

## BIOLÓGIA REPRODUCTIVA DE TRES ESPECIES DE *MAMMILLARIA* HAW. (CACTACEAE) ENDÉMICAS DEL CERRO “LA MESA REDONDA”, JALISCO, MÉXICO

MAURICIO LARIOS-ULLOA<sup>1,\*</sup>, SOFÍA LOZA-CORNEJO<sup>1</sup>, BRENDA YULIANA RAMOS GÓMEZ<sup>1</sup>, HILDA JULIETA ARREOLA-NAVA<sup>2</sup>, ADA MAGDIEL DE GUADALUPE ESPINOSA ROJAS<sup>1</sup> & LAURA MARÍA HERNÁNDEZ PAZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Universitario de Los Lagos, Universidad de Guadalajara, Lagos de Moreno, Jalisco, México. \*E-mail: mauriciolu@hotmail.com.

<sup>2</sup> Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.

Recibido en Marzo de 2015. Aceptado en Mayo de 2015. Publicado en Octubre de 2015.

**RESUMEN** – Se estudió la biología reproductiva de tres especies de *Mammillaria* Haw. (*Mammillaria crinita* DC. subsp. *crinita*, *Mammillaria polythele* Mart. subsp. *polythele* y *Mammillaria uncinata* Zucc. ex Pfeiff.) que se distribuyen en “La Mesa Redonda”, elevación mesetiforme con vegetación de selva baja caducifolia, representativa del municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México. Las variables analizadas incluyeron: morfología y fenología floral (calendario de floración), periodo de fructificación, caracteres morfológicos de frutos y semillas. Los resultados mostraron que la etapa reproductiva (floración-fructificación) de *M. uncinata* ocurre entre los meses marzo-junio; para *M. crinita* subsp. *crinita* la floración-fructificación se presenta en el periodo mayo-septiembre y para *M. polythele* subsp. *polythele* la floración es de junio a octubre, para culminar con la fructificación en enero. La morfología floral es similar en las especies estudiadas, poseen flores campanuladas, hermafroditas y antesis diurna. Las flores de mayor altura ( $16.66 \pm 1.82$  cm) y diámetro ( $16 \pm 0.7$  cm) corresponden a *M. uncinata*. Los valores promedio más altos para longitud, ancho, peso del fruto, número de semillas por fruto, tamaño y peso de semillas corresponden también a *M. uncinata*. Se concluye sobre la importancia de analizar factores microambientales para los sitios particulares de distribución de cada una de las especies y su influencia en la biología reproductiva.

**PALABRAS CLAVE:** *Mammillaria*; cactáceas globosas; fenología reproductiva; flores; frutos.

### REPRODUCTIVE BIOLOGY OF THREE SPECIES OF *MAMMILLARIA* HAW. (CACTACEAE) ENDEMIC TO THE CERRO “LA MESA REDONDA”, JALISCO, MÉXICO

**ABSTRACT** – Reproductive biology of three *Mammillaria* Haw. species (*Mammillaria crinita* DC. subsp. *crinita*, *Mammillaria polythele* Mart. subsp. *polythele* y *Mammillaria uncinata* Zucc. ex Pfeiff.) that are distributed in the “Mesa Redonda” was studied. The “Mesa Redonda” is a mesetiform hill with deciduous forest vegetation, representative of Lagos de Moreno municipality, in Jalisco, Mexico. The variables analyzed included: morphology and floral phenology, fruiting period, and morphological characteristics of fruits and seeds. The results showed that the reproductive stage (flowering and fruiting process), of *M. uncinata* occurs between March-June; flowering and fruit emergency in *M. crinita* subsp. *crinita* occurs in the period from May to September and in *M. polythele* subsp. *polythele* flowering is from June to October, culminating with fruiting in January. The floral morphology is similar in the studied species: bell-shaped flowers, hermaphrodites and daytime anthesis. Flowers of greater height ( $16.66 \pm 1.82$  cm) and diameter ( $16 \pm 0.7$  cm) are present in *M. uncinata*. The highest average values for length, width, fruit weight, number of seeds per fruit, seed size and weight also correspond to *M. uncinata*. We conclude on the importance of analyzing microenvironmental factors for particular sites of distribution of each species and its influence on the reproductive biology.

**KEY WORDS:** *Mammillaria*; globose cacti; reproductive phenology; flowers; fruits.

### BIOLÓGIA REPRODUTIVA DE TRÊS ESPÉCIES DE *MAMMILLARIA* HAW. (CACTACEAE) ENDÉMICAS DA SERRA “LA MESA REDONDA”, JALISCO, MÉXICO

**RESUMO** – Foi estudada a biologia reprodutiva de três espécies de *Mammillaria* Haw. (*Mammillaria crinita* DC. subsp. *crinita*, *Mammillaria polythele* Mart. subsp. *polythele* e *Mammillaria uncinata* Zucc. ex Pfeiff.) que se distribuem em “La Mesa Redonda”, uma elevação planáltica com vegetação de floresta decídua, representativa do município de Lagos de Moreno, Jalisco, México. As variáveis analisadas incluíram: morfologia e fenologia floral (calendário de floração), período de frutificação, caracteres morfológicos de frutos e sementes. Os resultados mostraram que as etapas reprodutivas (floração-frutificação) de *M. uncinata* ocorre entre os meses de março-junho. Para *M. crinita* subsp. *crinita* a floração-frutificação se apresenta no período de maio-setembro e para *M. polythele* subsp. *polythele* a floração é de junho a outubro, para culminar com a frutificação em janeiro. A morfologia floral é similar nas espécies estudadas, que possuem flores campanuladas, hermafroditas e antese diurna. As flores com maior comprimento ( $16,66 \pm 1,82$  cm) e diâmetro ( $16 \pm 0,7$  cm) correspondem a *M. uncinata*. As maiores médias de comprimento, largura, peso do fruto, número de sementes por fruto, tamanho e peso de sementes também correspondem a *M. uncinata*. Conclui-se sobre a importância da análise dos fatores do microambiente para sites específicos de distribuição de cada espécie e sua influência sobre a biologia reprodutiva.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Mammillaria*; cactos globosos; fenologia reprodutiva; flores; frutos.

### INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas tienen importancia especial en México, ya que representan más del 60% de la extensión del territorio. Es en estos hábitats, donde se ha registrado el mayor

número de endemismos de diversas especies de plantas, entre ellas especies de Cactaceae (Rzedowski y McVaugh, 1966; Hernández et al., 2008; Hernández-Hernández et al., 2011). Debido a la importancia de las cactáceas se han desarrollado investigaciones sobre diversos aspectos y se han establecidas

propuestas tendientes a la conservación de las mismas (Gómez-Hinostroza y Hernández, 2000; Hernández *et al.*, 2008). Sin embargo, en las últimas décadas una gran cantidad de especies de esta familia ha sufrido disminución de sus poblaciones, debido a la recolecta indiscriminada de ejemplares en el campo y a la pérdida de hábitats naturales. Se estima, por ejemplo, que la pérdida de vegetación primaria a escala nacional es de aproximadamente 1.5 millones de hectáreas al año. Estos factores, por lo tanto, ejercen presión sobre las poblaciones en el campo. Debe tenerse en cuenta también la limitada habilidad que presentan las cactáceas para restablecerse demográficamente después de un evento de perturbación (Hernández y Godínez, 1994; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003; Martorell y Peters, 2005; Portilla-Alonso y Martorell, 2011). Por estas razones, la familia completa de las cactáceas está incluida en los Apéndices de la Convención Internacional sobre Tráfico de Especies Silvestres y de Flora y Fauna Amenazadas (CITES, 1990). Cabe mencionar, además, que muchas de sus especies están incluidas en el listado de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales. No obstante, se considera a México como una de las 12 regiones prioritarias en el mundo para la investigación y protección debido a su riqueza en biodiversidad (IUCN, 2011), particularmente en especies vegetales.

Un género de Cactaceae de amplia distribución en México es *Mammillaria* Haw. Algunas especies de este género como *Mammillaria uncinata* Zucc. ex Pfeiff., *Mammillaria polythele* Mart., *Mammillaria densispina* (J.M. Coult.) Orcutt, *Mammillaria crinita* DC., *Mammillaria jaliscana* (Britton & Rose) Boed., *Mammillaria gilensis* Boed., *Mammillaria rettigiana* Boed., entre otras, tienen amplia distribución en municipios del estado de Jalisco. De estas especies se eligieron *M. uncinata*, *M. crinita* subsp. *crinita* y *M. polythele* subsp. *polythele* para investigar aspectos de su biología reproductiva. Estas tres especies se encuentran en una zona denominada cerro “La Mesa Redonda”, sitio turístico religioso, el cual a lo largo del año recibe visitantes. Este hecho, junto con otros factores como la urbanización y actividades agrícolas y ganaderas, han originado eventos de perturbación en la zona y en consecuencia una probable tendencia a la disminución de las especies características del mismo. *Mammillaria crinita* subsp. *crinita* y *M. polythele* subsp. *polythele* tienen una distribución exclusiva en dicha zona y son endémicas para el estado de Jalisco, México. Cabe destacar, sin embargo, que para el municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México, no existen trabajos sobre biología de la reproducción de estas especies y otras cactáceas. Algunos estudios, por ejemplo, se limitan a la descripción de la vegetación y taxonomía de las especies, como es el caso del trabajo de Rzedowski y McVaugh (1966), que describen el pastizal y matorral como los tipos de vegetación característicos del municipio de Lagos de Moreno y el estudio de Santana *et al.* (1987), que enlista las especies de Cactaceae presentes en Lagos de Moreno y Ojuelos de Jalisco. Recientemente, Larios-Ulloa *et al.* (2015) realizaron un estudio

demográfico de dos especies de *Mammillaria* en el cerro “La Mesa Redonda”. Por lo anterior, en el presente trabajo de investigación se pretende describir algunos aspectos de la fenología reproductiva de tres especies de *Mammillaria* (*M. crinita* subsp. *crinita*, *M. polythele* subsp. *polythele* y *M. uncinata*), con la finalidad de contribuir al conocimiento de su biología y a corto plazo, al establecimiento de propuestas para su conservación.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

El municipio de Lagos de Moreno está situado en la región Altos Norte del estado de Jalisco, México. Se localiza entre las coordenadas 21°12'00" al 21°55'00" de latitud norte y de los 101°32'30" a los 102°10'30" de longitud oeste, con alturas entre 1,900 a 2,500 msnm. La cabecera municipal que lleva el mismo nombre está a una altitud de 1,942 msnm y abarca una superficie de 2,849.36 km<sup>2</sup> (INEGI, 2014). El noroeste de Jalisco conocido como “Los Altos Norte de Jalisco”, forma parte de la provincia de La Mesa Central, de la cuenca sedimentaria del Río Verde y de los bloques elevados del “plateauriolítico” con predominio de clima tropical subhúmedo y semiseco (Barrera y Zaragoza, 2005). La temperatura media anual es de 18.7 °C y tiene una precipitación media anual de 573.2 mm con régimen de lluvias en los meses de junio a octubre (INEGI, 2014).

### Cerro “La Mesa Redonda”

“La Mesa Redonda” pertenece al macizo antiguo de la Mesa Central ubicada al Noroeste del estado de Jalisco en los límites con Aguascalientes y San Luis Potosí, México. De acuerdo a Barrera y Zaragoza (2005), se le da este nombre por los relieves mesetiformes elevados por encima de los 2,200 y 2,400 msnm que forman parte de la Mesa Central y se encuentran separados por los relieves más bajos del borde occidental por un extenso piedemonte. Se localiza entre los 21°17'20" y 21°17'24" latitud norte y entre 102°00'00" y 102°00'01" longitud oeste (**Figura 1**). Presenta una vegetación de matorral semiseco y selva baja caducifolia donde se encuentran varias especies de cactáceas (**Figura 2**) (INEGI, 2014).

### Registro de variables ambientales

En cada una de las zonas de estudio donde se distribuyen las especies se llevó a cabo un registro de las variables ambientales; temperatura (°C), humedad relativa (%) e intensidad lumínica (Lux), utilizando un datalogger portátil DICKSON y un luxómetro HANNA. El suelo tiene una textura franco-arenosa, con un 13 a 14% de agua aprovechable y un pH que varía entre 5.19 y 6.65.



FIGURA 1. El cerro “La Mesa Redonda”, municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México.

#### Especies de *Mammillaria* estudiadas

*Mammillaria crinita* subsp. *crinita* es una planta rupícola, con una altura de aproximadamente 18 cm; tallos globosos de color verde oscuro, tubérculos cilíndricos de forma oval de unos 6 mm de altura y 4 mm de ancho, axilas con tricomas y lana, espinas radiales de 15-18 divergentes y centrales 0-7, amarillas a rojizas hasta negras de ca. de 8 mm de longitud. *Mammillaria polythele* subsp. *polythele*, es una planta solitaria, globosa, obcónica, de 10-15 cm de largo y 5-8 cm de diámetro; espinas radiales 4, aciculares, ligeramente recurvadas, de ca. 2.1 cm, la espina superior es más larga, de color marrón-amarillento a grisácea, con la punta negra; espinas centrales ausentes. *Mammillaria uncinata*, es una planta solitaria, rara vez cespitosa, de cuerpo globoso, redondeado, con el ápice aplanado, de 3-8 cm de largo y 3.5-10 cm de diámetro, de color verde oscuro; raíz ligeramente pivotante; con tubérculos arreglados en 8-13 series, espinas radiales 4-8, aciculares, de 3-5 mm de largo, las dos superiores más cortas, blancas, divergentes; espina central 1-2, ganchuda, de 4-10 mm de largo, rosa con la punta rojiza a negra.

#### Registro de floración y fructificación

La observación sobre la fenología reproductiva de las especies se llevó a cabo durante el período de marzo a mayo (2014) para floración; y en los meses de enero a mayo y agosto a septiembre (2014) para fructificación. En el sitio de estudio se marcaron las plantas adultas y se censaron cada 15 días durante una sola temporada. Para cada especie se registró el período de floración y fructificación. Las variables registradas para cada una de las especies fueron: la apertura floral durante 12 horas, horario de máxima anthesis, expresión sexual, depredación parcial o total de flores, tamaño del fruto (largo x ancho), promedio de semillas por fruto ( $n = 5$  frutos) y tamaño y peso promedio de semillas ( $n = 20$  semillas de cada especie).

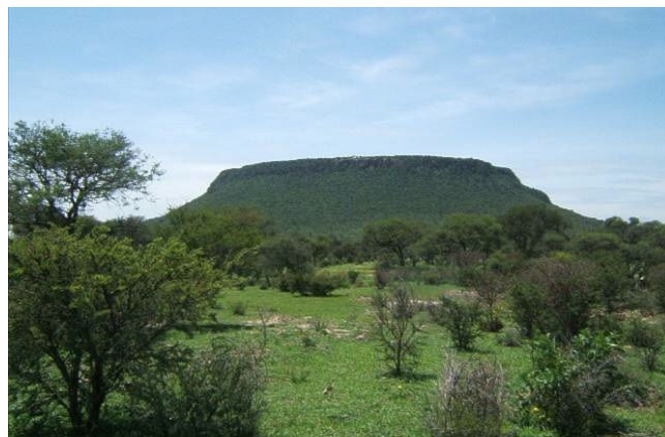


FIGURA 2. El cerro “La Mesa Redonda”, municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México.

Para realizar las mediciones de tamaño de flor (altura, diámetro) y tamaño de semillas se utilizó un vernier digital MITUTOYO; el peso de semillas se hizo con la ayuda de una balanza analítica SCIENTECH 200.

#### RESULTADOS

Se obtuvo un calendario de formación de flores y frutos en cual demuestra que *M. crinita* subsp. *crinita* inicia la formación de botones florales en mayo y florece desde mayo a julio, fructificando en los meses de junio a septiembre. *Mammillaria polythele* subsp. *polythele* presenta botones florales en junio y florece de junio hasta octubre; el desarrollo de frutos se presenta en el mes de enero. Mientras que para *M. uncinata* se observó que en marzo comienza la formación de botones florales y los meses de floración corresponden a marzo y abril, para fructificar en mayo y junio (Tabla 1).

La Tabla 2 muestra los resultados de la altura y diámetro floral de las tres especies de *Mammillaria*, donde se observa que *M. uncinata* presentó las flores de mayor altura ( $16.66 \pm 1.82$  cm), lo cual equivale a una altura mayor que las flores de *M. polythele* subsp. *polythele* ( $3.86 \pm 0.78$  cm) y *M. crinita* subsp. *crinita* ( $12.84 \pm 0.56$  cm). Para el diámetro, las flores de *M. uncinata* se caracterizaron nuevamente por un mayor valor promedio ya que miden  $16.16 \pm 0.74$  cm. Las flores de *M. crinita* subsp. *crinita* miden  $7.74 \pm 0.40$  cm y las flores de *M. polythele* subsp. *polythele* son las más pequeñas en diámetro ( $3.38 \pm 0.69$  cm) (Tabla 2).

La morfología floral de las tres especies de *Mammillaria* estudiadas presenta caracteres distintivos. *Mammillaria crinita* subsp. *crinita* presentó flores de color blanco con franjas centrales amarillas a rosa pálido en cada segmento externo del perianto (Figura 3), *M. polythele* subsp. *polythele* tiene segmentos externos de color rojo púrpura (Figura 4), mientras que en *M. uncinata* se observó una tonalidad blanca con franjas centrales de coloración roja a rosa en los segmentos del perianto (Figura 5).



**TABLA 1.** Calendario de formación de botones florales, flores y frutos durante el período Marzo 2014 - Enero 2015, de tres especies de *Mammillaria* Haw. (Cactaceae) en el cerro “La Mesa Redonda”, municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México. B = Botón Floral; F = Flor; FR = Fruto.

Especie	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Ene.
<i>Mammillaria crinita</i> DC. subsp. <i>crinita</i>	-	-	B, F	B, F, FR	B, F, FR	FR	FR	-	-
<i>Mammillaria polythele</i> Mart. subsp. <i>polythele</i>	-	-	-	B, F	B, F	B, F	F	F	FR
<i>Mammillaria uncinata</i> Zucc. ex Pfeiff.	B	B, F	FR	FR	-	-	-	-	-

**TABLA 2.** Altura y diámetro floral de tres especies de *Mammillaria* Haw. (Cactaceae) en el cerro “La Mesa Redonda”, municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México.

Especie	N	Altura (mm)	Diámetro (mm)
<i>Mammillaria crinita</i> DC. subsp. <i>crinita</i>	25	12.84 ± 0.56	7.74 ± 0.40
<i>Mammillaria polythele</i> Mart. subsp. <i>polythele</i>	25	3.86 ± 0.78	3.38 ± 0.69
<i>Mammillaria uncinata</i> Zucc. ex Pfeiff.	25	16.66 ± 1.82	16.16 ± 0.74



**FIGURA 3.** *Mammillaria crinita* DC. subsp. *crinita* (Cactaceae) en el cerro “La Mesa Redonda”, municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México. Detalle de la flor.



**FIGURA 5.** *Mammillaria uncinata* Zucc. ex Pfeiff. (Cactaceae) en el cerro “La Mesa Redonda”, municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México. Detalle de la flor.



**FIGURA 4.** *Mammillaria polythele* Mart. subsp. *polythele* (Cactaceae) en el cerro “La Mesa Redonda”, municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México. Detalle de la flor.

Las flores de las tres especies se caracterizan por tener forma campanulada y expresión sexual hermafrodita (**Tabla 3**). La **Tabla 4**, presenta la variable de la apertura floral registrada durante un periodo de 12 horas continuas, se observó que la anthesis es diurna, destacando que a las 13:30 horas se registró la apertura máxima para las tres especies, mientras que la apertura mínima se presentó a las 7:30 horas para *M. crinita* subsp. *crinita*, *M. polythele* subsp. *polythele* y *M. uncinata*.

Los datos de tamaño (longitud y ancho) del fruto, así como el peso y número de semillas por fruto de las tres especies de *Mammillaria* se muestran en la **Tabla 5**. *Mammillaria uncinata* presentó los valores de longitud, ancho, peso del fruto y número de semillas por fruto más altos en comparación con las otras dos especies, siguiendo un orden descendente *M. polythele* subsp. *polythele* y por último *M. crinita* subsp. *crinita*.

**TABLA 3.** Morfología floral de tres especies de *Mammillaria* Haw. (Cactaceae) en el cerro “La Mesa Redonda”, municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México.

Especie	Forma	Color	Expresión sexual
<i>Mammillaria crinita</i> DC. subsp. <i>crinita</i>	Campanulada	Blanca con una franja amarilla a rosa pálido	Hermafrodita
<i>Mammillaria polythele</i> Mart. subsp. <i>polythele</i>	Campanulada	Rojo purpura	Hermafrodita
<i>Mammillaria uncinata</i> Zucc. ex Pfeiff.	Campanulada	Blanca con una franja de rojo a rosa	Hermafrodita

**TABLA 4.** Variable apertura floral de tres especies de *Mammillaria* Haw. (Cactaceae) en el cerro “La Mesa Redonda”, municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México. Valores en mm. <sup>1</sup> Los datos representan la media  $\pm$  error estándar.

Especie	Horario													Apertura floral diaria <sup>1</sup>
	7:30	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	
<i>Mammillaria crinita</i> DC. subsp. <i>crinita</i>	4.30	4.31	4.38	4.42	5.43	10.91	14.43	12.88	11.90	11.05	7.81	4.73	4.65	7.78 $\pm$ 1.1
<i>Mammillaria polythele</i> Mart. subsp. <i>polythele</i>	4.27	4.31	5.02	6.07	7.02	10.94	13.23	13.14	12.55	8.75	6.62	5.19	4.60	7.84 $\pm$ 0.9
<i>Mammillaria uncinata</i> Zucc. ex Pfeiff.	11.3	11.3	11.8	12.04	13.19	19.46	20.86	17.60	16.07	15.32	14.16	13.55	13.11	14.6 $\pm$ 0.9
Máxima apertura.	Mínima apertura.													

**TABLA 5.** Longitud (mm), ancho (mm), peso (gr) y número de semillas por fruto de tres especies de *Mammillaria* Haw. (Cactaceae) en el cerro “La Mesa Redonda”, municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México.

Especie	N	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Peso fruto (gr)	Semillas por fruto
<i>Mammillaria crinita</i> DC. subsp. <i>crinita</i>	20	7.70 $\pm$ 0.40	6.40 $\pm$ 0.56	0.10 $\pm$ 0.08	22.80 $\pm$ 0.70
<i>Mammillaria polythele</i> Mart. subsp. <i>polythele</i>	10	13.58 $\pm$ 1.95	3.36 $\pm$ 0.26	0.05 $\pm$ 0.01	51.50 $\pm$ 0.90
<i>Mammillaria uncinata</i> Zucc. ex Pfeiff.	44	16.01 $\pm$ 0.70	8.30 $\pm$ 1.82	0.60 $\pm$ 0.04	96.90 $\pm$ 0.01

**TABLA 6.** Tamaño y peso de semillas de tres especies de *Mammillaria* Haw. (Cactaceae) en el cerro “La Mesa Redonda”, municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México.

Especie	N	Tamaño (mm)	Peso (gr)
<i>Mammillaria crinita</i> DC. subsp. <i>crinita</i>	97	0.075 $\pm$ 0.003	0.001 $\pm$ 0.001
<i>Mammillaria polythele</i> Mart. subsp. <i>polythele</i>	110	0.400 $\pm$ 0.002	0.009 $\pm$ 0.001
<i>Mammillaria uncinata</i> Zucc. ex Pfeiff.	200	0.700 $\pm$ 0.140	1.100 $\pm$ 0.150

La **Tabla 6** muestra los valores promedio de tamaño y peso de las semillas por especie, donde se observa que *M. crinita* tiene los valores más bajos para estas variables, seguida de *M. polythele* y sobresale *M. uncinata* por presentar los registros más altos.

## DISCUSIÓN

La biología reproductiva de especies de Cactaceae es un campo relativamente inexplorado. Debido a la variedad de formas de vida de las especies y sus rutas fotosintéticas, la investigación sobre la diversidad floral se ha enfocado en aspectos de taxonomía, morfología y fisiología de las especies (Gurvich *et al.*, 2008; Mandujano *et al.*, 2010; Ortíz *et al.*, 2010). De manera particular, existe también poca información disponible sobre las características de la biología reproductiva de las especies de *Mammillaria* (Valverde y Zavala-Hurtado, 2006; Giovanetti *et al.*, 2007; Valverde *et al.*, 2015).

El estudio de la fenología reproductiva es de gran importancia para establecer las bases para mecanismos de conservación de las especies de plantas. Se ha establecido, por ejemplo, que las características florales tales como color, tamaño, posición de estructuras reproductivas y tiempo de antesis son diversos y las especies presentan variedad de síndromes de polinización (Aona *et al.*, 2006; Rocha *et al.*, 2007), lo cual influiría de manera sustancial en procesos de reproducción sexual en las especies. Se conoce también que diferentes variables ambientales tales como temperatura, fotoperiodo, precipitación, concentración de nutrientes, pueden influir en el inicio de la floración; en bosques tropicales secos y desiertos, por ejemplo, la variación estacional en precipitación pluvial y disponibilidad de agua del suelo son los factores abióticos primarios que afectan patrones fenológicos de la reproducción (Borchet *et al.*, 2004).

Otra influencia importante en la fenología reproductiva la ejerce el tamaño de la planta. Al respecto, en otras especies de Cactaceae se ha observado que el tamaño de la planta tiene una relación significativa con el número de flores en antesis y con el

número de frutos producidos por cada planta. En *Stenocereus thurberi* (Engelm.) Buxbaum, por ejemplo, se presenta una fenología de floración unimodal con un pico al final de la estación seca. Este patrón es común en otras cactáceas con periodos de floración de dos a cuatro meses. La floración durante la estación seca permite la dispersión de semillas y el reclutamiento de plántulas durante la siguiente estación lluviosa. El tiempo de dispersión es particularmente importante para especies perennes del desierto con reclutamiento episódico debido a que las plántulas se establecen y sobreviven solamente en años que son particularmente benignos, especialmente en términos de la cantidad y distribución de precipitación pluvial. Por otro lado, de acuerdo a Bustamante y Búrquez (2008), el tamaño de la planta afecta la fecundidad y el tiempo de floración. Por tanto, la estructura de la población afecta en gran manera la fenología floral. En algunas especies de *Mammillaria* los periodos de floración están asociados con la temporada de lluvias y la maduración del fruto comúnmente ocurre en épocas de mayor disponibilidad hídrica (Zavala-Hurtado y Valverde, 2003), similar a lo observado en las tres especies estudiadas en la presente investigación.

Las especies de *Mammillaria* estudiadas presentaron flores de forma campanulada y hermafroditas, caracteres consistentes con lo previamente descrito para otras especies del género (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991) y especies de otros géneros (Martínez-Peralta y Mandujano, 2012; Mandujano et al., 2013). El perianto presenta diversos colores que podrían resultar atractivos a los polinizadores. En lo que se refiere a los patrones fenológicos se observó una diferencia significativa en los ciclos reproductivos, *M. crinita* subsp. *crinita* completa su ciclo reproductivo en 5 meses (mayo-septiembre), *M. polythele* subsp. *polythele* completa el ciclo de junio a enero (8 meses), mientras que *M. uncinata* sólo en cuatro meses (febrero-junio). Godínez-Álvarez (2003) menciona que la mayoría de las cactáceas globosas tienen ciclos reproductivos mayores a 5 meses lo que coincide con las tres especies estudiadas, así también como en *Mammillaria huitzilopochtli* D.R. Hunt, que presenta 4 meses sólo de floración (Flores-Martínez, 2013). Esta diferencia en tiempos reproductivos marca una clara estrategia para no competir directamente por los polinizadores. Este hecho también pudiera estar presente en las especies analizadas en la presente investigación, ya que, por ejemplo, a pesar de presentarse diferencias interespecíficas en la morfología floral, sobre todo en relación al tamaño y coloración del perianto, esto no representa una competencia directa entre las especies ya que como se comentó anteriormente, los ciclos reproductivos se llevan a cabo en diferentes periodos a lo largo del año. Sin embargo, al presentar polinizadores generalistas si se pudieran presentar relaciones de competencia con otras especies presentes en la zona.

La apertura floral examinada durante 12 horas para las tres especies de *Mammillaria* mostró que la máxima antesis responde directamente a la incidencia de la luz solar. En otras

especies de *Mammillaria*, por ejemplo, *M. huitzilopochtli*, *Mammillaria pectinifera* F.A.C. Weber y *Mammillaria grahamii* Engelm. y otras cactáceas como *Myrtillocactus schenckii* (J.A. Purpus) Britton & Rose, *Ariocarpus fissuratus* (Engelm.) K. Schum., *Opuntia macrocentra* Engelm. y *Melocactus schatzlii* H. Till & R. Gruber el patrón de antesis presenta este mismo comportamiento (Bowers, 2002; Giovanetti et al., 2007; Casado y Soriano, 2010; Ortíz et al., 2010; Martínez-Peralta y Mandujano, 2011; Martínez-Peralta y Mandujano, 2012; Flores-Martínez et al., 2013; Mandujano et al., 2013; Martínez-Peralta et al., 2014).

El tamaño del fruto y la cantidad de semillas por fruto fue diferente en cada una de las especies estudiadas. *M. uncinata* presentó los valores más altos para longitud del fruto ( $16.01 \pm 0.7$  mm) y mayor cantidad de semillas (97 semillas/fruto), mientras que *M. crinita* y *M. polythele* subsp. *polythele* presentaron valores de longitud de semillas más bajos (7.7 y 13.58 cm respectivamente), y menor cantidad de semillas (23 y 52 semillas/fruto, respectivamente). Para individuos de *M. uncinata* recolectados en otras localidades de Jalisco, México, se han mencionado valores similares para tamaño del fruto, así como del número de semillas/fruto (Loza-Cornejo et al., 2012; Aparicio-Fernández et al., 2013). Esta variabilidad en tamaño del fruto y cantidad de semillas, también ha sido observada en otras especies de *Mammillaria*. *Mammillaria magnimamma* Haw., por ejemplo, se caracteriza por un promedio de 93 semillas por fruto (Valverde et al., 2004), *Mammillaria crucigera* Mart. produce menos semillas (en promedio 20 semillas por fruto) (Contreras y Valverde, 2002), resultados coincidentes con los registrados para las especies de *Mammillaria* de la presente investigación. Para otras especies de cactáceas globosas como *Coryphantha bumamma* (Ehrenberg) Britton & Rose, *Coryphantha clavata* (Scheidw.) Backeb., *Coryphantha cornifera* (DC.) Lem., los valores para tamaño de fruto oscilan entre 1.4 y 2.7 cm de longitud y con un número de semillas desde 56 hasta 99 (Loza-Cornejo et al., 2012; Aparicio-Fernández et al., 2013). Individuos de la cactácea globosa *Ferocactus hirtix* (DC.) G.E. Linds., en contraste, destacan por presentar frutos de mayor tamaño y con una gran cantidad de semillas ( $2100 \pm 90$  semillas/fruto) (Loza-Cornejo et al., 2012).

La producción anual de frutos en cactáceas varía considerablemente entre especies. Para cactáceas columnares, por ejemplo, la formación de frutos varía de 24 frutos/año/individuo en *S. thurberi*, hasta 850 frutos/año/individuo en *Lophocereus schottii* (Engelm.) Britton & Rose (Nassar et al., 2008). De acuerdo a estos autores, la producción de frutos en ambas especies de cardón fue mucho más variable en espacio y tiempo que la producción de flores, sugiriendo que la producción floral es menos dependiente de las condiciones particulares presentes a lo largo del año en una localidad particular, y más dependiente de la condición fisiológica de cada individuo; en contraste, la producción de frutos y semillas (procesos energéticamente más costosos), parecen depender más directamente de la disponibilidad de recursos, entre ellos, el recurso hídrico.



En el caso de las especies de *Mammillaria* de la presente investigación se sugiere profundizar en el estudio de las características que hacen a una especie superior en términos reproductivos (formación de flores y frutos) mediante análisis más detallados de las condiciones microambientales que favorecen o no su potencial reproductivo, ya que para otras especies de Cactaceae se ha demostrado que la fecundidad representada por la formación de flores y frutos, puede ser dependiente de la disponibilidad de recursos (Nassar *et al.*, 2007; 2008; Ortiz *et al.*, 2010). Finalmente, podemos mencionar que el conocimiento de las características de las plantas, tales como mecanismos de reproducción sexual (incluyendo fenología de la floración y germinación de semillas) es crucial para entender las causas de rareza de alguna especie y para implementar mecanismos de conservación de especies con características o atributos particulares, como lo son las especies *M. crinita* subsp. *crinita* y *M. polythele* subsp. *polythele*, endemismos del cerro "La Mesa Redonda" en Lagos de Moreno, Jalisco, México.

## CONCLUSIONES

Se observó que las tres especies tienen ciclos reproductivos diferentes, con periodos de floración-fructificación en fechas diferentes a lo largo del año, lo cual podría influir en minimizar la competencia por polinizadores y dispersores.

Las flores son campanuladas, hermafroditas, y con antesis diurna en las tres especies; se diferencian en color y tamaño, *M. uncinata* presentó las flores de mayor altura, y *M. polythele* subsp. *polythele* las flores más pequeñas. El tamaño y peso del fruto así como tamaño, peso y número de semillas por fruto, fueron mayores para *M. uncinata*.

## LITERATURA CITADA

- Aona LYS, Machado M, Pansarin ER, Castro C, Zappi DC y Amaral MCE. 2006. Pollination biology of three Brazilian species of *Micranthocereus* Backeb. (Cereaceae Cactoideae) endemic to the Campos Rupestres. **Bradleya**, 24: 39-52.
- Aparicio-Fernández X, Loza-Cornejo S, Torres-Bernal MG y Velázquez-Placencia NJ. 2013. Chemical and morphological characterization of *Mammillaria uncinata* (Cactaceae) fruits. **Journal of Professional Association for Cactus Development**, 15: 32-41.
- Barrera R y Zaragoza F. 2005. **Geomorfología del estado de Jalisco, ordenamiento ecológico del estado. Las estructuras del relieve del estado de Jalisco.** Disponible en el sitio web: <http://www.acude.udg.mx/jalisciencia/diagnostico/fisgeolsintes.pdf>
- Borchet R, Meyer SA, Felger RS y Porter-Bolland L. 2004. Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forest. **Global Ecology and Biogeography**, 13: 409-425.
- Bowers JE. 2002. Flowering patterns and reproductive ecology of *Mammillaria grahamii* (Cactaceae), a common, small cactus in the Sonoran Desert. **Madroño** 49: 201-206.
- Bravo-Hollis H y Sánchez-Mejorada H. 1991. **Las Cactáceas de México. Vol. III** Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Bustamante E y Búrquez A. 2008. Effects of plant size and weather on the flowering phenology of the organ pipe cactus (*Stenocereus thurberi*). **Annals of Botany**, 102: 1019-1030.
- Casado R y Soriano PJ. 2010. Fructificación, frugivoría y dispersión en el cactus globular *Melocactus schatzlii* en el enclave semiárido de Lagunillas, Mérida, Venezuela. **Ecotrópicos**, 23(1): 18-36.
- Contreras C y Valverde T. 2002. Evaluation of the conservation status of a rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. **Journal of Arid Environments**, 51: 89-102.
- CITES (Convention on International Trade in Endangered Species). 1990. **Appendix I and II to the Convention. US Fish and Wildlife Service.** Washington. D.C. Disponible en el sitio web: <http://www.eoearth.org/view/article/151445/>
- Flores-Martínez A, Gladys I, Manzanero M, Golubov J y Mandujano MC. 2013. Biología Floral de *Mammillaria huitzilopochtli*, una especie rara que habita acantilados. **Botanical Sciences**, 91(3): 349-356.
- Giovanetti M, Cervera JC y Andrade JL. 2007. Pollinators of an endemic and endangered species, *Mammillaria gaumeri* (Cactaceae) in its natural habitat (coastal dune) and in a botanical garden. **Madroño**, 54(4): 286-292.
- Godínez-Álvarez H, Valverde T y Ortega-Baes P. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. **Botanical Review**, 69: 173-203.
- Gómez-Hinostrosa C y Hernández H. 2000. Diversity, geographical distribution, and conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega region, Mexico. **Biodiversity and Conservation**, 9: 403-418.
- Gurvich DE, Funes G, Giorgis, MA y Demaio P. 2008. Germination characteristics of four Argentinean endemic *Gymnocalycium* (Cactaceae) species with different flowering phenologies. **Natural Areas Journal**, 28(2): 104-108.
- Hernández HM, Goettsch B, Gómez-Hinostrosa C y Arita HT. 2008. Cactus species turnover and diversity along a latitudinal transect in the Chihuahua Desert Region. **Biodiversity Conservation**, 17: 703-720.
- Hernández MH y Godínez H. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. **Acta Botánica Mexicana**, 26: 33-87.
- Hernández-Hernández T, Hernández MH, De-Nova JA, Puente R, Eguiarte LE y Magallón S. 2011. Phylogenetic relationships and evolution of growth form in Cactaceae (Caryophyllales, Eudicotyledonae). **American Journal of Botany**, 98: 44-61.
- INEGI. 2014. **Instituto Nacional de Estadística y Geografía.** Disponible en el sitio web: <http://www.inegi.gob.mx>.
- IUCN. 2011. **Red list of threatened species.** Disponible en el sitio web: <http://uncredlist.org>.
- Larios-Ulloa M, Loza-Cornejo S, Arreola-Nava HJ y Ramos-Gómez BY. 2015. Abundancia y distribución de *Mammillaria crinita* DC. subsp. *crinita* y *Mammillaria polythele* Mart. subsp. *polythele* endémicas del cerro "La Mesa Redonda", Jalisco, México. **Gaia Scientia**, 9(2): 64-70.

- Loza-Cornejo S, Terrazas T y López-Mata L. 2012. Fruits, seeds and germination in five species of globose Cactaceae (Cactaceae) **Interciencia**, 37(3): 197-203.
- Mandujano MC, Carrillo-Ángeles I, Martínez-Peralta C y Golubov J. 2010. Reproductive Biology of Cactaceae. En: Ramawat KG (Ed), **Desert Plants Biology and Biotechnology**. Springer Heidelberg Dordrecht London New York.
- Mandujano MC, Golubov J y Huenneke L. 2013. Reproductive ecology of *Opuntia macrocentra* (Cactaceae) in the Northern Chihuahuan Desert. **The American Midland Naturalist**, 169(2): 274-285.
- Martínez-Peralta C y Mandujano MC. 2011. Reproductive ecology of the endangered living rock cactus, *Ariocarpus fissuratus* (Cactaceae). **Journal of the Torrey Botanical Society**, 138(2): 145-155.
- Martínez-Peralta C y Mandujano MC. 2012. Biología de la polinización y fenología reproductiva del género *Ariocarpus* Schedweiler (Cactaceae). **Cactáceas y Suculentas Mexicanas**, 57(4): 114-127.
- Martínez-Peralta C, Márquez-Guzmán J y Mandujano MC. 2014. How common is self-incompatibility across species of the herkogamous genus *Ariocarpus*?. **American Journal of Botany**, 101(3): 530-538.
- Martorell C y Peters EM. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. **Biological Conservation**, 124: 199-207.
- Nassar JM, Ramírez N, Campo M, González JA, Casado R y Nava F. 2007. Reproductive biology and mating system estimates of two Andean Melocacti, *Melocactus schatzlii* and *M. andinus* (Cactaceae). **Annals of Botany**, 99: 29-38.
- Nassar JM y Emaldi U. 2008. Fenología reproductiva y capacidad de regeneración de dos cardones, *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. y *Cereus repandus* (L.) Mill. (Cactaceae). **Acta Botánica Venezuelica**, 31(2): 495-528.
- Ortiz F, Stoner KE, Pérez-Negrón E y Casas A. 2010. Pollination biology of *Myrtillocactus schenckii* (Cactaceae) in wild and managed populations of the Tehuacán Valley, México. **Journal of Arid Environments**, 74: 897-904.
- Portilla-Alonso RM y Martorell C. 2011. Demographic consequences of chronic anthropogenic disturbance on three populations of the endangered globose cactus *Coryphantha werdermannii*. **Journal of Arid Environments**, 75: 509-515.
- Rocha EA, Machado IC y Zappi DC. 2007. Floral biology of *Pilosocereus tuberculatus* (Wendern.) Byles & Rowley a bat pollinated cactus endemic from "Caatinga" in Northeastern Brazil. **Bradleya**, 25: 129-144.
- Rzedowski J y McVaugh R. 1966. **La vegetación de Nueva Galicia**. Contr. Univ. Michigan Herb. Ann Arbor. Michigan.
- Santana-Michel F, Scheinvar L y Arreola-Nava HJ. 1987. Guía de excursión botánica a Lagos de Moreno y Ojuelos. En: X Congreso Mexicano de Botánica. Guías de Excursiones Botánicas en México VIII. **La Voz de Michoacán**. Morelia, México. pp. 49-74.
- Valverde PL, Jiménez-Sierra C, López-Ortega G, Zavala-Hurtado JA, Rivas-Arancibia S, Rendón-Aguilar B, Pérez-Hernández MA, Cornejo-Romero A y Carrillo-Ruiz H. 2015. Floral morphometry, anthesis, and pollination success of *Mammillaria pectinifera* (Cactaceae), a rare and threatened endemic species of Central Mexico. **Journal of Arid Environments**, 116: 29-32.
- Valverde T, Quijas S, López-Villavicencio M y Castillo S. 2004. Population dynamics of *Mammillaria magnimamma* Haworth (Cactaceae) in a lava-eld in Central Mexico. **Plant Ecology**, 170: 167-184.
- Valverde PL y Zavala-Hurtado JA. 2006. Assessing the ecological status of *Mammillaria pectinifera* Weber (Cactaceae), a rare and threatened species endemic of the Tehuacán-Cuicatlán region in Central Mexico. **Journal of Arid Environments**, 64: 193-208.
- Zavala-Hurtado JA y Valverde PL. 2003. Habitat restriction in *Mammillaria pectinifera*, a threatened endemic Mexican cactus. **Journal of Vegetation Science**, 14: 891-898.