de pino, encino, pino-encino y bosque tropical caducifolio, en una o en varias provincias biogeográficas o subcuencas.

Condiciones del hábitat e influencia humana. Las distribuciones restringidas, unidas a los impactos en los ambientes naturales causados por actividades antropogénicas como el establecimiento de núcleos humanos, cambio de uso del suelo,

explotación, especies introducidas y enfermedades (Soulé, 1991; Forester y Machlis, 1996), han sido factores determinantes en la disminución de poblaciones silvestres y extinciones en todo el mundo (Wilcove et al., 1998). Tal influencia ha contribuido probablemente a la extinción de *Polianthes palustris*, cuyo hábitat principal fueron los suelos inundados durante la época de lluvia en el ambiente general del bosque tropical caducifolio.

En general, la mayoría de las especies analizadas se distribuye en el Eje Neovolcánico Transmexicano y Sierra Madre Occidental, en donde se han registrado altas tasas de transformación de sus hábitats naturales (Mas et al., 2004). Adicionalmente, algunas de ellas (p.e., *P. longiflora*) están siendo sobreexplotadas y en el caso particular de *P. densiflora* las plantas son consumidas por cerdos, factores que colocan en alto riesgo a sus poblaciones.

Vulnerabilidad biológica intrínseca. Las especies microendémicas tienen poblaciones reducidas y poca capacidad de dispersión comparadas con sus contrapartes de repartición amplia (Beissinger, 2000). Los cinco representantes de *Polianthes* aquí analizados tienen distribuciones muy restringidas y presentan poblaciones pequeñas (Solano, obs. pers.), además, son geófitas y probablemente dispersadas por el viento, características que las hacen vulnerables a la extinción. Estas plantas desarrollan raíces contráctiles que no permiten al meristemo apical emerger a la superficie durante el invierno o la estación de sequía, protegiendo al bulbo de su destrucción durante las condiciones ambientales adversas. El pastoreo, las prácticas agrícolas y la erosión del suelo, son los factores principales que afectan a los bulbos y cormos, incrementando así los peligros de mortalidad de sus poblaciones. Algunos estudios han demostrado que el riesgo de extinción de las geófitas crece en las cercanías de áreas urbanas y semi-urbanas (Williams et al., 2005). Además del pastoreo extensivo y la transformación de la cobertura vegetal, los períodos de sequía pueden afectar severamente la supervivencia de sus poblaciones, pues la escasa precipitación inhibe el desarrollo de las partes aéreas de la planta.

Medidas para la conservación. Al plantear medidas de conservación es indispensable meditar sobre cuáles son las alternativas para realizar la misma (Maxted et al., 1997). Entre las estrategias frecuentemente mencionadas están las prácticas in situ y ex situ, ambas con ventajas y desventajas, por lo cual, su aplicación conjunta puede asegurar un mayor éxito para preservar las especies. En este contexto, se proponen algunas políticas para la conservación de las plantas analizadas en este trabajo.

Conservación in situ: (1) decretar nuevas áreas naturales protegidas, (2) monitorear las poblaciones silvestres mediante estudios de genética y biología de poblaciones, (3) manejar de forma sustentable las especies que se utilizan con fines comerciales, ceremoniales, medicinales y ornamentales.

(1) La ausencia de las cinco especies analizadas en alguna ANP puede tener serias repercusiones en su supervivencia, pues se estima que en los trópicos para el año 2050, las plantas nativas no serán capaces de persistir en áreas que no estén designadas para la conservación (Soulé y Sanjayan, 1998). En algunos casos como en el de *Polianthes longiflora*, sería conveniente decretar como área natural protegida a la RTP Cerro Viejo-Sierras de Chapala para contribuir con su conservación.

(2) El monitoreo de las plantas silvestres a través de estudios genéticos y demográficos permitirán actualizar el estatus de riesgo e implementar mejores y más apropiadas medidas de conservación. Los análisis de la variación y estructura hereditaria, flujo de genes y efectos de botella, indican que poblaciones endémicas pequeñas, genéticamente poco diversas, son especialmente vulnerables a la extinción como consecuencia del cambio de uso del suelo, destrucción del hábitat y remoción de individuos (González-Astorga et al., 2005). Los estudios que permitan conocer la estructura alélica de las poblaciones son altamente recomendados, ya que con ellos se puede predecir si éstas podrán adaptarse a los cambios ambientales (González-Astorga et al., 2003). Los monitoreos de carácter demográfico en áreas con diferentes tipos de perturbación son particularmente importantes para asegurar el éxito del manejo de las especies a largo plazo (Octavio-Aguilar et al., 2008). En las comarcas sometidas a la protección, las poblaciones de las zonas núcleo versus las de amortiguamiento, requieren diferentes estrategias para su conservación. Estudios realizados con *Ceratozamia mirandae* (Zamiaceae) recomiendan monitorear los individuos adultos en edad reproductiva de las zonas núcleo, mientras que, en la de amortiguamiento es conveniente plantar individuos juveniles con el fin de estabilizar la población (Pérez-Ferrera et al., 2008).

(3) Convendría desarrollar programas de uso sustentable para *Polianthes longiflora* y *P. platyphylla*, especies que podrían ser cultivadas y domesticadas mediante la propagación vegetativa, como en el caso del nardo cultivado (*P. tuberosa* ‘Plena’) (Herrera, 1990). Noverón (2003) recomendó esta opción para *P. longiflora*, ya que por semilla el crecimiento y desarrollo de las plantas es muy lento. Estas técnicas pueden ser aplicadas por los campesinos de las comunidades donde crecen las especies. Por ejemplo, los pobladores de Jocotepec, Jalisco, podrían cultivar a *P. longiflora*, cuyas flores tienen demanda en los mercados locales, incluidos los de la ciudad de Guadalajara. Ejemplos prácticos con *Dioon edule*, han demostrado que

los campesinos muestran gran interés cuando se les persuade para participar en este tipo de proyectos (Vovides e Iglesias, 1994; Vovides et al., 2002).

Conservación ex situ: Existen diferentes formas de protección, entre las que destacan el almacenamiento de semillas y polen, cultivo de tejidos in vitro, extracción de ADN y el mantenimiento de individuos en jardines botánicos (Maxted et al., 1997). Los cuatro primeros requieren de costos y programas de mantenimiento que podrían llevarse a cabo en un mínimo número de instituciones (p.e., Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México). Algunas de estas técnicas, como el almacenamiento de polen, tienen la desventaja de que solamente se conserva el material genético masculino (Maxted et al., 1997). El mantenimiento de individuos de las distintas especies en jardines botánicos tiene la desventaja de que en ellos no está representada toda la variación genética de las poblaciones. Sin embargo, este tipo de estrategia ha mostrado ventajas en especies como *Dioon edule* (Vovides e Iglesias, 1994). Un caso bastante peculiar es el de *Ceratozamia euryphyllidia*, cuya población silvestre contaba con sólo 20 individuos en 1995. Dos años después, cuando se volvió a visitar el área, se postuló que la especie estaba aparentemente extinta, debido principalmente a la recolecta ilegal. Para entonces, las pocas plantas se encontraban sólo en cultivo. A partir de los organismos existentes en el Jardín Botánico “Francisco Javier Clavijero” se colectaron brotes de nuevas hojas y se manipularon con éxito en el laboratorio para regenerar plantas por medio de embriogénesis somática (Chávez et al., 1998). El ejemplo demuestra la importancia de contar con la representación de las especies en este tipo de instituciones, las cuales además de ser una fuente para desarrollar proyectos de investigación, permiten educar al público en general respecto a la importancia de conservar la naturaleza. Los jardines en los que recomendamos mantener a las especies estudiadas son: Jardín Botánico de Cactáceas y Suculentas de Tamaulipas, Jardín Botánico del Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas, San Luis Potosí; Jardín Botánico Rey Nezahualcoyotl, Aguascalientes; Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), entre otros. Actualmente se mantienen ex situ algunas de las especies del género *Polianthes* en el cactario de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Carlos Correa D. por su asistencia en el trabajo de campo, a los curadores de las siguientes colecciones: ENCB, FEZA, GUADA, IBUG, IEB, MEXU,

MICH, NY, RSA, UAMIZ, UAG y US, que permitieron la consulta de ejemplares. Carlos Castillejos C. y Aarón Rodríguez C., amablemente proporcionaron fotografías de algunas especies. La Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México otorgó la beca posdoctoral de T. P. Feria.

LITERATURA CITADA

- Anónimo. 1999. Áreas naturales protegidas en México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Mapa. México, D.F.
- Anónimo. 2001. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) red list categories and criteria: version 3.1. World Conservation Union Species Survival Commission, Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom. <http://app.iucn.org/webfiles/doc/SSC/RedList/redlistcatsenglish.pdf> (consultada en septiembre 2007).
- Anónimo. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, Segunda Sección. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. pp. 1-65.
- Anónimo. 2006. Guidelines for using the IUCN red list categories and criteria. Version 6.2. World Conservation Union, Biodiversity Assessments Sub-Committee. <http://app.iucn.org/webfiles/doc/SSC/RedList/RedListGuidelines.pdf>.
- Arizaga, S. y E. Ezcurra. 2002. Propagation mechanisms in *Agave macroacantha* (Agavaceae), a tropical arid-land succulent rosette. *Amer. J. Bot.* 89: 632-641
- Arriaga, L., J. M. Espinoza-Rodríguez, C. Aguilar-Zúñiga, E. Martínez-Romero, L. Gómez-Mendoza, E. Loa-Loza y J. Larson. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 609 pp.
- Beissinger, S. R. 2000. Ecological mechanisms of extinction. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 97: 11688-11689.
- Carter, S. 1997. Euphorbiaceae. In: Oldfield, S. (comp.). *Cactus and succulent plants. Status survey and conservation plan.* IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom. pp. 23-26.
- Chávez, V. M., R. E. Litz, M. Monroy, P. A. Moon y A. M. Vovides. 1998. Regeneration of *Ceratozamia euryphyllidia* (Cycadales, Gymnospermae) plants from embryogenic leaf cultures derived from mature-phase trees. *Plant Cell Reports* 17(8): 612-616.
- Forester, D. J. y G. E. Machlis. 1996. Modelling human factors that affect the loss of biodiversity. *Conserv. Biol.* 10: 1253-1263.
- García-Mendoza, A. 1995. Riqueza y endemismos de la familia Agavaceae en México. In: Linares, E., F. Chiang, R. Bye y T. S. Elías (eds.). *Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques.* Instituto de Biología, Jardín Botánico, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 51-75.

- García-Mendoza, A. 2004. Agaváceas. In: García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Foundation. México, D.F. pp. 159-169.
- Gaston, K. J. 2003. The structure and dynamics of geographic ranges. Oxford University Press. Oxford. 266 pp.
- González-Astorga, J., A. P. Vovides, M. M. Ferrer y C. Iglesias. 2003. Populations genetics of *Dioon edule* Lindl. (Zamiaceae, Cycadales): biogeographical and evolutionary implications. Biol. J. Linn. Soc. 80: 457-467.
- González-Astorga, J., A. P. Vovides, A. Cruz-Angon, P. Octavio-Aguilar y C. Iglesias. 2005. Allozyme variation in the extant populations of the narrowly endemic cycad *Dioon angustifolium* Miq. (Zamiaceae) from north eastern Mexico. Ann. Bot. 95: 999-1007.
- Herrera, B. V. H. 1990. El cultivo del nardo (*Polianthes tuberosa* L.) en el municipio de Emiliano Zapata, Mor. Tesis de licenciatura. Departamento de Fitotecnía, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 78 pp.
- Knight, A. T., R. M. Cowling, M. Rouget, A. Balmford, A. T. Lombard y B. M. Campbell. 2008. Knowing but not doing: selecting priority conservation areas and the research-implementation gap. Conserv. Biol. 22: 610-617.
- Mas, J. F., A. Velásquez, J. R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández y A. Pérez-Vega. 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide multivariate spatial database for Mexico. Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinform. 5: 249-261.
- Maxted, N., B. V. Ford-Lloyd y J. G. Hawkes. 1997. Plant genetic conservation. The in situ approach. Chapman & Hall, Londres. 446 pp.
- Miles, L., A. C. Newton, R. S. Defries, R. S. Rovingious, I. May, S. Blyth, V. Kapos y J. E. Gordon. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. J. Biogeogr. 33: 991-505.
- Noverón, M. L. 2003. Propagación vegetativa de *Polianthes longiflora* Rose (Agavaceae), bajo condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 48 pp.
- Octavio-Aguilar, P., J. González-Astorga y A. P. Vovides. 2008. Population dynamics of the Mexican cycad *Dioon edule* Lindl. (Zamiaceae): life history stages and management impact. Bot. J. Linn. Soc. 157: 381-391.
- Oldfield, S. 1997. Threatened succulents of Mexico. In: Oldfield, S. (comp.). Cactus and succulent plants. Status survey and conservation action plan. IUCN/SSC Cactus and Succulent Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom. pp. 189-190.
- Olson, M. E., J. A. Lomeli e I. Cacho. 2005. Extinction threat in the *Pedilanthus* clade (*Euphorbia*, Euphorbiaceae), with special reference to the recently rediscovered *E. konzattii* (*P. pulchellus*). Amer. J. Bot. 92: 634-641.
- Pérez-Ferrera, M., A. P. Vovides, P. Octavio-Aguilar, J. González-Astorga, J. de la Cruz-Rodríguez, R. Hernández-Jonapá y S. M. Villalobos-Méndez. 2006. Demography of the cycad *Ceratozamia mirandae* (Zamiaceae) under disturbed and undisturbed conditions in a biosphere reserve of Mexico. Plant Ecol. 187: 97-108.

- Rzedowski, J. 1990. Vegetación potencial. IV.8.2. Atlas Nacional de México. Vol 2. Escala 1: 4,000,000. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Sanderson, E. W., M. Jaiteh, A. M. Levy, K. H. Redford, A. V. Wannebo y G. Woolmer. 2002. The human footprint and the last of the wild. *BioScience* 52: 891-904.
- Solano, C. E. 2000. Sistemática del género *Polianthes* L. (Agavaceae). Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias, División de Estudios de Posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 291 pp.
- Solano, E. y T. P. Feria. 2007. Ecological niche modeling and geographic distribution of the genus *Polianthes* L. (Agavaceae) in Mexico: using niche modeling to improve assessments of risk status. *Biodivers. Conserv.* 16: 1885-1900.
- Soons, M. B. y G. W. Heil. 2002. Reduced colonization capacity in fragmented populations of wind-dispersed grassland forbs. *J. Ecol.* 90: 1033-1043.
- Soulé, M. E. 1991. Conservation: tactics for a constant crisis. *Science* 253: 744-750.
- Soulé, M. E. y M. A. Sanjayan. 1998. Conservation targets: do they help? *Science* 279: 2060-2061.
- Verhoek, S. 1998. Agavaceae. In: Kubitzki, K. (ed.). The families and genera of vascular plants. Vol. III. Flowering plants: Monocotyledons. Liliaceae (except Orchidaceae). Springer, New York. pp. 60-70.
- Vovides, A. P. y C. G. Iglesias. 1994. An integrated conservation strategy for the cycad *Dioon edule* Lindl. *Biodivers. Conserv.* 3: 137-141.
- Vovides, A. P., C. Iglesias, M. A. Pérez-Farrera, M. Vázquez-Torres y U. Schippmann. 2002. Peasant nurseries. A concept for integrated conservation strategy for cycads in Mexico. In: Maunder, M., C. Clubbe, C. Hankamer y M. Groves (eds.). *Plant conservation in the tropics: perspectives and practice*. Royal Botanic Gardens, Kew. Richmond. pp. 421-444.
- Wihtten, T., D. Holmes y K. MacKinnon. 2001. Conservation biology: a displacement behavior for academia? *Conserv. Biol.* 15: 1-3.
- Williams, N. S. G., J. W. Morgan, M. J. McDonell y M. A. McCarthy. 2005. Plant traits and local extinctions in natural grasslands along an urban-rural gradient. *J. Ecol.* 93: 1203-1213.
- Wilcove, D. S., D. Rothstein, J. Dubow, A. Phillips y E. Losos. 1998. Threats to imperiled species in the United States. *BioScience* 48: 607-615.
- Willis, F., J. Moat y A. Paton. 2003. Defining a role for herbarium data in Red List assessments a case study of *Plectranthus* from eastern and southern tropical Africa. *Biodivers. Conserv.* 12: 1537-1552.

Recibido en agosto de 2008.

Aceptado en abril de 2010.