

# ***Mammillaria* (Cactaceae) como indicadora del estado de conservación del ecosistema**

**Teresa Valverde<sup>1</sup> y Víctor Manuel Chávez<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Grupo de Ecología de Poblaciones, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias,

<sup>2</sup>Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales, Jardín Botánico, Instituto de Biología,

Universidad Nacional Autónoma de México

*mtvv@hp.fciencias.unam.mx*

## **Introducción**

Aunque la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria (referida en adelante como Reserva del Pedregal) protege sólo alrededor del 2% del área que ocupaba originalmente este ecosistema, su comunidad vegetal sigue teniendo una riqueza extraordinaria (Carrillo-Trueba, 1995).

En fechas recientes, Castillo *et al.* (2004) colectaron 337 especies vegetales en la Reserva del Pedregal (315 especies de plantas vasculares y 22 pteridofitas). Estos autores hacen notar la discrepancia entre su lista florística y la reportada por Rzedowski (1954) para el matorral xerófilo de la Reserva, pues después de una colecta exhaustiva y detallada, encontraron sólo 152 de las especies que había reportado Rzedowski. Entre las razones que podrían explicar este cambio notable en la composición florística de la comunidad, se menciona el hecho de que la misma se encuentra en un proceso dinámico de sucesión primaria y que, además, ha sufrido una reducción dramática en el área en los últimos 50 años (Castillo *et al.*, 2004). Además de los factores mencionados en el párrafo anterior, sin duda también ha habido un aumento en la frecuencia e intensidad de los disturbios que afectan al Pedregal de San Ángel (como incendios, tiraderos de basura, extracción de roca, efectos asociados a la cercanía con vías de comunicación, áreas habitacionales, entre otros), lo cual probablemente ha tenido un efecto sobre el cambio en la composición florística que se ha observado en este ecosistema. La Reserva del Pedregal se encuentra inmersa en una de las áreas urbanas más

grandes, más contaminadas y más pobladas del mundo. Esto ha determinado que la frecuencia e intensidad de incendios, por ejemplo, se haya incrementado de manera sustancial (Fig. 1). Si bien es posible que ocurrieran incendios eventuales de manera natural en algunos de los ecosistemas del Valle de México, el aumento en la frecuencia de este tipo de perturbaciones, asociado a las actividades humanas, puede ocasionar cambios en su composición florística, causando la desaparición de especies nativas y la entrada de especies ruderales características de zonas perturbadas.

Según lo anterior, cabe preguntarse: ¿cuál es el estado de conservación de la Reserva del Pedregal? Claramente los cambios recientes en la composición florística que hemos documentado, en particular la mayor frecuencia de especies ruderales, representan una luz de alarma que debe tenerse en cuenta. Por otro lado, es importante contar con un monitoreo constante de su estado de conservación para poder tomar las medidas que permitan preservar de la mejor manera este ecosistema. Algunos autores han propuesto que la evaluación del desempeño de las especies más vulnerables de un ecosistema puede utilizarse como una medida de su estado de conservación (Primack, 1993; Soulé, 1993). Según esta idea, las especies vulnerables nos pueden servir de "termómetros", de modo que su comportamiento demográfico, su desempeño y su vigor nos pueden hablar del estado de conservación del ecosistema. Las cactáceas, en general, se han clasificado como especies naturalmente vulnerables (Godínez-Alvarez *et al.*, 2003), por lo que pueden ser útiles para dicha evaluación.

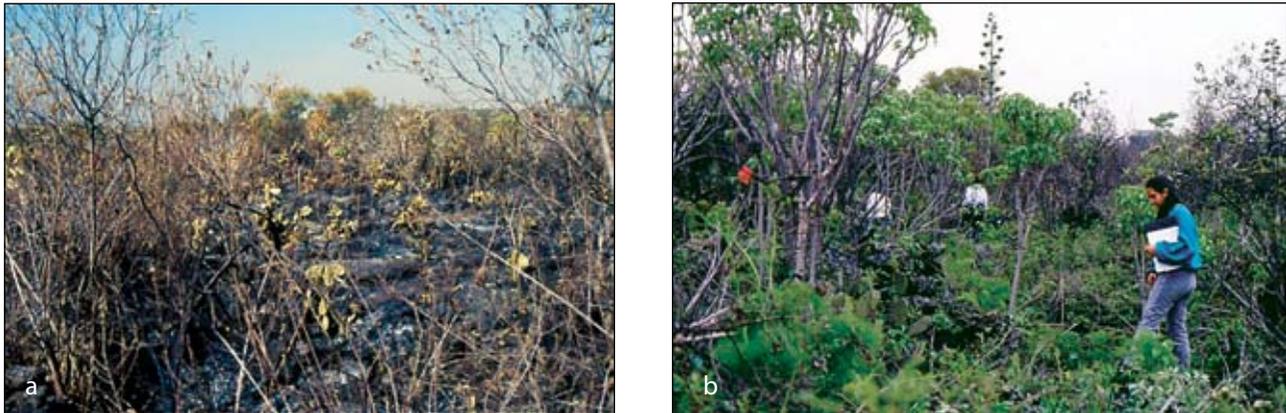


FIG. 1. Aspecto general de a) la zona perturbada (que sufrió un incendio pocos meses antes del inicio del estudio) y b) la zona conservada de la Reserva del Pedregal de San Ángel en las que se llevó a cabo el estudio demográfico de *Mammillaria magnimamma*, entre 1996 y 1998.

En este capítulo se evalúa en qué medida el conocimiento ecológico con el que se cuenta sobre dos de las cactáceas que se distribuyen en el Pedregal (*Mammillaria magnimamma* y *M. san-angelensis*) nos brinda información sobre el estado de conservación de este ecosistema. En la primera sección utilizamos la información derivada de una serie de estudios demográficos y ecofisiológicos llevados a cabo con *M. magnimamma*; y en la segunda nos abocamos a considerar algunas experiencias de propagación *in vitro* de *M. san-angelensis* (por medio del cultivo de tejidos) como una probable estrategia de conservación para ésta y otras especies vulnerables.

### Las cactáceas del Pedregal

México es el más importante centro de concentración de cactáceas, con un alto índice de endemismos a nivel genérico (73%) y específico (78%) (Hernández y Godínez, 1994). Existen poco más de 550 especies reconocidas de cactáceas que se distribuyen en nuestro país (Hunt, 1992), lo cual constituye alrededor del 40% de las especies descritas de esta familia (Anderson *et al.*, 1994).

A pesar de que la comunidad del Pedregal de San Ángel se ha clasificado como un matorral xerófilo (Castillo *et al.*, 2004), su diversidad de cactáceas es más bien baja en comparación con la de otros matorrales xerófilos del país. Las especies de cactáceas que reportó Rzedowski (1954) para el Pedregal de San Ángel fueron seis: *Mammillaria discolor* Haworth, *M. elegans* DC, *M. mag-*

*nimamma* Haworth (Fig. 2), *Opuntia lasiacantha* Pfeiff., *O. tomentosa* Salm-Dyck y *O. tunicata* Link et Otto. Sin embargo, *M. discolor* se distribuye únicamente en las regiones más elevadas del derrame del Xitle. Por otro lado, *M. elegans* se reconoció posteriormente como un sinónimo de *M. san-angelensis* (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991). Valiente-Banuet y de Luna (1994) reportan, además, a *Opuntia robusta* Wendland, que no es una especie nativa del Pedregal, sino que se sospecha que algunos individuos provenientes de los ejemplares del Jardín Botánico han colonizado las zonas núcleo. En el trabajo de Castillo *et al.* (2004) se reportan solamente dos mamilarias (*M. magnimamma* y *M. elegans*) y tres opuntias (*O. robusta*, *O. tomentosa* y *O. rzedowskii* Scheinvar, siendo esta última una sinonimia de *O. lasiacantha*). Adicionalmente, aunque se ha reconocido a *M. san-angelensis* como una especie por propio derecho (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991), en una publicación más reciente se le incluye como una subespecie de *M. haageana* (Guzmán *et al.*, 2003).

La baja diversidad de cactáceas en el Pedregal de San Ángel probablemente esté relacionada con el clima templado que allí prevalece, pues, en general, la diversidad de cactáceas en las regiones templadas de México no es muy alta (Bravo-Hollis, 1978). Sin embargo, las especies presentes son una mezcla muy interesante y de orígenes diversos, pues mientras el género *Mammillaria* se originó en las regiones áridas de México, las opuntias provienen de Sudamérica (Castillo *et al.*, 2004).

## ¿Qué sabemos de las mamilarias del Pedregal?

El género *Mammillaria* es muy numeroso y el más popular para su comercialización, por lo que sus poblaciones silvestres sufren de una extensiva colecta de ejemplares (Ramírez Malagón *et al.*, 2007). Guzmán *et al.* (2003) reconocen 1,025 especies y subespecies mexicanas de *Mammillaria* y muchas de ellas han sido consideradas como amenazadas o en peligro de extinción (NOM-ECOL-059-2001). Este género aparentemente es de origen polifilético y se le considera casi endémico de nuestro país, ya que algunas especies extienden su distribución hacia el sur de los E.U.A. y otras hacia las Antillas, Centroamérica y el norte de Sudamérica (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

### *Mammillaria magnimamma*

Las dos especies que se distribuyen en la Reserva del Pedregal, *M. magnimamma* y *M. san-angelensis*, presentan características morfológicas y ecológicas muy disímiles. Se cree que las poblaciones de ambas especies han registrado disminuciones en su abundancia en las últimas décadas, lo que constituye un elemento de preocupación.

En la Reserva del Pedregal, *M. magnimamma* muestra una temporada de reproducción relativamente larga. Los botones florales empiezan a emerger en febrero y el máximo de floración se observa entre marzo y abril, extendiéndose ésta hasta el mes de junio. Los frutos se observan principalmente durante junio, julio y agosto. Las plantas reproductivas producen entre 4 y 5 botones florales por individuo, pero un número mucho menor (menos de 1) alcanzan a originar un fruto (Quijas-Fonseca, 1999; Valverde *et al.*, 2004).

En 1997 un grupo de investigadores de la Facultad de Ciencias estudiaron dos poblaciones de *M. magnimamma* en la Zona Núcleo Poniente de la Reserva. Se eligieron para ello dos sitios, uno que se consideró "perturbado" y otro "conservado". El sitio perturbado se encontraba cerca de la Avenida de Los Insurgentes, con vegetación predominantemente herbácea, un estrato arbóreo prácticamente ausente, con evidencias de perturbaciones recientes por fuego y una estructu-

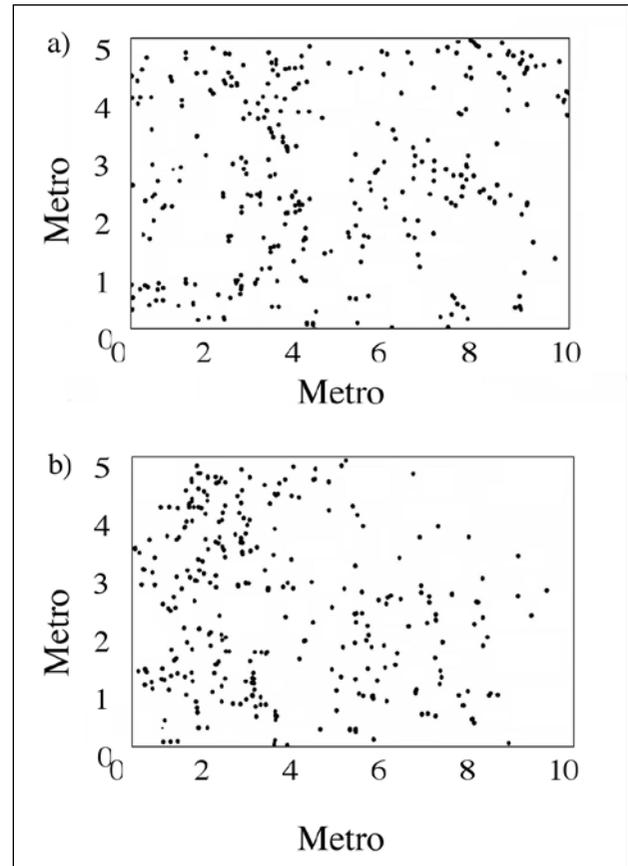


FIG. 2. Distribución de los individuos de *Mammillaria magnimamma* en a) una zona conservada y b) una zona perturbada de la Reserva del Pedregal. Tomado de Valverde *et al.* (1999).

ra y fisonomía de la vegetación que sugieren una alta incidencia de disturbios (Fig. 1a). Por otro lado, el sitio conservado estaba situado hacia el interior de la Zona Núcleo y presentaba un estrato arbóreo relativamente bien desarrollado (con *Buddleia cordata* como dominante), por lo que había una menor radiación lumínica y suelos más profundos y desarrollados; además, no se observaron evidencias de incendios recientes ni de disturbios evidentes (Fig. 1b). Se estudió la abundancia, distribución y dinámica poblacional de *M. magnimamma* en cada uno de estos dos sitios y se registró que la densidad poblacional era de  $662 \pm 5$  ind/ha (promedio  $\pm$  desviación estándar) en la zona conservada, y de  $638 \pm 5$  ind/ha en la zona perturbada (Valverde *et al.*, 1999). En la Fig. 2 se muestra el patrón de distribución de estos individuos en las áreas de estudio.

La información que se tiene sobre la dinámica de la población de *M. magnimamma* en estos dos sitios de la Reserva muestra que el estado de la población es relativamente más saludable en la zona conservada que en la zona perturbada (Tabla 1). De los dos años de estudio, uno (1997-98) fue relativamente más favorable que el otro (1996-97). Aunque en el año menos favorable la tasa de crecimiento poblacional (*l*) fue similar en ambos sitios, en el año favorable la población del sitio conservado mostró una alta tasa de crecimiento poblacional, mientras que la del sitio perturbado sugirió que la población está decreciendo (Tabla 1). La causa fundamental de esta diferencia fue que en el año favorable se observó una mayor producción de frutos y un mayor reclutamiento de plántulas en la zona conservada en comparación con la perturbada. La menor producción de frutos de la zona perturbada en 1996-97 obedeció a que muchas de las plantas se habían quemado el año anterior y sus tejidos vegetativos apenas se estaban recuperando, por lo que no produjeron flores.

La diferencia en la dinámica de estas dos poblaciones se refleja también en la estructura de la población: la zona conservada cuenta con una mayor representación de plántulas y juveniles en comparación con la zona perturbada (Fig. 3).

**Tabla 1.** Tasa finita de crecimiento poblacional ( $l \pm$  intervalo de confianza al 95%) de la población de *M. magnimamma* en dos sitios de la Reserva del Pedregal en dos periodos de estudio. El valor de *l* representa la tasa multiplicativa a la que se espera que la población crezca de un año al otro, dado el comportamiento demográfico que se encuentra representado por una matriz de proyección poblacional de tipo Lefkovitch. Una  $l = 1$  implica que la población se encuentra estable numéricamente. Datos de Valverde et al., 2004).

	Zona conservada	Zona perturbada
1996-97	0.96 ± 0.09	0.97 ± 0.09
1997-98	1.33 ± 0.17	0.94 ± 0.10

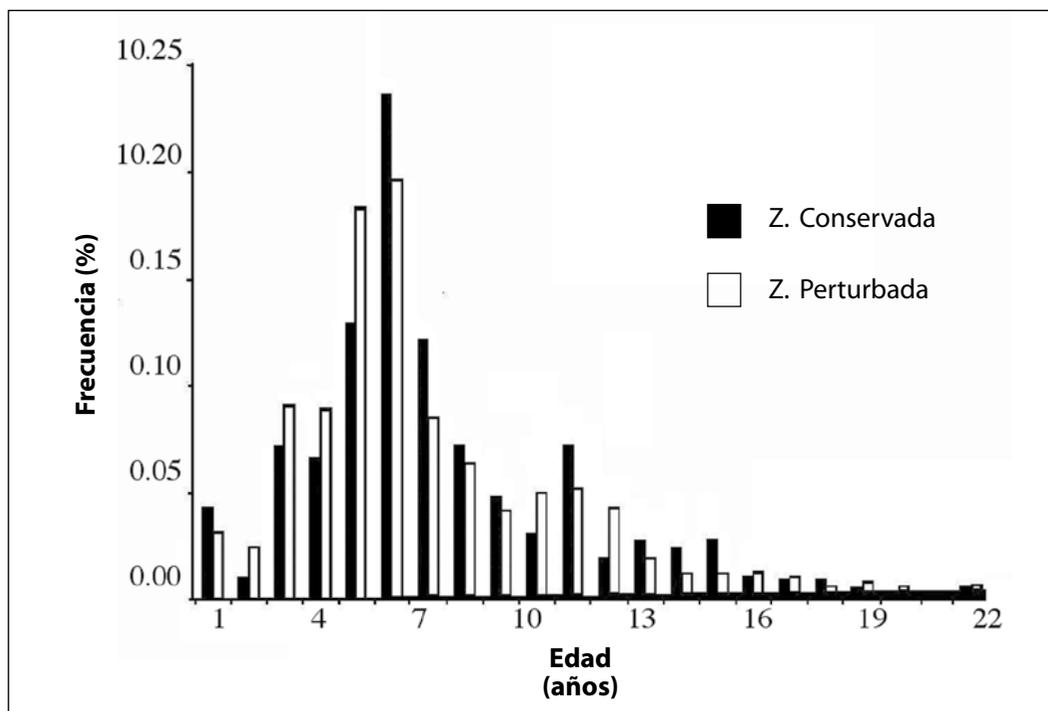


FIG. 3. Estructura de edades de *M. magnimamma* en dos sitios de la Reserva del Pedregal, uno conservado y uno perturbado. Las edades de los individuos se calcularon con base en su tamaño y en su tasa de crecimiento. Tomado de Quijas-Fonseca (1999).

**Tabla 2.** Porcentajes finales de germinación ( $\pm$  error estándar) de las semillas de *M. magnimamma* de dos edades distintas (1 mes y 1 año) sometidas a diferentes tratamientos de germinación. Las condiciones del testigo correspondieron a temperatura fluctuante (15-30°C) y fotoperiodo de 12:12. Los tratamientos de acidez (pH 0.7 y 1.7) y de altas temperaturas (90°C) consistieron en someter las semillas a estos factores antes de la siembra; los de temperatura constante (15 y 25°C) y obscuridad se aplicaron durante el proceso de germinación. Tomado de Ruedas *et al.* (2000).

Tratamiento	Edad de las semillas	
	1 mes	1 año
Testigo	95.0 $\pm$ 1.4	91.25 $\pm$ 2.5
pH 0.7	83.8 $\pm$ 6.3	88.7 $\pm$ 9.4
pH 1.7	86.2 $\pm$ 8.5	92.5 $\pm$ 5.0
90°C 4h	88.7 $\pm$ 13.1	63.7 $\pm$ 7.5
90°C 12h	92.5 $\pm$ 5.0	32.5 $\pm$ 9.5
15°C	87.5 $\pm$ 8.6	91.2 $\pm$ 6.3
25°C	91.2 $\pm$ 7.5	83.7 $\pm$ 4.8
Obscuridad	15.0 $\pm$ 1.3	62.5 $\pm$ 2.0

Además de la información demográfica, se cuenta con datos sobre la germinación de semillas y el crecimiento de las plántulas de *M. magnimamma*. Éstos muestran que las semillas presentan una alta capacidad germinativa (entre 83 y 95%) y se mantienen viables por lo menos por un año (Tabla 2). Soportan que se les someta a tratamientos de acidez, lo cual sugiere que no se verían afectadas si pasaran por el tracto digestivo de animales dispersores, pero disminuyen su capacidad germinativa al ser sometidas a altas temperaturas antes de la germinación, por lo que su germinación sí se vería afectada por la incidencia de incendios. Por otro lado, sus semillas son sensibles a la luz (i.e., su germinación disminuye en condiciones de obscuridad), y dicha sensibilidad se pierde conforme envejecen (Tabla 2). Por último, podemos decir que las plántulas de *M. magnimamma* son de crecimiento lento, tal como ocurre con otras especies tolerantes al estrés), aunque comparadas con otras cactáceas su tasa relativa de crecimiento es más bien alta (0.014–0.027 g/g/día; Ruedas *et al.*, 2000).

### ***Mammillaria san-angelensis***

Se cuentan con muy pocos datos sobre el desempeño de *M. san-angelensis* en la Reserva del Pedregal, y menos aún sobre la manera en la que sus poblaciones se

han visto afectadas por la reducción del área y el aumento en la frecuencia e intensidad de disturbios del ecosistema en el que habita. Se tiene la percepción de que *M. san-angelensis* siempre se ha presentado en bajas densidades por ser una especie naturalmente rara (S. Castillo, com. pers.). No se cuenta con datos sobre el tamaño de la población de la Reserva y no se conoce nada sobre su biología reproductiva, su dinámica poblacional, sus tasas de crecimiento individual y el tipo de microambientes que ocupa. Según estimaciones de algunos investigadores que frecuentan los terrenos de la Reserva, el número de individuos de *M. san-angelensis* que aún existen en ella debe ser de menos de 20 (S. Castillo, com. pers.). Este bajísimo tamaño poblacional nos habla claramente de una viabilidad poblacional muy limitada y de la alta vulnerabilidad de esta especie, que nos sugiere que se encuentra en el límite de una virtual extinción. Este es uno de los casos en los que el estatus de un taxón afecta claramente su categoría de conservación: bajo la concepción de que su identidad es *M. san-angelensis*, se trata de una especie virtualmente extinta (categoría "en peligro de extinción", según la NOM-ECOL-059-2001), pero si se trata de *M. haageana*, su desaparición del Pedregal de San Ángel podría considerarse como la extinción de una población local de una especie que no se encuentra amenazada.

## Propagación *in vitro*

El efecto dañino de las actividades humanas conlleva a que muchas formas de vida se encuentran en riesgo de desaparecer. Entre las principales causas podemos contar la expansión de las poblaciones humanas, la liberación de sustancias tóxicas y la explotación excesiva de plantas y animales. Por otro lado, la restauración de los hábitats alterados es un proceso extremadamente complejo, difícil y costoso que se da de manera lenta y, en muchos casos, existen vacíos de conocimiento sobre cómo llevarla a cabo. Por estas razones es imperativo que se genere tecnología aplicable para aprovechar de manera sostenible a las especies amenazadas o en peligro de extinción.

La posibilidad de utilizar las técnicas del cultivo de tejidos vegetales (CTV) para ayudar a atacar el problema de la desaparición de especies de plantas ha sido ampliamente reconocida (Murashige, 1974; Litz *et al.*, 1998; Rubluo *et al.*, 1993; Chávez *et al.*, 2007). El CTV se basa en la capacidad de las células y tejidos para regenerar plantas completas, homogéneas en cuanto a su tamaño e información genética, libres de patógenos, en grandes cantidades y en tiempos relativamente cortos. Estas técnicas se han utilizado desde hace 35 años para resolver diferentes tipos de problemas agroquímicos: para la micropropagación en horticultura ornamental comercial, en programas de mejoramiento de productos forestales, y en la industria agrícola, en el desarrollo de productos agroquímicos (Murashige, 1974; George, 1993). En la industria forestal algunas de las especies que se han propagado *in vitro* son *Pseudotsuga menziesii*, *Sequoia sempervirens* y varias especies del género *Pinus*, entre otras (Murashige, 1974). En agricultura la micropropagación se ha utilizado en programas de mejoramiento de piña (*Ananas* sp.), cítricos (*Citrus sinensis*), espárragos (*Asparagus officinalis*), arroz (*Oryza* sp.), caña de azúcar (*Saccharum* sp.) y café (*Coffea arabica*) (Murashige, 1974; George, 1993). Asimismo, prácticamente toda la producción de papa (*Solanum tuberosum*) de una marca de frituras muy conocida en México tiene su origen en las técnicas de CTV (Zsolt Maurer-Compañía Sabritas, com. pers.)

El uso de CTV para la propagación de especies nativas está menos desarrollado. Sin embargo, se debe tener en cuenta que posiblemente muchos de los orga-

nismos propagados de esta manera son homogéneos genéticamente, por lo que su reintroducción a las poblaciones naturales debe hacerse con cautela (Piña-Poujol *et al.*, 2007).

Entre los grupos vegetales que requieren con mayor urgencia de la implementación de técnicas de conservación están las orquídeas, las cícadas, las palmas, los pinos, muchas compuestas y las cactáceas. Con respecto a estas últimas, se estima que de los más de 50,000 ejemplares de cactus exportados desde México, menos de 1% son propagados (Moebius-Goldammer *et al.*, 2003). De las especies de cactáceas comerciales, el género *Mammillaria* es el más popular, por lo que sus poblaciones silvestres sufren de una intensa colecta ilegal y muchas de ellas se encuentran en peligro de extinción. Por esta razón, consideramos que deben emplearse todas las tecnologías disponibles para su propagación con fines de conservación (Martínez-Vázquez y Rubluo, 1989).

*Mammillaria san-angelensis* ha sido reportada como extinta por la IUCN (1985). Sin embargo, se sabe que todavía existen algunos ejemplares en la Reserva del Pedregal, por lo que la podemos considerar como casi extinta. Aunque no sabemos con precisión que efecto han tenido los disturbios y la disminución del hábitat sobre esta situación, sí podemos asegurar que la colecta ilegal ha sido uno de los factores que ha mermado a esta población (ver más adelante).

Martínez-Vázquez y Rubluo (1989) lograron la regeneración *in vitro* de *M. san-angelensis* a través de la organogénesis (formación de brotes) directa e indirecta a partir de ápices y de las secciones longitudinales (basales) del tallo de plántulas germinadas asépticamente, así como de plántulas regeneradas de éstas (Fig. 4). Esto se llevó a cabo con tratamientos de BA (benciladenina; 0.1 a 1 mg/l) y en combinación con ANA (ácido naftalenacético; 0.01 mg/l) en medio MS (Murashige y Skoog, 1962), obteniéndose una mayor cantidad de regenerantes a partir de las secciones longitudinales de tallo, a través del desarrollo de las areólas y de yemas adventicias. La formación de brotes ocurrió en el medio de inducción, y la proliferación continuó después del subcultivo en un medio sin reguladores de crecimiento, así como a partir del callo formado.

Se logró una mayor cantidad de brotes con morfología normal en los medios de cultivo "envejecidos" cuando se encontraban deshidratados. Esta deshidratación o endurecimiento de los medios utilizando una alta concentración de gelificante ha sido adecuada para la propagación de plantas de zonas áridas. Se tienen ya varios reportes de especies de cactáceas que se han regenerado *in vitro* (Kolar *et al.*, 1976; Martínez-Vázquez y Rubluo, 1989; Pérez-Molphe, 1998). Rubluo *et al.* (1993) conciben este uso del CTV como una aplicación inmediata para la conservación, no sólo de cactáceas, sino en general de especies vegetales amenazadas.

A casi 20 años del primer cultivo *in vitro* de *Mammillaria san-angelensis*, los cultivos se conservan activos y en proliferación en un medio sin reguladores de crecimiento, lo cual es benéfico y deseable para reducir los riesgos de que se presenten cambios genéticos en los organismos obtenidos. Cuando las plantas regeneradas forman raíces, se les establece en el invernadero del Instituto de Biología; algunas se incorporan al área de Colecciones del Jardín Botánico y muchas otras se ponen a la venta en la tienda "Tigridia" del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM (JBIB-UNAM). Otras más se utilizan como material didáctico en cursos de educación ambiental para difundir la importancia del cuidado de la naturaleza.

De las plántulas de *M. san-angelensis* regeneradas *in vitro* que se obtuvieron a finales de la década de 1980 a partir del trabajo de A. Rubluo, se plantaron algunas alrededor del único ejemplar silvestre que conservaba el JBIB-UNAM. Una vez que se establecieron estas plántulas, se pudo observar que su floración se dio durante septiembre-octubre, en la misma época que floreció el ejemplar silvestre. Lamentablemente este último fue sustraído de manera ilegal de los terrenos del JBIB-UNAM poco después de que se introdujeron los ejemplares producidos por CTV.

Diez años después de que se ensayó la regeneración *in vitro* de *M. san-angelensis*, se llevó a cabo un estudio citogenético sobre el estado del ADN y el nivel de ploidía de las plántulas regeneradas por esa vía, las cuales se cultivaron durante siete años en presencia de auxinas. Entre las plantas del lote testigo (tanto plantas adultas cultivadas en el invernadero, como plántulas jóvenes mantenidas *in vitro* pero sin la adición de reguladores

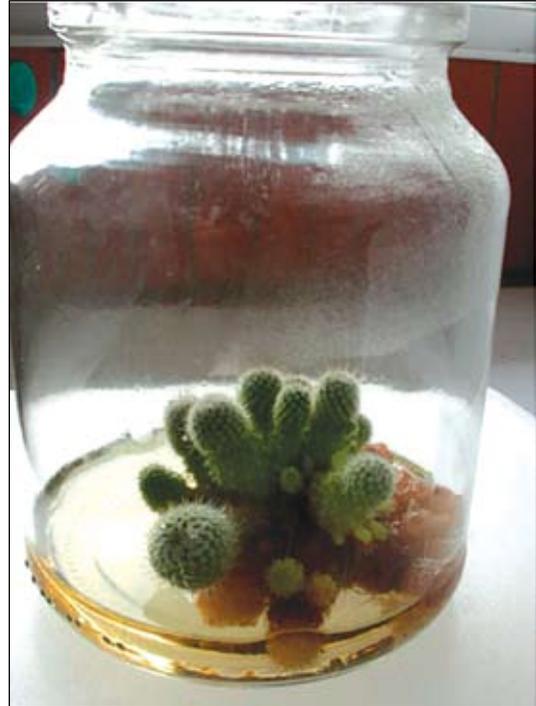


FIG. 4. Cultivo *in vitro* de *M. san-angelensis*.

de crecimiento) se encontró una condición diploide, sin diferencias en el cariotipo, ni en el contenido de ADN (2C) entre individuos. Sin embargo, en el lote de plantas cultivadas en presencia de auxinas se encontraron células con endopoliploidía (2C, 4C, 8C y 16C) (Palomino *et al.*, 1999). En otro estudio realizado por Marín-Hernández (1998) se obtuvieron células proembrionarias a partir del cultivo de óvulos inmaduros; las células proembrionarias se consideran etapas tempranas de embriones somáticos o posiblemente gaméticos. Además, esta autora también logró regenerar brotes vía organogénesis directa e indirecta. En el Apéndice 1 se describe a grandes rasgos el proceso que se ha seguido en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del JBIB-UNAM para propagar a *M. san-angelensis*.

## Discusión y conclusiones

El objetivo central de este capítulo ha sido analizar el estado de conservación de la Reserva del Pedregal de San Ángel con base en una evaluación del desempeño de dos de sus especies más vulnerables, *Mammillaria magnimamma* y *M. san-angelensis*. Este objetivo se desprende del planteamiento de que el estado de conservación de un ecosistema se puede analizar con base en el desempeño de sus especies más vulnerables (Primack, 1993; Soulé, 1993). Quizá la primera pregunta que emerge de nuestro análisis es si las dos mamilarias estudiadas realmente funcionan como "termómetros" que reflejan en alguna medida el estado de conservación del ecosistema a un nivel más global. Consideramos que la respuesta difiere para cada una de las especies consideradas, como se discute a continuación.

La abundancia de *M. magnimamma* en la Reserva del Pedregal es suficientemente alta como para permitir un análisis demográfico detallado y un seguimiento de su desempeño y de sus cambios en densidad a través del tiempo. Según la información con la que se cuenta, efectivamente esta especie presenta cierta vulnerabilidad a los disturbios (al menos los asociados al fuego) y, por lo tanto, nos puede ayudar a evaluar los cambios en el estado de conservación de la Reserva. Para esto, sería importante hacer un seguimiento a largo plazo de su dinámica poblacional y registrar los cambios en su densidad poblacional. La percepción de que sus poblaciones han disminuido en las últimas décadas (S. Castillo, com. pers.) coincide con que sus tasas de crecimiento poblacional en los años de estudio mostraron valores por debajo de la unidad en tres de las cuatro matrices construidas (Tabla 1). Entonces, podemos sugerir que *M. magnimamma* se encuentra en un precario estado de conservación en la Reserva. Por lo anterior, es fundamental tomar medidas para protegerla de los crecientes disturbios y asegurarnos de que su área no sufra más reducciones.

Con respecto a *M. san-angelensis*, su abundancia en la Reserva del Pedregal es tan reducida, que no nos permite utilizarla de manera efectiva como una especie indicadora del estado de conservación de la misma. No es posible realizar un estudio demográfico robusto en una

población tan pequeña. Los tamaños de muestra tan reducidos impiden documentar el estatus de conservación de muchas especies raras (de Kroon *et al.*, 2000).

Cabe preguntarse, sin embargo, si *M. san-angelensis* ha visto su densidad reducida en las últimas décadas como producto de los cambios que ha sufrido el Pedregal de San Ángel y que ya hemos discutido. Realmente es imposible responder a esa pregunta, en vista de que no se cuenta con información fidedigna al respecto. De acuerdo con la opinión de ciertos investigadores, su abundancia siempre ha sido sumamente reducida en el Pedregal de San Ángel (S. Castillo, com. pers.). Si la identidad del taxón realmente corresponde a *M. haageana*, según la propuesta de Guzmán *et al.* (2003), probablemente la población del Pedregal de San Ángel es tan escasa debido a que se encuentra cerca de los límites de su área de distribución. Sin embargo, no cabe duda de que uno de los factores que la ha afectado es la extracción ilegal de ejemplares, como los investigadores del JBIB-UNAM pudieron constatar en el momento en el que se introdujeron plantas de esta especie regeneradas *in vitro* a la colección del mismo Jardín Botánico. Esta extracción de ejemplares probablemente se ha agravado a partir de que se le clasificó como una especie en peligro de extinción. Esto sugiere que asignarle una categoría de amenaza a especies naturalmente escasas y de valor ornamental puede resultar contraproducente, pues las convierte automáticamente en un bien altamentepreciado por los coleccionistas.

Claramente la mejor opción para proteger a *M. san-angelensis*, es el cultivo y propagación *in vitro*, pues de esa manera se pueden producir plantas para la venta, lo cual permitirá reducir la presión de colecta sobre su población natural. Además, eventualmente se podrán reintroducir algunos de estos ejemplares a la misma Reserva con el objeto de aumentar su tamaño poblacional. Unos de los problemas de poblaciones vegetales tan escasas y dispersas es que con frecuencia el éxito reproductivo de sus individuos es muy reducido, pues los polinizadores casi nunca encuentran simultáneamente a dos individuos en flor, por lo que la polinización cruzada no se efectúa y no se forman semillas. Esta es una forma del llamado efecto Alleé, el cual puede determinar el colapso de poblaciones sumamente pequeñas (Primack, 1993). La introducción dirigida de ejemplares producidos *in vitro* a sitios específicos de la Reserva (e.g., cerca

de individuos de *M. san-angelensis* establecidos naturalmente) podría ayudar a reducir el efecto Alleé y permitir que la población se recuperara en alguna medida. Sin embargo, es importante que los individuos que se introduzcan no presenten anomalías genéticas y tengan un genotipo diferente del de los individuos en cuyo vecindario se localizarían (Piña-Poujol *et al.*, 2007).

El valor ecológico de nuestra Reserva es incalculable en todos los sentidos. Atendamos a las señales de alarma que sus especies vulnerables nos envían y redoblemos nuestros esfuerzos para asegurar su permanencia a largo plazo.

### **Apéndice 1.** Proceso de micropropagación de *Mammillaria san-angelensis*

1. A partir de cultivos *in vitro* y bajo condiciones asépticas, elegir los brotes de al menos 1 cm de altura, disectar el ápice (0.3–0.5 cm) y dividir longitudinalmente la parte restante del tallo.
2. Sembrar los explantes con la superficie de corte en contacto con el medio de cultivo.
3. El medio de cultivo a utilizar es el Murashige y Skoog (1962) modificado, reducido a la mitad de la concentración original de sus componentes, con sacarosa 30g/l, pH 5.7, sin reguladores de crecimiento.
4. Al término del primer mes de cultivo, los ápices habrán iniciado la formación de raíces. En los explantes longitudinales, se habrá formado callo en parte del área de corte y algunas areolas habrán iniciado su crecimiento a manera de un pequeño nódulo.
5. Al término del tercer o cuarto mes de iniciados los cultivos, en los explantes longitudinales, se habrán diferenciado pequeños brotes a partir de las areolas, así como en otras zonas de los mismos. El callo habrá aumentado su volumen y habrá diferenciado brotes.
6. A los seis o siete meses a partir de la siembra, el medio de cultivo habrá disminuido y estará deshidratado, observándose un mayor número de brotes. Algunos de ellos habrán formado raíces, los que podrían individualizarse. Los brotes formados en callo comúnmente no forman raíces, por lo que requieren ser individualizados y plantados directamente sobre el medio de cultivo.
7. Los brotes con raíces se podrán extraer de los frascos de cultivo, y entonces proceder a enjuagarlos con agua corriente para eliminar restos del medio de cultivo. Es conveniente dejar las plántulas durante una semana a temperatura ambiente sobre papel absorbente y luego plantarlas en sustrato de tierra negra con tepojal (3:1).

## **Agradecimientos**

Agradecemos al Dr. Antonio Lot Helgueras, Secretario Ejecutivo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, la invitación a participar en la presente publicación. Asimismo, agradecemos a nuestros estudiantes su valioso esfuerzo, pues muchos de los trabajos aquí referidos corresponden a tesis de licenciatura o posgrado realizadas por ellos. Reconocemos el apoyo de la Dra. Mariana Hernández Apolinar durante la edición de este escrito. Los trabajos sobre *M. magnamma* dirigidos por la Dra. Valverde fueron apoyados por el proyecto CONACyT 3181P-N9607.

## Literatura citada

- ANDERSON E. F., S. ARIAS MONTES Y N. P. TAYLOR 1994. Threatened cacti of Mexico. Royal Botanical Gardens, Kew.
- BRAVO-HOLLIS, H. 1978. Las cactáceas de México. Vol 1, 2ª. ed. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- BRAVO-HOLLIS, H. Y H. SÁNCHEZ-MEJORADA. 1991. Las cactáceas de México. 2ª. ed. Vols. 2 y 3. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- CARRILLO-TRUEBA, C. 1995. El Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- CASTILLO-ARGÜERO, S., G. MONTES-CARTAS, M. A. ROMERO ROMERO, Y. MARTÍNEZ OREA, P. GUADARRAMA CHÁVEZ, I. SÁNCHEZ GALLÉN Y O. NÚÑEZ CASTILLO. 2004. Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la reserva ecológica del Pedregal del San Ángel. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **63**: 67-74.
- CHÁVEZ, V. M., S. L. CABRERA, R. E. LITZ Y P. A. MOON, 2007. Recovery of difficult to regenerate species: The cycad example. *Acta Horticulturae*, **738**: 51-61.
- DE KROON, H., J. M. VAN GROENENDAEL Y J. EHRLÉN. 2000. Elasticities: a review of methods and model limitations. *Ecology*, **81**: 607-618.
- GEORGE, E. F. 1993. Plant propagation by tissue culture. Exegetics Ltd., London.
- GODÍNEZ-ALVAREZ, H., T. VALVERDE Y P. ORTEGA-BAES, 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *The Botanical Review*, **69**: 173-203.
- GUZMÁN, U., S. ARIAS Y P. DÁVILA, 2003. Catálogo de cactáceas Mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México-CONABIO, México, D.F.
- HERNÁNDEZ, H. M. Y H. GODÍNEZ, 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botanica Mexicana*, **26**: 33-52.
- HUNT, D. 1992. CITES Cactaceae checklist. Royal Botanical Gardens. Kew. U.K.
- IUCN (INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE). 1985. Rare and threatened plant List Threatened Plant Committee Botanic Gardens Conservation, Coordinating Body, Kew, England.
- KOLAR, Z., BARTEK, J. Y VISKOT, B. 1976. Vegetative propagation of the cactus *Mammillaria woodsii* through tissue cultures. *Experiencia*, **32**: 668-669.
- LITZ, R. E., V. M. CHÁVEZ Y P. A. MOON. 1998. Induction of embryogenic cultures from mature phase tropical and subtropical trees and control of somatic embryomaturation and germination. Pp. 232-243, en: International Foundation for Science (IFS) (ed.). Recent advances in biotechnology for tree conservation and management. Estocolmo, Suecia.
- MARÍN HERNÁNDEZ, T. N. J. 1998. Inducción de respuestas morfogénicas *in vitro* en *Mammillaria san-angelensis* Sánchez-Mejorada, especie en peligro de extinción. Tesis Doctorado en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- MARTÍNEZ-VÁZQUEZ, O. Y A. RUBLUO. 1989. *In vitro* mass propagation of the near extinct *Mammillaria san-angelensis* Sánchez-Mejorada. *Journal of Horticultural Science*, **64**: 99-105.
- MOEBIUS-GOLDAMMER, K. G., M. MATA-ROSAS Y V. M. CHÁVEZ-AVILLA. 2003. Organogenesis and somatic embryogenesis in *Ariocarpus kotschoubeyanus* (Lem.) K. Schum. (Cactaceae) an endemic and endangered Mexican species. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant* **39**: 388-393.
- MURASHIGE, T. 1974. Plant propagation through tissue culture. *Annual Review of Plant Physiology*, **25**: 135-166.
- MURASHIGE, T. Y F. SKOOG, 1962. a revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum*, **5**: 473-497.
- NOM-ECOL-059-2001. Norma Oficial Mexicana de Especies en Peligro de Extinción. Diario Oficial de la Federación. 6 de marzo de 2002.
- PALOMINO, G., J. DOLOZEL, R. CID, I. BRUNNER, I. MÉNDEZ Y A. RUBLUO. 1999. Nuclear genome stability of *Mammillaria san-angelensis* (Cactaceae) regenerants induced by auxins in long-term *in vitro* culture. *Plant Science*, **14**: 191-200.
- PÉREZ-MOLPHE, E., M. E. PÉREZ-REYES, E. VILLALOBOS-AMADOR, E. MEZA-RANGEL, L. R. MORONES-RUIZ Y H. J. LIZALDE-VIRAMONTES. 1998. Micropropagation of 21 species of Mexican cacti by axillary proliferation. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant* **34**: 131-135.
- PRIMACK R. B. 1993. Essentials of Conservation Biology. Sinauer Associates, Inc. Cambridge, Massachusetts.

- PIÑA-POUJOL, P., T. VALVERDE Y J. REYES-SANTIAGO. 2007. Propagación de la especie en peligro de extinción *Echeveria laui* con fines de conservación. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **52**: 4-9.
- QUIJAS-FONSECA, S. 1999. Análisis demográfico por edades de *Mamillaria magnimamma*. Tesis Profesional. UNAM. México.
- RAMÍREZ-MALAGÓN, R., AGUILAR-RAMÍREZ, I., BORO-DANENKO, A., PÉREZ-MORENO, L., BARRERA-GUERRA, J. L., H. G. NÚÑEZ-PALENIUS, Y N. OCHOA-ALEJO. 2007. *In vitro* propagation of ten threatened species of *Mamillaria* (Cactaceae). *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, **43**: 660-665.
- RUBLUO, A., V. CHÁVEZ, A.P. MARTÍNEZ Y O. MARTÍNEZ-VÁZQUEZ. 1993. Strategies for the recovery of endangered orchids and cacti through *in vitro* culture. *Biological Conservation*, **63**: 163-169.
- RUEDAS, M., T. VALVERDE Y S. CASTILLO. (2000). Germinación y crecimiento temprano de *Mamillaria magnimamma*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **66**: 25-35.
- RZEDOWSKI, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, **8**: 59-129.
- SOULÉ M. E. 1993. Viable Populations for conservation. Cambridge University Press. Cambridge.
- VALIENTE-BANUET, A. Y E. G. DE LUNA, 1994. Una lista florística para la reserva del Pedregal de San Ángel. Pp. 67-82. En: Rojo, A. (Comp.). Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: ecología, historia natural y manejo. Universidad Nacional Autónoma de México.
- VALVERDE T., M. L. TREJO Y S. CASTILLO, 1999. Patrón de distribución y abundancia de *Mamillaria magnimamma* en la reserva del Pedregal de San Ángel, México D.F. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, **44**: 64-74.
- VALVERDE, T., S. QUIJAS, , M. LÓPEZ-VILLAVICENCIO Y S. CASTILLO. 2004. Population dynamics of *Mamillaria magnimamma* Haworth. (Cactaceae) in a lava-field in central Mexico. *Plant Ecology*, **170**: 167-184.