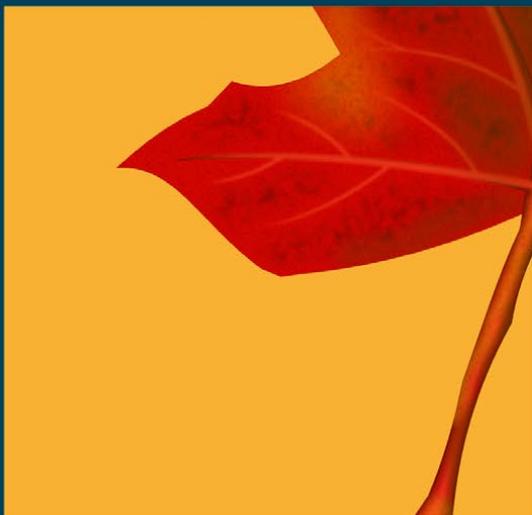
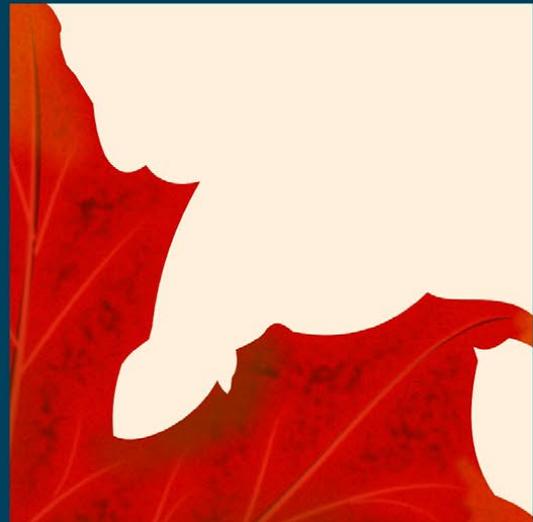


# Cuadernos *de* Biodiversidad



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

***Estrategias para la conservación de  
Zamia furfuracea L. f. (Zamiaceae,  
Cycadales): una especie "En Peligro" de  
extinción con un amplio potencial de uso***  
***Conservation strategies of Zamia  
furfuracea L. f. (Zamiaceae, Cycadales):  
an "Endangered" species with a wide  
potential use***

E. FAVIÁN-VEGA<sup>1</sup>, L. G. IGLESIAS-ANDREU<sup>1\*</sup>, M. LUNA-RODRÍGUEZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Campus para la Cultura, las Artes y el Deporte, Universidad Veracruzana, Avenida de las Culturas Veracruzanas 101, Colonia Emiliano Zapata, CP 91090, Xalapa, Veracruz, México.

<sup>2</sup> Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas-Xalapa. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán S/N, Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz, México.

\* liglesias@uv.mx

## RESUMEN

*Zamia furfuracea* es una planta endémica del Estado de Veracruz, que posee un gran valor ornamental y un alto potencial de uso. Está catalogada como especie “En Peligro” de extinción debido a que, en las últimas cuatro décadas, fueron extraídas semillas e incluso individuos adultos de sus poblaciones naturales de forma ilegal, reduciéndolas hasta en un 40%. Por tal motivo, se desarrolló el presente trabajo con el objetivo de establecer un enfoque integral para su manejo y conservación, tanto a nivel local como regional. Para ello se identificaron y evaluaron diversos índices de fragmentación que están incidiendo en sus poblaciones y se realizaron estudios sobre su biología reproductiva, demografía y diversidad genética. Se encontró que aunque todas las poblaciones se encuentran afectadas por diferentes agentes de perturbación, todos ellos han estado afectando la viabilidad y germinación de las semillas así como la supervivencia de los individuos juveniles. Con base a los resultados obtenidos se proponen diferentes estrategias de conservación para cada una de las poblaciones estudiadas. Concluyendo que la mejor alternativa para la preservación de la especie, requiere la combinación de diferentes estrategias de conservación *in situ* y *ex situ*, dando mayor o menor peso a cada una, en función de la situación de cada una de las poblaciones estudiadas.

**Palabras clave:** viabilidad, germinación, semillas, estructura poblacional, diversidad genética.

## ABSTRACT

*Zamia furfuracea* is an endemic plant of the State of Veracruz, which has a great ornamental value and high potential for use. It is listed as an “Endangered” species, because in the last four decades, seeds and even adult individuals were illegally extracted from their natural populations, reducing them by up to 40%. For this reason, the present work was aimed to establish a comprehensive approach for its management and conservation, both at the local and regional level. To this end, several fragmentation indices that are affecting their populations were

identified and evaluated, and studies were carried out on their reproductive biology, demography and genetic diversity. It was found that although all the populations are affected by different disturbance agents, all of them have been affecting the viability and germination of the seeds as well as the survival of the juvenile individuals. Based on the results obtained, different conservation strategies are proposed for each of the populations studied. Concluding that the best alternative for the preservation of the species, requires the combination of different conservation strategies *in situ* and *ex situ*, giving more or less weight to each, depending on the situation of each of the populations studied.

**Key words:** viability, germination, seeds, population structure, genetic diversity.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día un tercio de las especies de plantas existentes se encuentran amenazadas (Pathak & Abido, 2014) y una quinta parte de las mismas se encuentran en peligro de extinción (Brummitt *et al.*, 2015), dentro de las cuales se encuentra el orden de los Cycadales. De acuerdo a la IUCN, el 60% de las cícadas se encuentran dentro de una de las categorías establecidas por este organismo (Críticamente en Peligro de Extinción (CR), En Peligro de Extinción (EN), y Vulnerables (VU) (Marler & Marler, 2015), convirtiéndose en uno de los grupos de plantas más amenazados del planeta. Esto se debe principalmente a que la mayoría de las cícadas crecen de forma aislada en poblaciones pequeñas y fragmentadas. Esta situación se ha agravado en los últimos años debido a que se ha incrementado la destrucción de su hábitat natural por cambio de uso de suelo para la agricultura, la ganadería, la minería y el desarrollo urbano (Nadarajan *et al.*, 2018), así como a la incidencia de otros factores que incluyen, su uso tradicional (medicinal, religioso), la vegetación exótica invasora, el cambio climático y las amenazas fitopatológicas (Carey *et al.*, 2014). Por tal motivo, y con el fin de establecer estrategias de manejo y conservación, en México, se han realizado diferentes estudios a nivel local y regional, que integran estudios sobre su bio-

logía reproductiva, demografía y diversidad genética (Vovides & Iglesias, 1994; INE-SEMARNAT-2000; Yáñez-Espinoza, 2006; Vite *et al.*, 2013).

Los estudios básicos sobre la biología reproductiva de las especies permiten obtener información sobre la viabilidad y la germinación de las semillas, lo cual resulta esencial para establecer estrategias de propagación requerida para la recuperación de poblaciones naturales perturbadas. Los estudios demográficos también son de gran importancia, ya que permiten conocer, con base en la tasa de crecimiento poblacional, la permanencia de una población, ya que es la base para la supervivencia de los organismos, pues les permite evolucionar y adaptarse a condiciones ambientales cambiantes (Frankel & Soulé, 1981). Otra ventaja de los estudios demográficos es la posibilidad de identificar las categorías y los procesos susceptibles ante cambios ambientales (López-Gallego, 2007). El conocimiento de la historia de vida de las poblaciones, su biología reproductiva, conjuntamente con los estudios demográficos y genéticos, constituyen las bases para establecer una estrategia de conservación eficiente, que permitan el aprovechamiento sustentable de especies en peligro de extinción y con amplio potencial de uso.

En términos generales existen dos tipos de estrategias de conservación: *in situ* y *ex situ*. Los métodos *in situ* son ampliamente recomendados, porque además de ser más económicos, protegen tanto a la especie en cuestión como a su hábitat natural, siempre que sea posible proteger la matriz vegetal de las poblaciones (Donaldson, 2003). En el caso de las cícadas estos métodos permiten su aprovechamiento sostenible y brindan la oportunidad para que los propietarios de las tierras, donde estas se desarrollan, mantengan sus poblaciones naturales y obtengan de las mismas incentivos financieros (Liddle, 2009). La conservación *in situ* se basa principalmente en el establecimiento de áreas naturales protegidas y corredores naturales, que promuevan la conectividad entre las poblaciones (Gilbert-Norton *et al.*, 2010). Sin embargo, estos métodos pueden ser más complejos debido a la fragmentación del hábitat, el cambio climático, el uso insostenible de los recursos naturales, el ataque de organismos patógenos y especies invasoras (Pathak & Abido, 2014; Smith *et al.*, 2016). Por ello, se requiere de un amplio

conocimiento, de las comunidades ecológicas y el ecosistema donde se desarrollan las especies, a fin de establecer planes de manejo y conservación que resulten efectivos a largo plazo.

Los métodos de conservación *ex situ* implican la preservación y el mantenimiento de especies de plantas o partes de plantas amenazadas (semillas, esquejes, rizomas, tubérculos, etc.) fuera de su hábitat natural (Reed *et al.*, 2011; Cibrián-Jaramillo *et al.*, 2013). La conservación *ex situ* puede ser fundamental para los esfuerzos de recuperación de especies (Walters, 2003; Okubamichael *et al.*, 2016). En cícadas, existen colecciones sustanciales fuera de sus sitios originales. El Instituto Botánico Nacional de Sudáfrica, el Centro Botánico de Montgomery en Miami (EE. UU) y el Jardín Tropical Nong Nooch en Tailandia, tienen las colecciones más completas de especies de cícadas y han desarrollado bancos de genes (Donaldson, 2003). En México, específicamente en la ciudad de Xalapa, Veracruz, se encuentra el Jardín Botánico Francisco Javier Clavijero, el cual cuenta con una colección importante de cícadas. Otros jardines botánicos, cuentan con ejemplares de la mayoría de las especies amenazadas de cícadas, sin embargo, no constituyen una verdadera colección *ex situ* y en muchas ocasiones se conoce muy poco sobre el lugar exacto de su procedencia y su diversidad genética (Griffitt *et al.*, 2017).

### CASO DE ESTUDIO: ZAMIA FURFURACEA

*Zamia furfuracea* L. f., 1789, es una especie endémica del Estado de Veracruz, que crece en suelos arenosos y rocosos a lo largo de la costa del Golfo de México (Fig. 1). Pertenece a la familia Zamiaceae y al orden de los Cycadales. Al igual que todas las cícadas, esta especie tiene una gran importancia económica, evolutiva, biológica y ecológica (Donaldson, 2003). A nivel local es común observarla en Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMAS) y en viveros rurales y a nivel mundial es la segunda cícada más comercializada en el mercado hortícola (Vovides *et al.*, 2002; Rutherford *et al.*, 2013). *Z. furfuracea* tiene un amplio potencial de uso, puede alcanzar su edad reproductiva a los cuatro

años de edad, lo que la diferencia de otras especies de cícadas, cuya reproducción puede ocurrir de forma esporádica a los 15 años o más, en dependencia de las condiciones ambientales (Liddle, 2009). Los individuos adultos presentan eventos reproductivos intercalados cada año, produciendo de uno hasta seis conos por planta, con un promedio de 150 semillas por cono (Vázquez-Torres, 2018).

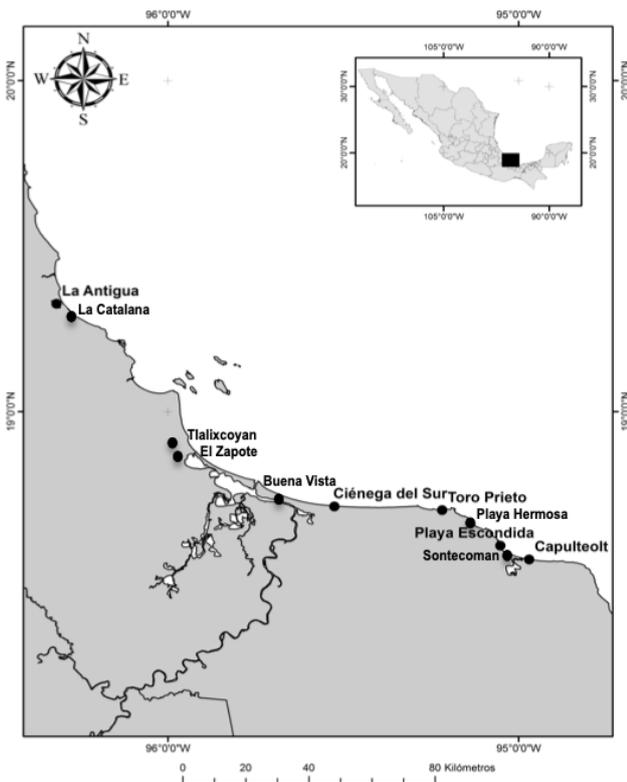


Figura 1. Ubicación geográfica de las poblaciones naturales de *Zamia furfuracea*.

Hoy en día *Z. furfuracea* se encuentra regulada por las leyes mexicanas, para la protección de flora y fauna silvestre, dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) y ha sido catalogada como una especie “En Peligro”, de acuerdo a la IUCN. También se encuentra listada dentro del Apéndice II del CITES. Esto se debe principalmente a que en las últimas cuatro décadas grandes cantidades de plantas adultas, plántulas y semillas, han sido extraídas de sus poblaciones naturales, reduciéndolas hasta en un 40% (Chemnick & Gregory, 2010). Aunado a esto, otros factores antropogénicos, relacionados con el cambio de uso

de suelo, incrementan el riesgo de extinción de las poblaciones naturales de esta especie. Debido a esto, en el año 2010 se estimó, que en las próximas dos décadas, se produciría una reducción mayor del 20% de sus poblaciones naturales (Chemnick & Gregory, 2010).

*Zamia furfuracea* fue incluida dentro del proyecto “Plan de Protección, Conservación y Recuperación de la Familia Zamiaceae (Cycadales) de México” (INE-SEMARNAT-2000), dado su estatus, su importancia económica como planta ornamental y a su gran potencial de uso. De igual forma y con el propósito de contribuir a su conservación y aprovechamiento sustentable, se desarrolló el proyecto “Contribución al establecimiento de una estrategia de manejo para la conservación y aprovechamiento sustentable de tres especies de cícadas endémicas amenazadas: *Ceratozamia mexicana* Brongn., *Zamia furfuracea* L. f. y *Zamia inermis* Vovides, Rees y Vázquez-Torres, en el Estado de Veracruz”. Como parte de este proyecto se realizaron diferentes estudios en *Z. furfuracea*, que permitieron obtener diversos índices de fragmentación, de diversidad y estructura genética dentro y entre sus poblaciones naturales y conocer la proporción sexual así como la viabilidad y germinación de sus semillas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente trabajo se colectaron muestras de seis poblaciones dentro del área de distribución natural de *Z. furfuracea* (Fig. 1). Para el análisis genético-poblacional se colectaron muestras biológicas de 180 individuos adultos, a los cuales se les extrajo el material genético (ADN) utilizando el método de Stewart & Via (1993). Para el análisis de la diversidad genética se utilizaron diez iniciadores de secuencias simples repetidas (SSR), descritos por Meerow & Nakamura (2007). Se estimó el índice de diversidad genética ( $H_e$ ) desarrollado por Nei (1973), utilizando el programa GenAlEx ver. 6.5 (Peakall & Smouse, 2006). La estructura genética entre poblaciones fue evaluada utilizando el programa STRUCTURE 2.3.4 (Falush *et al.*, 2003). El análisis demográfico, se realizó con base a la revisión de la literatura disponible (Vázquez-Torres *et al.*,

2001; Baldo-Romero *et al.*, 2013; Octavio-Aguilar *et al.*, 2017). Se evaluó la viabilidad de las semillas utilizando la técnica de rayos-X; la germinación se determinó siguiendo los estándares internacionales propuestos por el ISTA (2003). Para la caracterización de cada población se estimó el número de individuos en un área de 30 x 200 m (6000 m<sup>2</sup>) así como el porcentaje de perturbación. (Construcción de fraccionamientos, Vías de acceso y Extracción ilegal) con base al indicador propuesto por Martorell & Peters (2005).

### SITUACIÓN ACTUAL DE LAS POBLACIONES NATURALES DE *ZAMIA FURFURACEA*

Los recorridos exhaustivos recientes, que se realizaron a lo largo de la zona costera del Estado de Veracruz, permitieron constatar que dos de las siete poblaciones naturales reportadas previamente (Vázquez-Torres *et al.*, 2001; Limón-Salvador, 2009), se habían reducido drásticamente en los últimos diez años. La población de “Playa Hermosa”, localizada en el municipio de San Andrés Tuxtla, donde estudios previos (Vázquez-Torres *et al.*, 2001) habían reportado la presencia de cientos de individuos, sólo cuenta hoy en día con algunos individuos dispersos, ya que su hábitat natural fue transformado completamente en pastizales. De igual forma, la población de “Barra de Sontecomapan”, ubicada en el municipio de Catemaco, Veracruz, se ha reducido hasta en un 90%, debido al desarrollo turístico de la zona. Con la ayuda de los pobladores locales, se localizaron otras cuatro nuevas poblaciones naturales de *Z. furfuracea*. Así se encontraron, en el extremo norte de su distribución natural y a 80 km de la población más cercana (Tlalixcoyan), las poblaciones naturales de “La Antigua” y “La Catalana”, pertenecientes ambas, al municipio de La Antigua (Baldo-Romero *et al.*, 2013). En el sur, se localizaron las poblaciones naturales de “Playa Escondida” y “Capulteolt”, en el municipio de Catemaco. La población de “Capulteolt” se encuentra ubicada dentro de la Reserva Natural de los Tuxtlas, Veracruz. Las poblaciones mencionadas anteriormente se indican en la Figura 1.

Los resultados obtenidos revelaron que las poblaciones naturales de *Z. furfuracea* se encuentran fuertemente fragmentadas, con un índice promedio del 60% (Favián-Vega *et al.*, datos no publicados). “Ciénega del Sur” y “La Antigua” fueron las poblaciones más afectadas (80%). Los índices de fragmentación calculadas con base a lo propuesto por Martorell & Peters (2005) mostraron que la población de “Ciénega del Sur” ha sido principalmente afectada por las actividades ganaderas, mientras que la “La Antigua”, por el desarrollo urbano. Las pruebas realizadas para la determinación de la viabilidad y de germinación de las semillas de las poblaciones en estudio se correlacionaron con los índices de fragmentación obtenidos. De este modo se encontró que la población de “Ciénega del Sur”, caracterizada por los porcentajes más bajos de viabilidad (60%), mostró también los porcentajes más bajos de germinación (55%), mientras que la población más conservada de “Capulteolt” fue la que presentó los porcentajes más altos de viabilidad y germinación (96%).

La estructura poblacional analizada en las poblaciones naturales de *Z. furfuracea*, mostró que los individuos se agrupan en manchones agregados en radios menores a 10 m (Octavio-Aguilar *et al.*, 2017). La proporción sexual de machos y hembras se mantuvo constante en todas las poblaciones (1:1) (Baldo-Romero *et al.*, 2013; Vázquez-Torres, 2018), con excepción de la población de “Capulteolt”, en la cual se identificó un mayor número (0.6:1) de individuos hembras. Asimismo, se constató la presencia de un mayor número de individuos en estadio de plántulas e individuos adultos en las diferentes poblaciones analizadas. Esto indica que el reclutamiento de individuos es elevado, pero no así la supervivencia de los mismos, ya que la transición de plántulas a juveniles resultó ser menor del 5%.

Resultó de gran interés constatar la presencia de niveles altos de diversidad genética ( $H_e = 0.26$ ) en las poblaciones de *Z. furfuracea* (Favián-Vega *et al.*, datos no publicados). Al parecer los eventos de fragmentación no han afectado en gran medida los niveles de diversidad genética de los individuos adultos. Según se ha indicado (González-Astorga *et al.*, 2006; Meerow & Nakamura, 2007; Meerow *et al.*, 2012; Calonje *et al.*, 2013), esta es una característica particular de la familia Zamiaceae que

posiblemente se deba a las adaptaciones que han desarrollado, principalmente las especies que crecen en el Golfo de México y las Islas del Caribe. Entre estas cabe mencionar la presencia de tallos hipogeos, capaces de crecer en suelos pobres tanto arenosos como rocosos, hojas muy gruesas que soportan la salinidad y la presencia de eventos reproductivos anuales (Vázquez-Torres, 2018; Vovides, 1983). No obstante, resulta preocupante el hecho de que los individuos juveniles y plántulas, cuenten con niveles bajos de diversidad genética ( $H_e = 14.0$  y  $7.0$ , respectivamente) (Octavio-Aguilar *et al.*, 2017).

En cuanto a la estructura genética los estudios genético-poblacionales realizados han permitido identificar la presencia de cuatro grupos genéticos (Favián-Vega *et al.*, datos no mostrados). El grupo 1 se encuentra formado por los individuos de la población de “La Antigua”. El grupo 2 se encuentra integrado por los individuos de la población de “La Catalana”. Estas poblaciones se encuentran ubicadas al norte de la distribución natural de la especie y comparten similitudes genéticas. Sin embargo, aparentemente se encuentran en un proceso de diferenciación, posiblemente debidos a factores antropogénicos relacionados con el cambio de uso de suelo (desarrollo urbano y ganadería). Particularmente, “La Antigua” ha sido muy afectada por la construcción de fraccionamientos en los últimos años, justo en el área donde ésta se desarrolla. Las poblaciones de “Ciénega del Sur, Toro Prieto y Playa Escondida”, ubicadas en el centro de la distribución

de la especie, pero geográficamente aisladas (Fig. 1) forman el tercer grupo genético. Estas poblaciones presentan el mayor número (tres) de grupos genéticos. Teniendo en cuenta que las cícadas muestran una dispersión limitada de polen y semillas (Gong *et al.*, 2015), esto puede deberse al desarrollo de viveros rurales, la reintroducción, el trasplante de individuos y la extracción ilegal de plántulas y semillas, las cuales son prácticas comunes en esta región (Vázquez-Torres, 2018). El cuarto grupo, más homogéneo y aislado genéticamente, estuvo conformado por los individuos de la población de “Capulteolt”. Esta población, ubicada dentro de una reserva natural (Reserva Natural de los Tuxtlas), al extremo sur de la distribución natural de la especie, se caracteriza por su mayor densidad poblacional y por la presencia de individuos de mayor tamaño. Esta población, ha sido ampliamente manejada y aprovechada por los pobladores locales por lo que es común encontrarla en los jardines de casas y escuelas de esta localidad, también sus semillas y plántulas son aprovechadas con fines comerciales y sus plántulas también han sido reintroducidas a la población natural. Es posible que el manejo dirigido realizado por los pobladores, haya incidido, en el mayor número de individuos hembras, y en el mayor grado de homogeneidad genética, observado en esta población.

En el cuadro 1 se resumen algunas características y afectaciones de las poblaciones en estudio.

Cuadro 1. Características y afectaciones de las poblaciones en estudio.

Poblaciones	No. individuos adultos	% perturbación	$H_e$	Problemática
La Antigua	150	70	0.53	Cambio de uso de suelos
La Catalana	280	70	0.52	Ganadería
Ciénega del Sur	100	80	0.53	Ganadería
Toro Prieto	200	40	0.61	Actividades humanas
Playa Escondida	140	50	0.56	Actividades humanas
Capulteolt	300	62	0.50	Extracción ilegal

$H_e$ : Índice de diversidad genética

## IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN

Teniendo en consideración lo mencionado anteriormente, se puede concluir que el estatus general de conservación, en que se encuentra *Z. furfuracea* en Veracruz resulta preocupante. La pérdida de dos de sus poblaciones naturales por factores relacionados con el cambio de uso de suelo ha sido la principal causa. Por tal motivo, y para contribuir a garantizar la preservación de la especie, se han efectuado colectas de semillas en diferentes poblaciones con el fin de establecer un banco de germoplasma *ex situ* (Fig. 2). De igual forma, se trabaja para establecer protocolos efectivos para su conservación y propagación masiva *in vitro*. Sin embargo, el manejo y la conservación *in situ* son factibles, debido a que la planta alcanza una edad reproductiva en menos de cuatro años y presenta todos los años eventos reproductivos. Una sola planta puede llegar a producir hasta 900 semillas con niveles altos de viabilidad y germinación (Vázquez-Torres, 2018; Favián-Vega *et al.*, datos no mostrados). Además, su nivel de diversidad genética resulta alto, por lo que consideramos que la especie cuenta con el potencial evolutivo para adaptarse fácilmente a las condiciones de clima cambiante.

## PROPUESTAS DE CONSERVACIÓN

Las poblaciones naturales de *Z. furfuracea* se encuentran afectadas por diferentes factores, por lo que no es factible establecer una única estrategia de conservación y manejo para esta especie. Por ello se propone establecer estrategias de conservación diferentes para cada una de sus poblaciones naturales. En la población de “La Antigua”, se propone establecer un programa encaminado a la reubicación de todos sus individuos. El régimen de tierra privado y la construcción de fraccionamientos en la zona donde se ubica esta población, la ubican en extremo riesgo de extinción. Sería por tanto conveniente diseñar jardines o parques ecológicos al interior de los fraccionamientos, a fin de conservar a los individuos dentro de su hábitat natural. En la población de “La Catalana”, afectada principalmente por la ganadería, se propone realizar pláticas de concienciación con los ganaderos, con el fin de disminuir las quemadas periódicas en la zona donde se desarrolla la especie, así como incentivar su aprovechamiento. Se ha constatado que los incendios se correlacionan fuertemente con la disminución del número de individuos, sobre todo de las categorías de plántulas y juveniles, así como, con la pérdida de sus niveles



Figura 2. Plántulas de *Zamia furfuracea* germinadas en el Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada (INBIOTECA). Fuente: Favián-Vega, 2017.

de diversidad genética. Una ventaja que presenta la población de “La Catalana”, es que se encuentra ubicada en un área situada a un lado de varias lagunas y humedales. Este sitio fue declarado, en el 2016 como Área Natural Protegida, en la categoría de Corredor Biológico Multifuncional (documento en prensa, 07-11-2016), por el gobierno del Estado de Veracruz, por lo que también se recomienda ejercer presión sobre las autoridades locales, para que favorezcan el desarrollo natural de la especie.

Las poblaciones de “Ciénega del Sur”, “Toro Prieto” y “Playa Escondida” son genéticamente similares y presentan el mayor número de grupos genéticos. Por lo que se propone desarrollar un programa de conservación *in situ*, con el fin de preservar la diversidad genética de la especie, que esté especialmente dirigido a la población de “Playa Escondida”. Esta propuesta se fundamenta en que dicha población es la única que en estudios previos de diversidad genética efectuados mostró la presencia de un alelo exclusivo. Actualmente esta población se encuentra alejada de los asentamientos humanos, ya que crece en suelos rocosos en un acantilado de difícil acceso. Además, la misma se encuentra en los límites de la Reserva Natural de los Tuxtlas, por lo que es factible que pueda ser a futuro incluida dentro de la misma. Un aspecto importante a mencionar es que estas tres poblaciones, crecen en una franja que no supera los 30 m de ancho contiguos a la playa. Esta franja es considerada como Zona Federal Marítimo Terrestre. El uso, aprovechamiento y explotación de esta zona está regulada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Probablemente por esa causa las plantas de esta especie solo se han desarrollado en esta área, aun cuando es común observar la presencia de algunos individuos dispersos que crecen más allá de esta zona. En el caso particular de “Ciénega del Sur”, que fue la que presentó el mayor índice de fragmentación, los niveles más bajos de viabilidad y germinación, un reclutamiento bajo y una alta mortalidad de plántulas se propone la reintroducción de individuos en estadio de juveniles, provenientes de la población de “Playa Escondida”, con el fin de ampliar la base genética de esta población.

Por último, la población de “Capulteolt”, ubicada en el extremo sur de la distribución, es la única que

se encuentra ubicada en un área natural protegida, y por ello no requiere de medidas especiales para su conservación y manejo. Esta población se caracteriza por presentar la mayor densidad de individuos adultos, los mayores porcentajes de viabilidad y germinación y una mayor producción de conos en relación a otras poblaciones. Es ampliamente aprovechada por los pobladores locales, quienes recolectan sus semillas e incluso realizan reintroducciones. Sin embargo, los resultados de su estructura poblacional y proporción sexual difieren del resto de las poblaciones en estudio. La homogenización y pérdida de la variación genética puede ser resultado de del manejo antropogénico, esto a su vez incrementa la depresión consanguínea y la pérdida de posibles alelos adaptativos (Peterson & McCracken, 2005). Aun así, presenta las mejores condiciones para el establecimiento de un vivero rural, pero se requiere la reintroducción de individuos machos adultos provenientes de la población de “Playa Escondida”, con el fin de restablecer la estructura poblacional e incrementar la variación genética, siempre y cuando se mantenga su densidad poblacional.

## CONSIDERACIONES FINALES

La conservación *ex situ* de individuos, de cada una de las poblaciones naturales examinadas, tanto en jardines botánicos como en bancos de semillas, constituye una vía de interés con vistas a contribuir a la conservación de la especie, aunque puede ocasionar pérdidas de su diversidad genética. La conservación *in situ* puede, de igual forma, constituir una vía importante para su conservación ya que posibilita la conservación en su hábitat nativo de todos los grupos de genes (Gong *et al.*, 2015).

De igual forma, para complementar las estrategias de conservación propuestas anteriormente, sería conveniente realizar pláticas de concienciación en los pobladores locales a fin de evitar la deforestación y la extracción ilegal de plantas y semillas de la especie. También se deben incrementar las restricciones legales para reducir la sobreexplotación y la destrucción del hábitat. Se debe contar con políticas públicas locales, regionales o globales, que contribuyan a proteger esta especie en peligro de extinción, sin perjui-

cio a la economía y la cultura de los pobladores. Otro aspecto importante a considerar es la necesidad de brindar asesoría técnica, a fin de que se apliquen los conocimientos técnicos generados, conjuntamente con los conocimientos de los pobladores locales a fin de que se pueda llegar a aprovechar al máximo este valioso recurso. Todas estas acciones podrían ser implementadas simultáneamente, para garantizar la supervivencia y el aprovechamiento sustentable de este valioso recurso genético.

## REFERENCIAS

- Baldo-Romero, M.A., Iglesias-Andreu, L.G., Vázquez-Torres, M., Sánchez-Velásquez, L.R., Luna-Rodríguez, M. & Octavio-Aguilar, P. (2013). Morphometric markers for gender identification in *Zamia furfuracea* L. f. (Zamiaceae). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19:425-434. Doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.03.010>
- Brummitt, N.A., Bachman, S.P., Griffiths-Lee, J., Lutz, M., Moat, J.F., Farjon, A., Donaldson, J.S., Hilton-Taylor, C., Meagher, T.R., Albuquerque, S. & Aletrari, E. (2015). Green Plants in the Red: A Baseline Global Assessment for the IUCN Sampled Red List Index for Plants. *PLoS ONE*, 10:e0135152. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135152>
- Calonje, M., Meerow, A.W., Knowles, L., Knowles, D., Griffith, M.P., Nakamura, K. & Francisco-Ortega, J. (2013). Cycad biodiversity in the Bahamas Archipelago and conservation genetics of the threatened *Zamia lucayana* (Zamiaceae). *Oryx*, 47:190-198. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0030605312000129>
- Carey, E., Gape, L., Manco, B.N., Hepburn, D., Smith, R.L., Knowles, L., Knowles, D., Daniels, M., Vincent, M.A., Freid, E. & Jestrow, B. (2014). Plant conservation challenges in the Bahama archipelago. *The Botanical Review*, 80:265-282. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12229-014-9140-4>
- Chemnick, J. & Gregory, T. (2010). *Zamia furfuracea*. The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2014.3. Consultado 04 mayo, 2018. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org/species/42152/10668734>
- Cibrián-Jaramillo, A., Hird, A., Oleas, N., Ma, H., Meerow, A.W., Francisco-Ortega, J. & Griffith, M.P. (2013). What is the conservation value of a plant in a botanic garden? Using indicators to improve management of *ex situ* collections. *The Botanical Review*, 79:559-577. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12229-013-9120-0>
- Donaldson, J.S. (2003). *Cycads. Status Survey and Conservation Action Plan*. IUCN/SSC Cycad Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. ix + 86 p. Doi: <https://portals.iucn.org/library/node/8203>
- Falush, D.M., Stephens, J.K. & Pritchard (2003). Inference of population structure using multilocus genotype data: linked loci and correlated allele frequencies. *Genetics*, 164:1567-1587.
- Frankel, O. & Soulé, M. (1981). *Conservation and Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge. 366 p. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0030605300017853>
- Gilbert-Norton, L.Y.N.N.E., Wilson, R., Stevens, J.R. & Beard, K.H. (2010). A meta-analytic review of corridor effectiveness. *Conservation Biology*, 24:660-668. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01450.x>
- Gong, Y.Q., Zhan, Q.Q., Nguyen, K.S., Nguyen, H.T., Wang, Y.H. & Gong, X. (2015). The historical demography and genetic variation of the endangered *Cycas multipinnata* (Cycadaceae) in the red river region, examined by chloroplast DNA sequences and microsatellite markers. *PLoS ONE*, 10:e0117719. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117719>
- González-Astorga, J., Vovides, A.P., Octavio-Aguilar, P., Aguirre-Fey, D., Nicolalde-Morejón, F. & Iglesias, C. (2006). Genetic diversity and structure of the cycad *Zamia loddigesii* Miq. (Zamiaceae): Implications for evolution and conservation. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 152:533-544. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00579.x>
- Griffith, M.P., Calonje, M., Meerow, A.W., Francisco-Ortega, J., Knowles, L., Aguilar, R., Tut, F., Sánchez, V., Meyer, A., Noblick, L.R. & Magellan, T.M. (2017). Will the same *ex situ* protocols give similar results for closely related species? *Biodiversity and Conservation*, 26:2951-2966. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1400-2>

- INE-SEMARNAP (2000). Prep 6: Protección, Conservación y Recuperación de la Familia Zamiaceae (Cycadales) de México. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología.
- ISTA: International Seed Testing Association (2003). International Rules for Seed Testing. Edition 2003. Zurich, Switzerland.
- Liddle, D.T. (2009). *Management Program for Cycads in the Northern Territory of Australia, 2009–2014*. Northern Territory Department of Natural Resources, Environment, the Arts and Sport. Darwin, Australia. 37 p. <http://www.territorystories.nt.gov.au/jspui/bitstream/10070/265358/1/Management%20program%20for%20cycads%20in%20the%20Northern%20Territory%20of%20Australia%202009%20to%202014.pdf>
- Limón-Salvador, F. (2009). Genética de Poblaciones de *Zamia furfuracea* L. f. (Zamiaceae); una cícada endémica al estado de Veracruz, México. Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana, México 56 p.
- López-Gallego, C. (2007). Interested in contributing to cycad conservation? Guidelines for establishing your own population monitoring program. *The Cycad Newsletter*, 30:36-37. [https://www.academia.edu/26614685/Interested\\_in\\_contributing\\_to\\_Cycad\\_conservation\\_Guidelines\\_for\\_establishing\\_your\\_own\\_population\\_monitoring\\_program](https://www.academia.edu/26614685/Interested_in_contributing_to_Cycad_conservation_Guidelines_for_establishing_your_own_population_monitoring_program).
- Marler, P.N. & Marler, T.E. (2015). An assessment of red list data for the Cycadales. *Tropical Conservation Science*, 8:1114–1125. Doi: <https://doi.org/10.1177/194008291500800417>
- Martorell, C. & Peters, E.M. (2005). The measurement of chronic disturbance and its effects in the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation*, 124:199-207. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.01.025>
- Meerow, A.W. & Nakamura, K. (2007). Ten microsatellite loci from *Zamia integrifolia* (Zamiaceae). *Molecular Ecology Notes*, 7:824–826. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01716.x>
- Meerow, A.W., Francisco-Ortega, J., Ayala-Silva, T., Stevenson, D.W. & Nakamura, K. (2012a). Population genetics of *Zamia* in Puerto Rico, a study with ten SSR loci. *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 106:204–223.
- Nadarajan, J., Benson, E.E., Xaba, P., Harding, K., Lindstrom, A., Donaldson, J., Seal, C.E., Kamoga, D., Agoos, E.M.G., Li, N. & King, E. (2018). Comparative Biology of Cycad Pollen, Seed and Tissue—A Plant Conservation Perspective. *The Botanical Review*, 84:295-314. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12229-018-9203-z>
- Nei, M. (1973). Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 70:3321-3323. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.70.12.3321>
- Octavio-Aguilar, P., Iglesias-Andreu, L.G., Núñez de Cáceres-González, F.F. & Galván-Hernández, D.M. (2017). Fine-Scale Genetic Structure of *Zamia furfuracea*: Variation with Life-Cycle Stages. *International Journal of Plant Sciences*, 178:57-66. Doi: <https://doi.org/10.1086/689200>
- Okubamichael, D.Y, Jack, S, Bösenberg, J.D.W., Hoffman, M.T & Donaldson, J.S. (2016). Repeat photography confirms alarming decline in South African cycads. *Biodiversity and Conservation*, 11:2153-2170. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1183-x>
- Pathak, M.R. & Abido, M.S. (2014). The role of biotechnology in the conservation of biodiversity. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 2:352-363. Doi: <http://jebas.org/00200421082014/Pathak%20and%20Abido%20JEBAS.pdf>
- Peakall, R. & Smouse, P.E. (2006). GENALEX 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*, 6:288-295. Doi: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
- Peterson, P.M. & McCracken, C.L. (2005). Genetic consequences of reduced diversity: heterozygosity loss, inbreeding depression, and effective population size. In: Krupnick, G.A. & Kress W.J. (eds.), *Plant Conservation*. pp. 194–205. A Natural History Approach. The University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Reed, B.M., Sarasan, V., Kane, M., Bunn, E. & Pence, V.C. (2011). Biodiversity conservation and conservation biotechnology tools. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 47:1-4. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11627-010-9337-0>
- Rutherford, C., Donaldson, J., Hudson, H., Mcgough, H., Sajeva, M., Schippmann, U. & Tse Laurence, M. (2013). *CITES and Cycads – a User's Guide* Royal Botanic Gardens, Kew, UK. 114 p.

- SEMARNAT (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, 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*, 30 de diciembre. 78 p. Disponible en: <http://dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>
- Smith, A.B, Long, Q.G. & Albrecht, M.A. (2016). Shifting targets: spatial priorities for *ex situ* plant conservation depend on interactions between current threats, climate change, and uncertainty. *Biodiversity and Conservation*, 25:905–922. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1097-7>
- Stewart, C.N. & Via, L.E. (1993). A rapid CTAB DNA isolation technique useful for RAPD fingerprinting and other PCR applications. *Biotechniques*, 14:748–750.
- Vázquez-Torres, M., Torres-Hernández, L. & Bojórquez-Galván, L.H. (2001). Distribución, abundancia, estructura poblacional y potencial reproductor de *Zamia furfuracea* L. Universidad Veracruzana. Instituto de Investigaciones Biológicas. *Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. R176. México D. F.* CONABIO, México, 55 p. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfR176.pdf>
- Vázquez-Torres, M. (2018). Distribución, abundancia, estructura poblacional y potencial reproductor de *Zamia furfuracea* L. Base de Datos. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Consultado el 10 de febrero, 2019. Doi: <https://doi.org/10.15468/jwgb49>
- Vite, A., Pulido, M.T., & Vázquez, J.C.F. (2013). Estrategia estatal de conservación de las cícadas (Zamiaceae): una propuesta para el estado de Hidalgo, México. *Revista de Biología Tropical*, 61:1119-1131. Doi: <https://doi.org/10.15517/rbt.v61i3.11908>
- Vovides, A.P. (1983). Zamiaceae. Flora de Veracruz. Fasc. 26. Xalapa Ver. México. 31 p. Disponible en: <http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumenes/FLOWER/26-Vovides.pdf>
- Vovides, A.P. & Iglesias, C. (1994). An integrated conservation strategy for the cycad *Dioon edule* Lindl. *Biodiversity & Conservation*, 3:137-141. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF02291883>
- Vovides, A.P., Iglesias, C., Pérez-Farrera, M.A., Vázquez, M. & Schippmann, U. (2002). Peasant nurseries: A concept for an integrated conservation strategy for cycads in Mexico. In: Maunder, M., Clubbe, C., Hankamer, C. & Groves, M. (eds.) *Plant conservation in the Tropics: Perspectives and Practice*. pp 421–444. Royal Botanic Gardens, Kew, London.
- Walters, T. & Decker-Walters, D. (1991). Patterns of allozyme diversity in the West Indian cycad *Zamia pumila* (Zamiaceae). *American Journal of Botany*, 78:436–449. Doi: <https://bsapubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.1537-2197.1991.tb15206.x>
- Yáñez, L. (2006). Las cícadas, biología y conservación en México. Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México, México. 209 p.

Este número ha recibido una ayuda del Vicerrectorado de Investigación y  
Transferencia de Conocimiento de la Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante