

Conservación

Evaluación del riesgo de extinción de *Zamia prasina* en la Provincia Biótica Península de Yucatán

Assessment of the extinction risk of Zamia prasina in the Yucatán Peninsula Biotic Province

Grecia Montalvo-Fernández ^a, Germán Carnevali ^{a, b}, Andrew P. Vovides ^c,
Jaime Muñoz-López ^a, Jaime Martínez-Castillo ^{a, *}

^a Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Calle 43 Núm. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, 97205 Mérida, Yucatán, México

^b Orchid Herbarium of Oakes Ames, Harvard University Herbaria, 22 Divinity Avenue, Cambridge, Massachusetts 02138, USA

^c Instituto de Ecología, A.C., Carretera Antigua a Coatepec Núm. 351, el Haya, Xalapa, 91070 Veracruz, México

*Autor para correspondencia: jmartinez@cicy.mx (J. Martínez-Castillo)

Recibido: 28 marzo 2019; aceptado: 11 noviembre 2019

Resumen

Zamia prasina es una cícada nativa de la Provincia Biótica Península de Yucatán. Esta especie fue categorizada, según la Norma Mexicana NOM-059 del 2010, como en protección especial (Pr) y según las normas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) como en peligro crítico (CR). Sin embargo, el hallazgo reciente de un elevado número de localidades y su presencia en lugares perturbados, parecen contradecir el estado de conservación reportado para esta cícada por ambos métodos de análisis. El objetivo de este estudio fue realizar una reevaluación del riesgo de extinción de *Z. prasina* utilizando criterios de la UICN y del método de evaluación del riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER) para redefinir o confirmar su estatus de conservación. De acuerdo con los criterios del MER, *Z. prasina* se mantiene en la categoría de protección especial (Pr); sin embargo, según los resultados de los criterios de la UICN, ésta debe ser incluida en una categoría de menor riesgo, como preocupación menor (LC).

Palabras clave: Amenaza; Cícadass; Conservación; Hábitat perturbado; MER; UICN; Vulnerabilidad

Abstract

Zamia prasina is a cycad distributed in the Yucatán Peninsula Biotic Province. It was categorized as Special Protection (Pr) according to the Mexican NOM-059 of 2010. Also, it was categorized as Critically Endangered (CR) according to the International Union for the Conservation of Nature (IUCN) standards. However, considering the high number of natural populations recently found, as well as its presence in perturbed sites, the objective of this study was to perform a re-assessment of the risk of extinction of *Z. prasina* using the IUCN criteria and the Method of Evaluation of the Risk of Extinction of Wild Species in Mexico (MER) to redefine or confirm its conservation status.

According to the MER criteria, the Special Protection (Pr) category is supported; however, according to the IUCN criteria, *Z. prasina* must be included in a lower risk category, such as Least Concern (LC).

Keywords: Threat; Cycads; Conservation; Disturbed habitat; MER; IUCN; Vulnerability

Introducción

Existen 358 especies de cícadas catalogadas a nivel mundial (Calonje et al., 2019). De éstas, 60 se distribuyen en México, lo que lo hace el país más diverso en el mundo en cícadas, solo superado por Australia (Vovides, 2000). Actualmente, las cícadas se encuentran amenazadas a escala mundial, por lo que muchas de sus especies están citadas en los Apéndices I y II de CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) (Lazcano, 2005). Un ejemplo de esto es *Zamia prasina* W. Bull, de la familia Zamiaceae. Esta es una especie de tallos subterráneos, sub-globosos, hasta de 10 cm de diámetro, con hojas con 3-12 pares de folíolos lanceolados a oblanceolados. Es una especie dioica, con un ciclo reproductivo largo, la producción de conos femeninos, en condiciones naturales, no es frecuente y pueden tardar en madurar hasta 12 meses. La polinización es probable que sea por insectos, como ocurre en otras zamias (Vovides y Nicolalde-Morejón, 2010). También, hay evidencia de que las plantas de *Z. prasina*, bajo condiciones de cultivo, son capaces de producir semillas en ausencia de plantas masculinas, poniéndose así de manifiesto el fenómeno de la apomixis (Carnevali com pers).

Zamia prasina es endémica del área biogeográfica Provincia Biótica Península de Yucatán (PBPY) (Stevenson et al., 1996), la cual incluye los estados mexicanos de Yucatán, Campeche, Quintana Roo, una parte de Tabasco y Chiapas; los distritos del norte de Belice (Orange Walk, Corozal) y el departamento de Petén en Guatemala (Carnevali et al., 2010). Los tipos de vegetación donde *Z. prasina* predomina son: bosque tropical perennifolio, bosque tropical caducifolio y subcaducifolio, según la clasificación de Rzedowski (2006) (Vovides y Nicolalde-Morejón, 2010). Desde hace aproximadamente 3,000 años, el hábitat natural de *Z. prasina* ha sido impactado como resultado del florecimiento de la cultura Maya, la cual estableció un gran número de ciudades y áreas extensas de cultivo a través del sistema itinerante de roza-tumba-quema, afectando con esto a la flora original de la península de Yucatán (Sánchez y Rebollar, 1999). En las últimas décadas, el hábitat de *Z. prasina* se ha visto afectado también por diversas actividades humanas como el cultivo de grandes extensiones de variedades mejoradas de maíz (*Zea mays* L. subsp. *mays*) y de especies no

nativas como el sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), la ganadería semi-intensiva y el manejo forestal (Vovides y Nicolalde-Morejón, 2010).

Zamia prasina fue categorizada como en peligro de extinción (P) empleando el método de evaluación de riesgo para especies silvestres en México (MER) e incluida en la Norma Mexicana NOM-059 del 2001 de Semarnat. Luego de la actualización de la ley en el 2010, ésta quedó ubicada en la categoría bajo protección especial (Pr) (Vovides y Nicolalde-Morejón, 2010). Esta especie también fue categorizada en peligro crítico (CR) según las normas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), a partir de datos reportados por el grupo de especialistas de cícadas (UICN/SSC) (Vovides y Nicolalde-Morejón, 2010). Cabe señalar que la evaluación de la UICN se realizó antes de la constatación de que *Z. prasina* era la misma especie identificada como *Z. polymorpha*, la cual había sido reportada previamente en la región. Aunque los estudios ecológicos y poblacionales de *Z. prasina* son escasos, información reciente de nuestro grupo de investigación, así como reportes de otros equipos de investigación que usaron los criterios de la IUCN y del MER (Sánchez et al., 2013), sugieren que el estado de conservación de *Z. prasina* podría no ser tan frágil como ha sido considerado por la Semarnat y la UICN, al menos no basándose en los criterios B de la UICN (ver 3.1, 2001).

El método de la UICN ha sido ampliamente utilizado para la categorización del estado de conservación de diferentes taxones de flora y fauna, y para guiar las acciones de conservación a nivel mundial (Scott et al., 1987). A escalas menores, este método es útil para ordenar las acciones en ciertas áreas protegidas (Grigera y Úbeda, 2002). La UICN propone 3 categorías de amenaza: en peligro crítico (CR), en peligro (P) y amenazada (A) (UICN ver 3.1, 2001). Por otra parte, el MER es una herramienta implementada en México con un alcance local, mediante el cual se establecen los criterios para incluir, excluir o cambiar la categoría de riesgo de las especies silvestres o poblaciones. El instrumento jurídico legal que protege a estas especies categorizadas con el MER es la Norma NOM-059- SEMARNAT. El MER plantea 3 categorías de riesgo: en peligro de extinción (P), amenazadas (A) y sujetas a protección especial (Pr) (Sánchez et al., 2007).

Considerando los reportes contradictorios sobre el estado de conservación de *Z. prasina* y el riesgo de

extinción que corren muchas de las especies de cícadas en el mundo, es muy importante determinar el estado de conservación real de esta especie. El objetivo de la investigación fue realizar una reevaluación del riesgo de extinción de *Z. prasina* utilizando los criterios de la UICN y del MER.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en la Provincia Biótica Península de Yucatán, la cual posee una extensión aproximada de 145,000 km². La península de Yucatán alcanzó su configuración actual por movimientos tectónicos de levantamiento que ocurrieron en el Mioceno y Plio-Pleistoceno, y consta de una gran plataforma caliza de origen marino (Lugo-Hubp y Córdova, 1992). La mayor elevación se encuentra aproximadamente a 350 m. La península de Yucatán tiene una hidrografía superficial y escasa, con temperatura media anual que oscila entre 25 y 28 °C. El clima es biestacional, con una marcada época de sequía. Las principales formaciones vegetales son el bosque tropical caducifolio en el noroeste de la península, bosque tropical subcaducifolio en el centro y bosque tropical perennifolio en el sureste. En esta región también hay humedales y vegetación costera (Rzedowski, 2006). La tabla 1 muestra las fuentes de información y número de referencias geográficas que se usaron para realizar la evaluación.

Para la evaluación de los riesgos de extinción, primero empleamos 2 enfoques por separado: criterios de la UICN (UICN versión 3.1, 2001) y el MER (Sánchez et al., 2007). Posteriormente, se realizó una valoración conjunta con los resultados de ambas aproximaciones. Los criterios, de acuerdo con la UICN, son: extensión de presencia (B1), área de ocupación (B2) y número de localidades, tomando en cuenta toda el área de distribución de la especie. Usamos los 103 registros de presencia y la herramienta Geospatial Conservation Assessment

Tool (GeoCat) (Bachman et al., 2011) para determinar el polígono de distribución de la especie. Para el método MER, se usaron: A) amplitud de la distribución del taxón en México. Para este criterio solo usamos los 56 registros de presencia dentro del territorio mexicano. Se empleó la herramienta Geospatial Conservation Assessment Tool (GeoCat) para determinar el polígono de distribución de la especie (Bachman et al., 2011). B) Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón. Nos enfocamos en determinar las características de los lugares donde encontrábamos plantas en buen estado de *Z. prasina* (entiéndase, folíolos bien desarrollados, color verde intenso, sin indicio de amarillamiento, sin indicio de herbivoría y abundante presencia de plántulas). Estas características son indicativas de que el ambiente es “adecuado” para el desarrollo de la especie. En estos ambientes, tuvimos en cuenta la elevación, una valoración cualitativa de la abundancia de hojarasca en el suelo, la pedregosidad y la cobertura del dosel. El análisis de estas variables fue netamente cualitativo basado en observaciones.

Como parte de este criterio, también realizamos un análisis de distribución potencial en el presente (1950-2000) mediante el método de modelado de nicho ecológico (ENM), para identificar la ubicación geográfica de los ambientes climáticamente favorables en la península de Yucatán para el desarrollo de *Z. prasina*. La calibración del modelo se realizó con registros de presencia de la especie del portal Global Biodiversity Information Facility (GBIF, <http://data.gbif.org/species/browse/taxon/>) y para la validación se emplearon las referencias tomadas por nuestro grupo de trabajo. Para evitar incluir lugares sobremuestreados a través del área de distribución de la especie, los 103 registros se editaron para separarse al menos 20 km entre sí, usando el paquete spThin Aiello en R (Lammens et al., 2015). Para construir el ENM se empleó el programa MAXENT 3.3.3 (Phillips et al., 2006) y las variables de temperatura y precipitación del WorldClim Global Climate Data V. 1.4 (<http://www.worldclim.org/>)

Tabla 1

Fuentes de información y número de referencias geográficas de *Zamia prasina* utilizadas para determinar su estado de conservación.

Fuente	Número de referencias
Velasco (2015)	6
Herbario CICY	12
Montgomery Botanical Center, Florida	54
Missourri Botanical Garden (TROPICOS ®)	7
Herbario BIGU	1
Referencias propias	23
Total	103

version1) (Hijmans et al., 2005) con una resolución de 30 arcsec (1 km²). Para reducir la redundancia entre variables, se consideraron aquellas con la contribución parcial más alta a los 2 primeros componentes principales (explicando mayor porcentaje de la variación total), a partir de un análisis de componentes principales (ACP) y con correlaciones de rango de Spearman en pares inferiores a 0.8, estos análisis se realizaron con el software JMP v13. De las 19 variables de WorldClim, solo se usaron las 11 con menor correlación: rango diario medio de la temperatura (BIO2), isoterminia (BIO3), estacionalidad de la temperatura (BIO4), temperatura máxima del mes más cálido (BIO5), rango anual de temperatura (BIO7), temperatura media del cuarteto más frío (BIO11), precipitación anual (BIO12), estacionalidad de precipitación (BIO15), precipitación del cuarteto más seco (BIO17), precipitación del cuarteto más cálido (BIO18) y precipitación del cuarteto más frío (BIO19). El gráfico se generó en el programa ArMap ver 10.5. C) Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón. Los estudios sobre la biología reproductiva de esta especie son prácticamente nulos. Para tener conocimiento acerca del ciclo de vida, posibles polinizadores y sus amenazas, se consultó la ficha técnica de *Zamia polymorpha* aportada por la Conabio (Vovides y Nicolalde-Morejón, 2010). Para tener información sobre la estructura demográfica de *Z. prasina* consultamos un estudio realizado en poblaciones de Quintana Roo (Poot y Martínez-Moreno, 2014). Por último, para conocer sobre la diversidad y estructura genética de esta especie como aspectos importantes para la conservación, nos basamos en el estudio genético sobre *Z. prasina*, realizado en poblaciones de Yucatán y empleando 6 marcadores microsatélites (Velasco, 2015). D) Impacto de la actividad humana sobre el taxón en México. A partir de las 56 localidades mexicanas empleadas para el MER, se determinó qué porcentaje de éstas se encuentran distribuidas en diferentes tipos de vegetación, basándonos en los mapas de vegetación del INEGI (2017). Se empleó el programa ArGis versión 9.2 y se calculó el porcentaje de registros en cada formación vegetal comparándose los valores de ambos años empleando la prueba de Student's (SPSS Statistics for Windows, Version 21.0. Armonk, NY: IBM Corp).

Resultados

Crterios de la UICN

En la figura 1 se muestra el polígono de distribución que corresponde a la extensión de presencia de *Z. prasina*, el cual abarcó 168,970 km². La sumatoria del área que ocupan las localidades (área de ocupación) fue de 300 km². Considerando únicamente el criterio de extensión de presencia, *Z. prasina* no puede ser ubicada en ninguna de

las 3 categorías de amenaza de la UICN, ya que excede los valores mínimos para estar incluida (UICN ver 3.1, 2001), por lo que esta especie estaría en la categoría preocupación menor (LC). Por otro lado, considerando que el valor del área de ocupación (300 km²) es inferior a 500 km², la especie se ubicaría en la categoría en peligro (EN). Aunque cada criterio indica que la especie debe incluirse en una categoría diferente, si nos basamos en lo planteado por la UICN (versión 3.1, 2001) "...un taxón está En Peligro cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple cualquiera de los criterios "A" a "E"...", entonces *Z. prasina* debería ubicarse en la categoría en peligro (EN), teniendo en cuenta el área de ocupación.

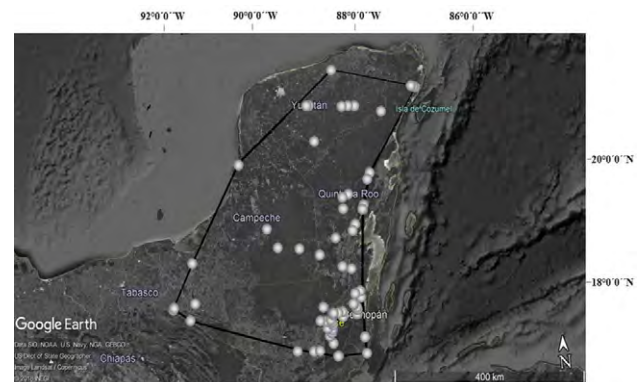


Figura 1. Polígono de distribución de *Zamia prasina*. El área al interior del polígono representa la extensión de la especie en toda su área de distribución. El área de ocupación corresponde a la sumatoria del área de las localidades representadas en puntos grises.

En cuanto al número de localidades, *Z. prasina* no se ubica en ninguna de las categorías de amenaza, ya que en nuestro estudio realizamos salidas de campo y visitamos 21 localidades en Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Chiapas. Por tanto, tenemos la certeza de que al menos hay más de 10 localidades, lo cual hace que *Z. prasina* esté fuera de las 3 categorías de amenaza (UICN ver 3.1, 2001).

Evaluación MER

A) Amplitud de la distribución del taxón en México. De las 103 referencias compiladas de *Z. prasina*, 56 están ubicadas en México. El polígono de distribución que se forma con la unión de estas referencias geográficas abarca una extensión de presencia de 108, 655 km² (5.4% del territorio nacional) (fig. 2). Como este valor se encuentra comprendido en el rango de 5 a 15 % del territorio nacional (ca. 2 millones de km²), se le asignó un valor de riesgo =

3, que corresponde con la categoría restringida. B) Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón. Debido al impacto humano histórico en la península de Yucatán, parte de la vegetación natural ha sido alterada; sin embargo, aún quedan extensiones grandes de selvas medianas subcaducifolias y subperennifolias donde *Z. prasina* se puede encontrar sin dificultad (Vovides y Nicolalde- Morejón, 2010). Durante los recorridos de campo realizados, pudimos constatar que las áreas con ambientes adecuados para la especie (donde había mayor abundancia de plántulas, plantas con folíolos bien desarrollados, de color verde intenso, sin síntomas de amarillamiento) presentaban las siguientes características: suelo con alta pedregosidad, poca pendiente, dosel elevado con una cobertura bastante densa. Los valores más bajos de elevación se registran en las localidades de Puerto Morelos y Bacalar (11 m) y los más elevados en las localidades de Oxkutzcab y Kaxil Kiuic (111 y 120 m, respectivamente). En las localidades de menor elevación, los individuos se encontraron más dispersos. En localidades de alto grado de antropización y en donde prácticamente no había dosel, encontramos plantas de color amarillo y folíolos más estrechos. Ejemplo de esto son las localidades de Champotón y Palenque, en donde las plantas de *Z. prasina* se encontraron en una estación forestal y una finca de palma aceitera, respectivamente.

En cuanto a la distribución potencial de *Z. prasina*, las áreas climáticamente favorables concuerdan aproximadamente con la distribución geográfica actual de la especie. Con este resultado se corrobora la ausencia de *Z. prasina* en la costa oeste de la península de Yucatán (en la selva baja caducifolia). El mapa de distribución potencial (fig. 3) indica que en gran parte de la península de Yucatán existen condiciones climáticas favorables para que se desarrolle la especie, lo cual explica el elevado número de localidades que hemos encontrado. En el centro y la costa este de la península, se ubican las áreas más favorables desde el punto de vista climático. Así, tomando en cuenta la alta presencia de dichos sitios para el desarrollo de *Z. prasina*, la alta representatividad de áreas con condiciones adecuadas (pedregosidad, dosel, elevación, hojarasca) y el elevado número de localidades de *Z. prasina* encontradas en la península, consideramos que el hábitat no es limitante para su desarrollo, es por eso que a este criterio se le asignó un valor de riesgo = 1 (poco limitante). C) Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón. Un hallazgo interesante fue que no se encontraron individuos adultos reproductores. De las 21 localidades que visitamos, solo vimos un individuo con conos (población Kaxil Kiuic). La mayoría de las plantas eran muy pequeñas (generalmente con un solo par de folíolos) o plantas de porte mediano sin indicios de haber tenido conos

(Montalvo et al., 2017). Según nuestras observaciones en campo, el tamaño de la planta no indica su madurez reproductiva, ya que en condiciones de crecimiento *ex situ* vimos plantas pequeñas con conos y semillas, mientras que otras de mayor talla no mostraron indicios de estructuras reproductivas. Esta ausencia de individuos reproductores podría deberse a que nuestros recorridos no coincidieron con la etapa reproductiva (no hay estudios fenológicos publicados de esta especie) y/o a que los conos maduros duran poco tiempo porque son devorados, posiblemente por aves y mamíferos pequeños. Es necesario llevar a cabo un muestreo mucho más periódico en varias localidades naturales de *Z. prasina* para conocer la verdadera situación de los individuos reproductores.

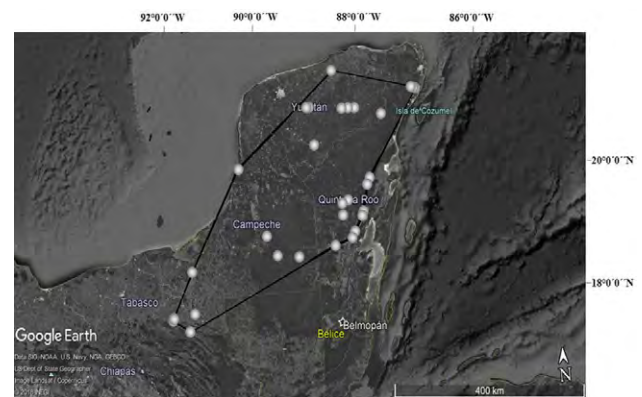


Figura 2. Polígono de distribución de *Zamia prasina*. El área al interior del polígono representa la extensión de la especie en la parte mexicana de la península de Yucatán. El área de ocupación corresponde a la sumatoria del área de las poblaciones representadas en puntos grises.

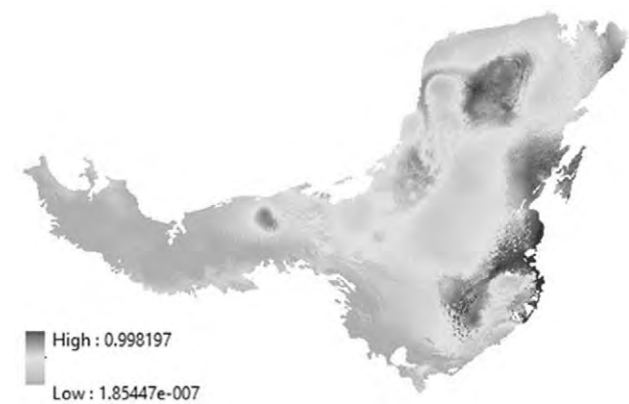


Figura 3. Distribución potencial de *Zamia prasina* en el presente (1950-2000) en la península de Yucatán. Modelado en MAXENT.

Aunque no existen estudios publicados sobre la biología reproductiva de *Z. prasina*, el grupo de especialistas de cícadas (UICN/SSC) ha aportado información al respecto: a) la producción de conos en condiciones naturales es poca y se necesitan aproximadamente 12 meses para que los conos maduren y las semillas queden listas para ser dispersadas (Vovides y Nicolalde-Morejón, 2010); b) existe un desfase entre la polinización y la fecundación que puede tardar hasta 5 meses; c) al igual que otras especies de zamias, la polinización podría ser por insectos del orden *Rhopalotria*, cuyas larvas hibernan en el suelo y cuya sobrevivencia se ve afectada con los incendios, los cuales son bastante frecuentes en los lugares donde habita *Z. prasina* (Vovides et al., 1997). Todas estas características hacen que *Z. prasina* sea una especie vulnerable; sin embargo, otras características de la planta le otorgan una alta capacidad de resiliencia que puede atenuar esta vulnerabilidad: a) un tallo subterráneo que facilita vivir en ambientes antropizados y que es capaz de regenerar después de incendios y prácticas intensas de ramoneo; b) hojas tóxicas, que limitan el daño causado por herbivoría; c) en condiciones de cultivo, las plantas pueden producir conos y semillas sin la presencia de individuos machos, indicando con ello que, probablemente, muchas plantas sean agamospérmicas. Por todo lo anterior, en el criterio de vulnerabilidad intrínseca se le asignó el valor 2 (vulnerabilidad media). D) Impacto de la actividad humana sobre el taxón. El factor de riesgo que más afecta a las poblaciones de *Z. prasina* es el cambio de uso de suelo. Durante los recorridos de campo pudimos detectar varias incidencias que atentan contra la supervivencia de esta especie, como son la eliminación de malezas en fincas forestales, el monocultivo de maíz (*Zea mays* L. subsp. *mays*) y el establecimiento de fincas de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) (Montalvo et al., 2017). Todas estas prácticas de manejo, implican la eliminación de la parte aérea de la planta, lo cual retrasa su ciclo de vida, pues le toma mucho más tiempo en ser adulta y producir frutos y semillas. Sin embargo, como se señaló previamente, la existencia de un tallo subterráneo le confiere a *Z. prasina* una alta capacidad de resiliencia, por lo que no se compromete mucho el número de individuos y poblaciones.

La figura 4 muestra el porcentaje de localidades de *Z. prasina* que se encuentran en los diferentes tipos de vegetación, según el INEGI. Para ambos años de registro (2009 y 2015), se encontró el menor número de localidades en la selva mediana subperennifolia (bosque tropical subperennifolio, según Rzedowskii [2006]), hábitat que se considera más conservado. Al comparar los 2 años de registro, no encontramos cambios en cuanto al número de localidades en la selva mediana

subperennifolia, plantaciones de agricultura anual y en las localidades cercanas a zonas urbanas. Sin embargo, en el 2009, la vegetación secundaria arbustiva era mayor que la vegetación arbórea y en el 2015 hubo un incremento del número de localidades donde hay vegetación secundaria arbórea con respecto a la arbustiva, lo que sugiere un proceso de sucesión natural exitoso. Si a estos resultados le sumamos la alta presencia de áreas con clima favorable que existe en la península de Yucatán para el desarrollo de *Z. prasina*, entonces el riesgo de extinción por el impacto de la actividad humana recibe un valor de riesgo = 3 (impacto medio).

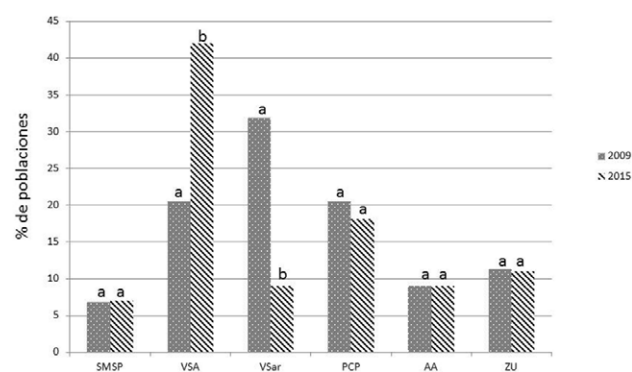


Figura 4. Porcentaje de localidades *Z. prasina* presentes en los diferentes tipos de vegetación según el INEGI (2009 y 2015). SMSP = selva mediana subperennifolia, VSA = vegetación secundaria arbórea, VSar = vegetación secundaria arbustiva, PCP = pastizal cultivado permanente, AA = plantaciones de agricultura anual, ZU = zona urbana. Letras diferentes difieren estadísticamente según la prueba T de students con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

En resumen, de acuerdo a la evaluación de los 4 criterios del MER, la sumatoria obtenida fue de 9 puntos (A = 3, B = 2, C = 1, D = 3), lo cual indica que *Z. prasina* debe estar en la categoría de protección especial en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT.

Discusión

Considerando que *Z. prasina* tiene una distribución natural que excede los límites del territorio mexicano, el método de evaluación basado en los criterios de la UICN aporta ventajas comparado con el método de evaluación MER. La principal ventaja radica en que para determinar la extensión de presencia y área de ocupación se toman en cuenta todas las localidades reportadas en el área de distribución natural de *Z. prasina*. Con ello, la evaluación

tiene una mayor robustez, mientras que usando el MER solo se toma en cuenta las localidades en el territorio mexicano. Incluso, después de acciones de conservación para medir el grado de recuperación de una especie, la UICN plantea que para cuantificar la recuperación geográficamente, se debe considerar el área total del rango de distribución de la especie (Resik et al., 2018).

Es importante señalar que del departamento del Petén (Guatemala), solo tenemos una referencia geográfica; sin embargo, expertos del Herbario BIGU de Guatemala aseguran que *Z. prasina* se distribuye más al sur del Petén, en los departamentos Izabal y Alta Verapaz (Veliz, com pers.) de donde no tenemos referencias. Si se incrementa el número de localidades en Guatemala o en el resto de la distribución natural de la especie, aumentaría el área de ocupación de la especie y la extensión de presencia, aunque esto no necesariamente sería indicativo de menor categoría de amenaza.

Si tenemos en cuenta que, según la UICN ver 3.1 (2001) "...un taxón está En Peligro y se considera que se está enfrentando a un riesgo de extinción muy alto en estado de vida silvestre, cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple cualquiera de los criterios (A a E) para la categoría En Peligro...", *Z. prasina* estaría incluida en esta categoría.

Los resultados obtenidos sobre el hábitat donde se desarrolla *Z. prasina* concuerdan con lo reportado por Poot y Martínez-Moreno (2014). Estos autores realizaron un estudio de poblaciones de *Z. prasina* en Quintana Roo, encontrando que la especie puede vivir en suelos con alta pedregosidad. En un estudio sobre la influencia del ambiente sobre la morfología de *Z. prasina*, Limón et al. (2016) plantean que esta especie habita bajo el dosel denso en el bosque tropical subcaducifolio y perennifolio, por lo que los folíolos anchos pueden ser una adaptación para facilitar la evapotranspiración y la captación de luz bajo condiciones de sombra. En el estudio determinamos que la presencia de lugares adecuados para el desarrollo de *Z. prasina* son frecuentes, por lo que la calidad del hábitat para los requerimientos del taxón no es una limitante.

Los resultados de distribución potencial muestran que las áreas climáticamente favorables para *Z. prasina* abarcan casi toda la península de Yucatán, fundamentalmente en la franja centro-oeste donde predomina el bosque tropical subcaducifolio y en el este de la península donde abunda el bosque tropical subperennifolio. En algunas zonas, como la meseta de Zho Laguna, en el centro de la península de Yucatán, el modelado de nicho no indica condiciones climáticas adecuadas para el desarrollo de la especie. Sin embargo, existen colectas de *Z. prasina* en esta zona (Carnevali com pers). Esto puede deberse a un insuficiente esfuerzo de muestreo en esa zona y que para realizar el

modelado de nicho fue necesario añadir más registros para tener una distribución potencial más cercana a la distribución real de la especie.

Un aspecto que muchas veces no se toma en cuenta en las evaluaciones de riesgo de extinción de especies silvestres es su diversidad genética. Velasco (2015) estudió 6 poblaciones de *Z. prasina* distribuidas en Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Chiapas, Tabasco y Belice, usando 10 loci de microsatélites. Este autor reportó 90% de loci polimórficos, niveles medios de diversidad genética ($H_E = 0.43$) y un déficit de heterocigotos para las 6 poblaciones estudiadas. Este déficit de heterocigóticos puede deberse a factores antropogénicos, como el cambio de uso de suelo que traen consigo efectos de fragmentación o por cuestiones intrínsecas de la especie, como un sistema de dispersión deficiente que limita el flujo genético entre las poblaciones. Otro factor que promueve el déficit de heterocigóticos es la endogamia debido a cruzamientos entre individuos emparentados y la posible agamospermia. Los resultados reportados por Velasco (2015) deben ser tomados con precaución ya que pueden estar sesgados por el tamaño pequeño de muestra (6 poblaciones, 10 loci), por lo que es recomendable confirmar esta diversidad genética baja de *Z. prasina* realizando un muestreo más exhaustivo, tanto poblacional como genómico, antes de señalar la existencia de una vulnerabilidad genética de la especie.

La gran cantidad de individuos de *Z. prasina* con tamaño pequeño que encontramos durante nuestros viajes de colecta concuerda con lo reportado por Poot y Martínez-Moreno (2014). Estos autores determinaron la densidad poblacional por categoría de tamaño (0-25 cm, 26-50 cm, > 50 cm), encontrando que la mayor densidad de plantas de *Z. prasina* se obtuvo en la categoría 0-25 cm (60 individuos/ha y 80 individuos por ha, para 2 poblaciones). La menor densidad se encontró en la categoría > 50 cm (19 individuos/ha y 25 individuos/ha en las mismas 2 poblaciones). Este resultado puede estar relacionado con los diferentes manejos que se realizan en las áreas donde se encuentra esta especie (Montalvo et al., 2017). Un estudio demográfico exhaustivo sería muy útil para dar más luz sobre el riesgo de extinción de la especie. Sin embargo, para *Z. prasina* es difícil establecer las diferentes categorías demográficas. En muchas especies, la talla del individuo permite saber si son juveniles o adultos, pero los individuos de *Z. prasina* de mayor altura no necesariamente son reproductores, esto solo podría saberse si se observan los conos. La edad de *Z. prasina* podría estar más relacionada con el tamaño del cormo, pero no hay ningún estudio que demuestre la correlación entre estas 2 medidas.

En conclusión, podemos decir que *Z. prasina* es una especie con una amplia distribución en toda la Provincia

Biótica Península de Yucatán y aunque esta región ha sido fuertemente impactada históricamente por el hombre, afectando sus áreas naturales, aún existen lugares idóneos para el desarrollo de esta especie, por lo que el número de localidades es elevado. *Zamia prasina* puede sobrevivir en zonas con cierto grado de perturbación, por su alta capacidad de resiliencia. Además, en la península de Yucatán existen áreas climáticamente favorables para el desarrollo de esta especie, corroborado por el gran número de localidades reportadas. A pesar de todos estos aspectos favorables, los criterios de distribución de la especie, según la UICN, la ubican en la categoría en peligro (EN), por tener un área de ocupación inferior a 500 km²; sin embargo, aún falta por evaluar otros criterios referentes a los tamaños poblacionales, individuos reproductores y posibles reducciones poblaciones para poder proponer un cambio de categoría. Es importante además la actualización continua de las referencias geográficas y hacer uso de las de las colecciones botánicas ya que generan información útil a considerar en las categorías de conservación.

Las reglas para realizar transferencias de una categoría a otra (UICN ver 3.1, 2001), plantean que un taxón puede ser transferido de una categoría de amenaza mayor a una categoría de amenaza menor, si ninguno de los criterios de la categoría más alta se ha cumplido en 5 años o más. Es decir, que sería necesario realizar un estudio de evaluación por un periodo mayor e incluir los demás criterios mencionados anteriormente. Nuestro estudio sería el punto de partida para realizar las posteriores evaluaciones y comparaciones. Es importante recordar que un aspecto que debe ser atendido con especial atención, es el número de individuos reproductores, ya que, si en las futuras evaluaciones se mantiene la ausencia de los mismos, esto sería una condición suficiente para mantener a *Z. prasina* en la categoría “en peligro crítico”.

Aunque la categoría de amenaza no es necesariamente suficiente para determinar prioridades para llevar a cabo acciones de conservación, es útil porque ofrece una evaluación de la probabilidad de extinción en las circunstancias actuales de un taxón en particular. La adecuada ubicación de una especie en dichas categorías nos permite gestionar de forma eficiente los esfuerzos y recursos para posibles acciones de conservación.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-México por la beca otorgada para sus estudios de posgrado. Los autores agradecen a Michael Calonje por su apoyo en la compilación de sitios de referencia de *Zamia prasina*, a Celene Espadas por su

colaboración en los resultados del criterio D del MER y a Paulino Simá Polanco por su apoyo técnico en el campo.

Referencias

- Bachman, S., Moat, J., Hill, A., De la Torre, J. y Scott, B. (2011). Supporting Red List threat assessments with GeoCAT: geospatial conservation assessment tool. *Zookeys*, 150, 117–126. <https://doi.org/10.3897/zookeys.150.2109>
- Calonje, M., Stevenson, D.W. y Stanberg, L. (2019). The world list of Cycads, online edition. Recuperado el 10 Mayo de 2017 de: <http://www.cycadlist.org>
- Carnevali-Fernández Concha, G., Tapia, J. L., Duno-de Stefano, R. y Ramírez-Morillo, I. (2010). *Flora ilustrada de la península de Yucatán: listado florístico*. Mérida: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Grigera, D. y Úbeda, C. (2002). Una revisión de los trabajos sobre categorizaciones y prioridades de conservación de los vertebrados de Argentina. *Ecología Austral*, 12, 163–174.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. y Jarvis A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). (2017). Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250, 000: serie VI / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Lammens, M. E. A., Boria, R. A., Radosavljevic, A., Vilela, B. y Anderson, R. P. (2015). spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*, 38, 541–545. <https://doi.org/10.1111/ecog.01132>
- Lazcano, L. J. (2005). *The reproductive biology of Zamia (Cycadales: Zamiaceae) in Puerto Rico. Implications for patterns of genetic structure and species conservation* (Tesis doctoral). Departamento of Biology, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Puerto Rico.
- Limón, F., González-Astorga, J., Nicolalde-Morejón, F. y Guevara, R. (2016). Phenotypic variation of *Zamia loddigesii* Miq. y *Z. prasina* W.Bull. (Zamiaceae, Cycadales): the effect of environmental heterogeneity. *Plant Systematics and Evolution*, 302, 1395–1404. <https://doi.org/10.1007/s00606-016-1338-y>
- Lugo-Hubp, J. y Córdova, C. (1992). Regionalización geomorfológica de la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas*, 25, 25–63. <https://doi.org/10.14350/rig.59012>
- Montalvo, G., Muñoz, J. y Martínez, J. (2017). *El Cha'ac Hua (Zamia prasina). Una especie “de pocas madres”*. Desde el Herbario CICY, 9. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Recuperado el 5 de diciembre de 2018 de: http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. y Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

- Poot, J. G. y Martínez-Moreno, N. J. (2014). *Estudio poblacional de Zamia polymorpha* D.W. Stev., A. Moretti & Vázq. Torres (Zamiaceae) en Quintana Roo (Tesis). Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Yucatán.
- Resik, A. H., Bennett, E. L., Thomas, M. Brooks., Molly, K. G., Heath, A. et al. (2018). Quantifying species recovery and conservation success to develop an IUCN Green List of Species. *Conservation Biology*, 32, 1128–1138. <https://doi.org/10.1111/cobi.13112>
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F. https://www.academia.edu/9142430/VEGETACION_DE_MEXICO_Jerzy_Rzedowski
- Sánchez, O., Medellín, R., Aldama, A., Goettsch, B., Soberón, J. y Tambutti, M. (2007). *Método de evaluación del riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER)*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat).
- Sánchez, J., Muro, G., Estrada, E. y Alba, J. A. (2013). El MER: un instrumento para evaluar el riesgo de extinción de especies en México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 12, 30–35. <https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2012.06.037>
- Sánchez, R. L. y Rebollar, S. (1999). Deforestación en la península de Yucatán, los retos que enfrentar. *Madera y Bosques*, 5, 3–17. <https://doi.org/10.21829/myb.1999.521344>
- Scott, J. M., Csuti, B., Estes, J. E. y Anderson, H. (1987). Status assessment of biodiversity protection. *Conservation Biology*, 3, 85–87. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1989.tb00230.x>
- Stevenson, D. W., Moretti, A. y Gaudio, L. (1996). A new species of *Zamia* (Zamiaceae) from Belize and the Yucatán Peninsula of Mexico. *Delpinoa*, 37-38, 3–8.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). (2001). *Categorías y criterios de la Lista Roja de la UICN*. Versión 3.1, segunda edición. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN. Gland, Suiza.
- Velasco, Y. (2015). *Variación genética de Zamia prasina* W. BULL 1881 (Zamiaceae) (Tesis). Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Vovides, A. P. (2000). México: segundo lugar mundial en diversidad de cícadas. *Biodiversitas*, 6, 6–10.
- Vovides, A. P. y Nicolalde-Morejón, F. (2010). Ficha técnica de *Zamia polymorpha*. En A. P. Vovides (Ed.), *Base de datos de la cícadas mexicanas*. México D.F.: Instituto de Ecología A.C., INECOL. Bases de datos SNIB-Conabio. Proyecto Núm. DK008.
- Vovides, A. P., Ogata, N., Sosa, V. y Peña, E. (1997). Pollination of the endangered Cuban cycad *Microcycas calocoma* (Miq.) A.DC. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 125, 201–210. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1997.tb02254.x>