

**MORFOMETRÍA DE SEMILLAS EN LA CACTÁCEA AMENAZADA DE
EXTINCIÓN *ASTROPHYTUM MYRIOSTIGMA* LEMAIRE**

**MORPHOMETRY CACTUS SEED IN THREAT OF EXTINCTION
ASTROPHYTUM MYRIOSTIGMA LEMAIRE**

**Jaime Sánchez-Salas¹, Joel Flores³, Gisela Muro-Pérez¹, Salvador Arias-Montes⁴
y Enrique Jurado²**

¹Laboratorio de Botánica, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad s/n, Fracc. Filadelfia, cp 35010, Gómez Palacio, Durango, México. ²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, ap 41, cp 67700, Linares, N.L., México. ³Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., División de Ciencias Ambientales. Camino a la Presa San José 2055, col. Lomas 4^a. Sección cp 78216. San Luis Potosí, S.L.P., México. ⁴Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Jardín Botánico. Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, ap 70-614, cp 04510, México, DF, México.

RESUMEN

Se presenta un estudio morfométrico y microestructural en semillas de una población de la cactácea amenazada *Astrophytum myriostigma* Lem., removida en su totalidad en el sitio por saqueo. Se incluyen resultados que separan tamaños de semillas y embriones (grandes y pequeños) así como promedios para ambos. Se realizó una descripción de características en la semilla obtenidas mediante estereoscopía. Se incluye una descripción detallada de la forma y color, así como microestructural del funículo, capa funicular y otras estructuras que le acompañan.

Palabras clave: semillas, morfometría, microestructuras, *A. myriostigma*.

ABSTRACT

We present a morphometric and microstructural study in seeds of a population of the threatened cactus *Astrophytum myriostigma* Lem., entirely removed from the location. The results are for size of seeds and embryos (large and small) and description of features in the seed using a stereoscopic microscope. We include a detailed description of the shape, color and structural micro funicle, funicular layer and other surrounding structures.

key words: seeds, morphometry, microstructures, *A. myriostigma*.

INTRODUCCIÓN

La micromorfología de semillas en la familia Cactaceae es diversa en forma, tamaño, color y arreglos tegumentarios (Buxbaum, 1955, Anderson y Ralston 1978, Barthlott y

Voit 1979, Stuppy y Huber 1991, Elizondo-Elizondo *et al.*, 1994). Estas características se relacionan con la capacidad germinativa (Bregman y Bouman 1983, Maiti *et al.*, 1994) y con rasgos estructurales comparados entre especies (Anderson y Ralston, 1978). Se han realizado contribuciones de valor taxonómico en relación con las cubiertas tegumentarias en la familia Cactaceae (Bravo-Hollis, 1978; Barthlott y Voit, 1979) como en semillas de *Neoevansia zopilotensis* (Sánchez-Mejorada, 1977), *Mammillaria seitziana* (Scheinvar 1982), *Aztekium hintonii* (Glass y Maurice, 1992), *Astrophytum capricorne*, *Echinocactus* y *Epithelantha* (Elizondo-Elizondo *et al.*, 1994). *Astrophytum myriostigma* posee las microestructuras de mayor complejidad en este taxón (Barthlott, 1981) y mediante el estudio morfológico y microestructural, se pueden determinar las estructuras tegumentarias externas e internas que las semillas presentan como adaptaciones (Elizondo-Elizondo *et al.*, 1994) para su dispersión en ambientes semiáridos. Afortunadamente se logró obtener un banco de germoplasma de 2 000 semillas de una población de 100 individuos que lentamente por saqueo se extinguió de la zona (Sánchez-Salas *et al.*, 2006). Las semillas formaron parte de un estudio germinativo (Sánchez-Salas *et al.*, 2006) y se utilizaron también para aplicar un estudio morfométrico para conocer aspectos de su dispersión que puedan establecer mecanismos que favorezcan su reproducción en invernadero y su posterior repoblación. Bajo estas consideraciones, se planteó como objetivo realizar un estudio morfológico y microestructural en las semillas de *Astrophytum myriostigma*.

METODOLOGÍA

Obtención de frutos y semillas

En el año 2001 se colectaron 2000 semillas de una población en la sierra El Sarnoso del municipio de Lerdo, Durango, México antes de ser removida en su totalidad por el saqueo irracional. Una parte fue utilizada para realizar estudios germinativos (Sánchez-Salas *et al.*, 2002) de la cual se separaron las semillas en grupos de tamaño (Sánchez-Salas *et al.*, 2002; Lamb, 1959) para tomarles medidas. Las semillas fueron medidas inmediatamente en junio de 2002 para evitar que el proceso de deshidratación modificara los tamaños y características de semillas y embriones.

Separación de las semillas

Las semillas seleccionadas fueron revisadas en estereoscopio para evaluar la calidad morfológica y utilizar solamente las que se encontraban en buen estado. En este proceso se observaron diferencias en cuanto a tamaños, por lo que se separaron y agruparon en dos; semillas pequeñas y grandes (Sánchez *et al.*, 2006).

Análisis métrico

De cada grupo, se seleccionaron aleatoriamente 20 semillas para medirlas en longitud, diámetro, espesor y peso; al igual que en los embriones. El peso de las semillas y embriones se tomó inmediatamente después de pasar por el proceso de secado de 24 horas a temperatura ambiente (Moreno *et al.*, 1992). Solamente se seleccionaron 20 semillas para no alterar las mismas, pues una parte se utilizaría en estudios germinativos, intercambios institucionales y almacenamiento

para estudios germinativos a cuatro años posteriores a su almacenamiento.

Análisis estadístico para grupos de semillas

Considerando que las muestras están relacionadas entre sí, se construyó una base de datos con longitud, diámetro y espesor tanto en semillas como en embriones grandes y pequeños. Esto para aplicar la prueba de *Wilcoxon* considerando que ambas muestras de semillas (pequeñas y grandes) están relacionadas entre sí. Los datos fueron analizados para corroborar las diferencias de los tamaños de semillas con el programa SPSS® 11.0.0. Mediante un análisis estadístico se estableció el tamaño promedio de ambos grupos de semillas y embriones.

Análisis morfológico de la semilla

Mediante estereoscopia se capturaron diferentes ángulos de la semilla, considerando las estructuras características de la especie (Elizondo-Elizondo *et al.*, 1994). Cuatro de las cinco especies del género *Astrophytum* tienen semillas con forma similar, consideradas como de forma navicular (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991); balón (Henrickson y Johnston, 1997) y sombrero (Barthlott y Hunt, 2000).

El género *Astrophytum* se caracteriza por tener un hilo de forma biclavada grande, basal que excede el tamaño del embrión (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991) como se encontró en la especie *A. myriostigma*. Esta estructura presenta de manera marginal pliegues hacia el interior llamados “bordes crateriformes” (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

RESULTADOS

El análisis se dividió en caracteres morfológicos y microestructurales.

Caracteres morfométricos

1. Tamaño. La longitud de semillas (grandes y pequeñas) mostró diferencias significativas ($F = 0.011$; $P < 0.05$) y para peso fue altamente significativa ($F = 0.001$; $P < 0.05$). Para embriones se encontraron diferencias altamente significativas ($F = 0.000$; $P < 0.05$) en longitud, diámetro y peso (cuadro 1).

2. Morfometría de semillas y embriones. Se establecieron los tamaños máximos y mínimos para ambos grupos de semillas y embriones. Las semillas grandes y pequeñas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$) en longitud y peso. En el caso de los embriones son diferentes estadísticamente en longitud, diámetro y peso (cuadro 2).

3. Forma. Sin embargo, las semillas poseen “doble cámara”. La cámara uno (C1) es la superior y de mayor espacio, mientras que la cámara dos (C2) de menor tamaño posee una membrana embrionaria delgada que protege a al embrión (fig. 1).

4. Color. La coloración típica seminal de los taxones de la tribu Cactaeae subfamilia Cactoideae es café rojiza. *A. myriostigma* posee una cubierta seminal lustrosa, dura y casi lisa que a simple vista refleja una tonalidad café oscura o negra brillante y a estereoscopio es café rojiza (fig. 2) de acuerdo con Britton y Rose (1937); Henrickson y Johnston (1997) y Elizondo-Elizondo (1994). Por su parte Bravo-Hollis (1991) la describió de color castaño.

Cuadro 1. Diferencia de tamaños entre semillas y embriones para *A. myriostigma*. Diferentes letras dentro de cada tamaño de semillas y embriones indican diferencia significativa entre ellos ($P < 0.05$). *Diferencia significativa. **Diferencia altamente significativa.

Prueba de Wilcoxon	SEMILLAS (Grandes y Pequeñas)				EMBRIONES (Grandes y Pequeños)			
	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Peso (mg)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Peso (mg)	Espesor (mm)
	0.011a*	0.070b	0.001a**	0.797b	0.000a**	0.000a**	0.000a**	0.001b

Cuadro 2. Tamaño promedio de semillas y embriones en *A. myriostigma* (*Promedio \pm E. E.). Diferentes letras dentro de cada tamaño de semillas y embriones indican diferencia significativa entre tamaños de semillas ($P < 0.05$).

Promedios* en grupos de semillas y embriones				
Medidas	Semillas		Embriones	
	Pequeñas	Grandes	Pequeños	Grandes
longitud (mm)	2.9250 \pm 0.033a	3.1050 \pm 0.032A	1.9000 \pm 0.089a	1.5250 \pm 0.206A
diámetro (mm)	2.1250 \pm 0.075b	2.2150 \pm 0.057B	1.0300 \pm 0.092a	0.9900 \pm 0.013a
espesor (mm)	1.8750 \pm 0.076b	1.8750 \pm 0.063b	0.9210 \pm 0.042b	1.1250 \pm 0.023b
peso (mg)	0.0016 \pm 0.001a	0.0021 \pm 0.001A	0.0016 \pm 0.001a	0.0017 \pm 0.001a

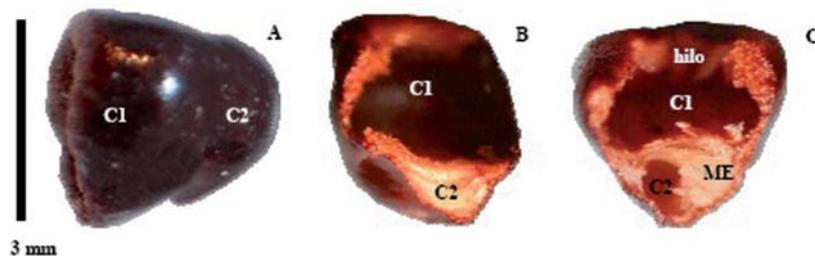


Fig. 1. Semillas en forma de gorro o con doble cámara (1A). La cámara uno (C1) de mayor tamaño (C1) y la segunda cámara (C2) de menor tamaño que guarda y protege el embrión con una delgada membrana embrionaria (1C, ME). Tomada a 20X.

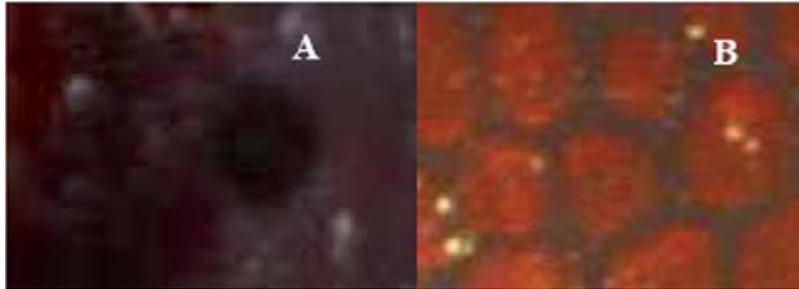


Fig. 2. Coloración que presenta la epidermis de la semilla a simple vista (A) y (B) a través del estereoscopio, tomadas a 4.5 y 50X.

5. Forma del hilo (H). Se observó que a mayor proximidad al margen micropilar se tornan rugosos (fig. 3).

Caracteres microestructurales

6. Funiculo (F). La mayoría de las semillas de *A. myriostigma* presentan un funículo (F) persistente, alargado, quebradizo, el cual se pierde con el transcurso de los días como consecuencia del desprendimiento de las semillas del fruto y por los movimientos que sufre la misma (observación personal). Mide hasta 3 mm de longitud y a través de esta estructura la semilla toma los nutrientes durante su desarrollo en el ovario (fig. 4).

7. Capa funicular (CF). La mayoría de las semillas conservan la capa funicular al caer del fruto, la cual es quebradiza al contacto con la superficie (fig. 5). Este cubre al hilo y se considera como una extensión membranosa de la testa (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

8. Micrópilo (M). No se ubicó con esteoscopía, pero se observó que la mayoría

de las semillas germinan por el gorro o navícula donde se ubica el micrópilo como en Barthlott y Hunt (2000), estructura que conecta el embrión con el exterior y por donde inicia la emergencia del sistema radicular (fig. 6). Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991), mencionaron que es pequeño y se ubica fuera del hilo próximo a la región aquillada.

9. Contorno de células seminales (CCS). El patrón o arreglo de las células seminales presenta un acomodo isomorfológico el cual está representado por formas hexagonales en su mayoría, además de algunos pentágonos resaltados por un límite diferenciado en tonalidad con respecto al contorno (fig. 7).

10. Relieves marginales de las células seminales (RMCS). Comúnmente las uniones epidérmicas seminales son acanaladas. *A. myriostigma* posee uniones planas (fig. 7). Sin embargo, aquellas que se ubican entre los “bordes crateriformes” de las células hexagono-irregulares epidérmicas, pueden aparentar un margen acanalado como consecuencia de la elevación de las mismas (fig. 8).

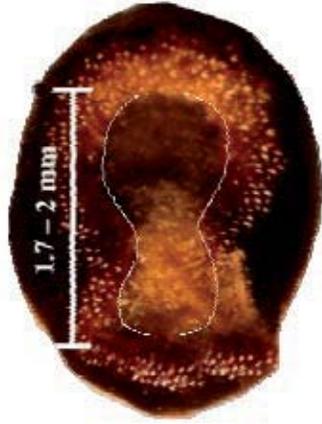


Fig. 3. Se muestra el hilo (línea continua interna) que llega a ser de hasta 2 mm de longitud y 3 mm de diámetro. La rugosidad que rodea el margen de esta estructura se debe a los márgenes acanalados que unen las células epidérmicas hexa y pentagonales.



Fig. 4. El funículo llega a medir hasta 3 mm de longitud (línea extrapolada).

11. Curvatura de la pared periclinal externa (CPPE). De acuerdo a Glass y Foster (1977), la elevación que se observa de las células epidérmicas hexagonales o pentagonales se debe a esta estructura. En *A. myriostigma* la curvatura es ausente, dando apariencia seminal casi plana; sin embargo, la curvatura se puede observar en los “bordes crateriformes” que forman el hilo como consecuencia de la elevación de las células hexágonoirregulares (fig. 8).

12. Relieve de la pared celular externa (RPCE). Se observó un patrón de relieve fino de la pared celular lisa en la totalidad del cuerpo seminal, dando lustrosidad a la misma y conservándose aun en los “bordes crateriformes” (fig. 9).

13. Embrión. Es de forma ovoide recto (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991), se ubica en el gorro de la semilla (C2) protegido por una membrana embrionaria de color blanco amarillento y se oscurece cuando se extrae de la cubierta seminal. Tiene una longitud de 2 mm por 1 mm de ancho y 0.5 mm de espesor (fig.10).

DISCUSIÓN

Morfometría

Los tamaños de las semillas de *A. myriostigma* han sido considerado anteriormente de una manera general (Britton y Rose; 1937; Bravo-Hollis, 1991; Elizondo-Elizondo *et al.*, 1994 y Henrickson y Johnston, 1997),

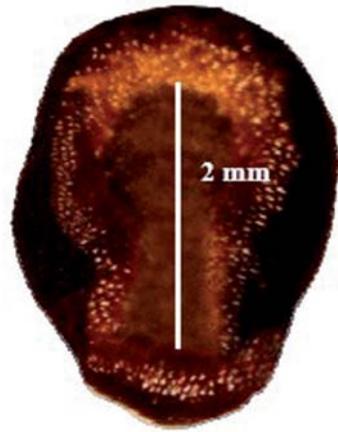


Fig. 5. La capa funicular cubre la cavidad formada por el hilo, es persistente y quebradiza al tacto.

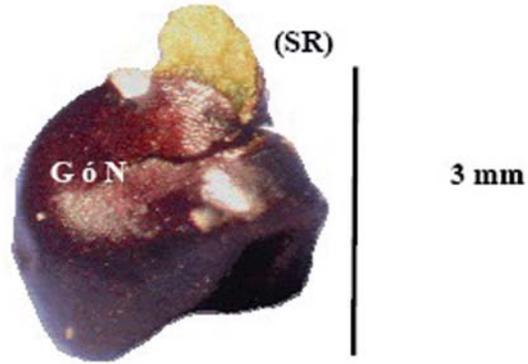


Fig. 6. La germinación inicia con la fractura de la testa a través del micrópilo y con la emergencia del sistema radicular (SR) por el micrópilo que se encuentra entre el gorro o navícula (G ó N). Tomada a 20X.

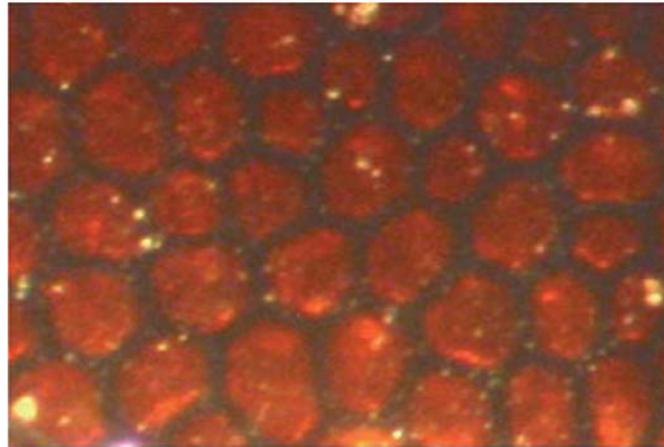


Fig. 7. Las células epidérmicas de la semilla presentan un arreglo isomorfológico con hexágonos y pentágonos limitados por los relieves marginales de las células seminales (RMCS) planos, tomada a 50X.

llegando a establecer medidas para el taxón como si fuera mono-específico (Barthlott y Voit, 1979; Arnim y Deng, 1996). Según Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991), las semillas de esta especie miden 3 mm de longitud y 2 mm de espesor, sin embargo, no consideraron el diámetro ni el peso. El diámetro es una característica importante en esta especie debido a que presenta un hilo extremadamente grande, el cual le hace ser una de las semillas más grandes de la tribu Cactoideae. Según Elizondo-Elizondo *et al.*, (1994) *Astrophytum capricorne* posee una de las semillas de mayor tamaño (1.7-1.8 mm) del género *Astrophytum*, pero esos valores son menores a los que presenta *A. myriostigma* tanto en este estudio como en Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991).

Se han formulado probables respuestas para explicar la formación de distintos tamaños de semillas en las plantas. Al respecto, han determinado que *A. myriostigma* posee semillas de tamaño mediano y grande (Lamb, 1959); sin embargo, no se establecieron las métricas. Esta especie forma dos grupos de tamaño de semillas (grandes 3.105 ± 0.032 mm) y pequeñas (2.925 ± 0.033 mm) que difieren estadísticamente entre sí (Sánchez-Salas *et al.*, 2006). Se sabe que las variantes en tamaños de partículas en general (ej. granos de arena y semillas) experimentan mayor recorrido y movilidad en las mismas (Bagnold, 1979); por tanto, se considera que las semillas pequeñas recorrerán mayores distancias, favoreciendo la dispersión y conservación del germoplasma. Un factor intrínseco de la semilla que pudiera afectar la distancia de la dispersión es la densidad específica que poseen éstas, la cual a mayor masa de la semilla en un mismo volumen, mayor densidad y menor distancia recorrida. Este factor se ve afectado por la temperatura del agua y

el aire, en consecuencia la distancia de la dispersión dependerá además del tamaño de las semillas, de la temperatura que posee el agua y el viento (Munson *et al.*, 1993). El tamaño de semillas es también una estrategia para disminuir la pérdida del banco de germoplasma formado por la especie, debido a que a menor dimensión de las semillas mayor número de pérdida de éstas por fracturas (Moles *et al.*, 2004). Por otro lado, el tamaño de semilla se relaciona con la capacidad de formar bancos terrestres que tendrán mayores posibilidades de germinar en condiciones óptimas (Thompson, 1987; Venable y Brown, 1988); o bien, que el tamaño de semillas puede aumentar o disminuir el desplazamiento en topografías irregulares (Chambers *et al.*, 1991) como en los sitios donde se distribuye la especie, donde abundan rocas (Muro-Pérez *et al.*, 2009) y grietas.

La función de la producción de varios tamaños de semillas en una misma especie, sugiere que semillas grandes poseen mayores nutrientes pero germinación lenta (Harper *et al.*, 1970; Zammit y Zedler, 1990). Autores como Zammit y Zedler (1990), Aiken y Springer (1995), Simons y Johnston (2000) y Baloch *et al.*, (2001) consideraron que las semillas pequeñas poseen pocas reservas de nutrientes pero capacidades germinativas superiores. Autores como Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991); Elizondo-Elizondo *et al.*, (1994) y Henrickson y Johnston (1997) coinciden con el color café rojizo de la testa para *A. myriostigma*, mientras que Barthlott y Hunt, (2000) la consideran café oscuro brillante y manejan una métrica seminal general de 2 a 3 mm en dimensiones, pero no aclaran si corresponde a longitud, diámetro o espesor. En cuanto a

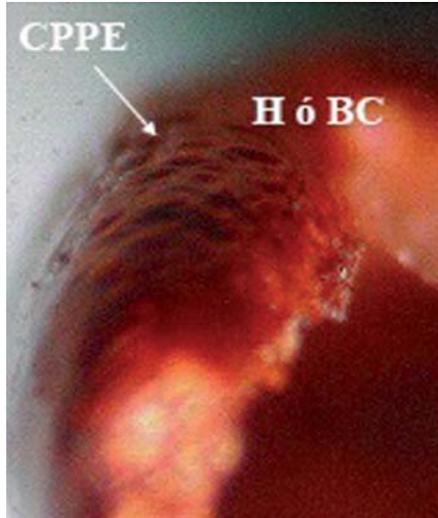


Fig. 8. Las elevaciones que se observan en la superficie de la testa de la semilla se deben a las curvaturas de la pared periclinal externa (CPPE) acentuándose hacia el margen micropilar conocido como hilo o bordes crateriformes. La lustroscidad o brillo de la testa seminal se debe al relieve de la pared celular externa (RPCE).



Fig. 9. Semilla lustrosa por efecto del relieve de la pared celular externa (RPCE).



Fig. 10. Métrica del embrión de *A. myriostigma* donde se observa la parte superior de la segunda cámara que protege el embrión (2) tomada a 15X.

microestructuras, los mismos autores consideraron que la pared celular externa es muy débil y convexa aunque suave, con un hilo hueco muy ensanchado y con forma de tazón. En el presente estudio se constató que dicho hueco corresponde a una de las cámaras, la cual está cubierta por la capa funicular (figs. 1A, 2A y 2B).

Morfología

Astrophytum myriostigma se caracteriza por el hilo que excede el tamaño del embrión, que en conjunto con la pared anticlinal (figs. 2A, 2B y 3A) forman las cámaras seminales (la cámara del embrión y la cámara de aire) que protegen el embrión (Obs. Pers.) y dan la forma peculiar de gorro (Elizondo-Elizondo *et al.*, 1994); Bravo-Hollis, 1991 y Henrickson y Johnston, 1997).

Sin embargo Chapman y Martin (1989) y Schneck (1995) no consideraron la forma de la semilla. De acuerdo con Lauter (2002) las características seminales van ligadas a particularidades del hábitat, y menciona que semillas grandes, ligeras y de forma navicular o de "barco" como las de *A. myriostigma* flotan en el agua y posiblemente son dispersadas a través de escorrentías provocadas por la lluvia en hábitat con poca elevación. Las semillas que se utilizaron para este estudio, se obtuvieron de una localidad con características topográficas similares a las descritas por Lauter, op. cit., con elevaciones desde 1 170 m.s.n.m. hasta 1 340 m.s.n.m.

El mayor peso de la semilla posiblemente se encuentra en la cámara dos (C2) o navícula (figs. 2 A y B) donde se ubica el embrión, la cual le proporciona la posición boyante, que seguramente le permite ejercer un

empuje hacia abajo igual al peso del fluido desalojado (principio de Arquímedes) y ser dispersada a través del agua. Además, en la cámara uno (C1) se ubica la capa funicular que posee cierta permeabilidad temporal y cubre por completo la cámara, evitando posiblemente que el agua entre al interior de la cámara dos (C2).

La cámara uno (C1) es de mayor tamaño y hueca, posiblemente es utilizada como cámara de aire que brinda estructuralmente impermeabilidad y equilibrio durante los movimientos de hidrodispersión provocados por las lluvias torrenciales que se presentan en el hábitat donde se distribuye la especie (Valencia-Castro, 2003). Posiblemente esta flotabilidad prolonga su recorrido (fig. 2B). Lindorf *et al.*, (1985) sugieren que las combinaciones de distintas estrategias de dispersión (policoria) dentro de una misma especie tienden a aumentar su eficiencia. En el caso de *A. myriostigma*, por la forma de barco, presenta dispersión tanto por agua y viento (Bregman, 1988); así como por hormigas, el cual es un mecanismo básico y activo (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991) de dispersión en ambientes áridos (Wunderle, 1997).

La capa funicular tiene adherida el funículo, estructura persistente, alargada (observación personal), que contiene aceites odoríferos que funciona como atrayente para insectos y facilitar su dispersión (Escala y Xena de Enrech, 1991).

El micrópilo fue una de las estructura no consideradas por Elizondo-Elizondo *et al.*, (1994). En el presente estudio no fue posible ubicarlo por estereoscopia, sin embargo, suponemos la ubicación considerando la observación realizada por Bravo-Hollis (1978)

respecto a que la emergencia de la radícula por lo general es a través del micrópilo. El resto de las estructuras fueron de fácil identificación para la descripción, coincidiendo con Engel y Barthlott (1988) quienes consideran que la especie posee microestructuras seminales complejas en la familia Cactaceae y, a su vez, son las de mayor facilidad para su descripción.

CONCLUSIONES

Las semillas de *A. myriostigma* poseen características para hidrodispersión. Morfológicamente posee forma navicular y anatómicamente dos cámaras internas, una que protege al embrión y la segunda que es utilizada como cámara de aire para la flotabilidad. Esta posiblemente depende de la duración de la precipitación en el micro hábitat de la especie. Las semillas poseen una capa funicular donde tiene adherido el funículo que probablemente posee aceites odoríferos que atraen a insectos y facilitan su dispersión en ausencia de agua (mirrecoria).

LITERATURA CITADA

- Aiken, G.E., y T. L. Springer, 1995. "Seed size distribution, germination and emergence of 6 switchgrass cultivars". *J. Range Manage.*, **48**(5): 455-458.
- Anderson, E.F., y M.E. Ralston, 1978. "A study of *Thelocactus* (Cactaceae). I. The status of the proposed genus *Gymnocactus*". *Cact. Suc. J.*, **50**: 216-224.
- Arnim, A., y X. Deng., 1996. "Light control of seedling development". *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, **47**: 215-243.
- Bagnold, R.A., 1979. "Sediment transport by wind and water". *Nordic Hydrology*, **10**(5): 309- 322.
- Baloch, H.A.; A. DiTommaso, y A.K. Watson, 2001. "Intrapopulation variation in *Abutilon theophrasti* seed mass and its relationship to seed germinability". *Seed. Sci. Res.*, **11**(4): 335-345.
- Barthlott, W., y G. Voit, 1979. "Mikromorphologie der Samenschalen und Taxonomie der Cactaceae: Ein raster-elektronenmikroskopischer Überblick". *Plant. Syst. Evol.*, **132**(3): 205-229.
- Barthlott, W., 1981. "Epidermal and seed surface characters of plants: Systematic applicability and some evolutionary aspects". *Nordic Journal of Botany*, **1**: 345-355.
- Barthlott, W., y D. Hunt, 2000. "Seed-Diversity in the Cactaceae subfam. Cactoideae". *Succulent Plant Research*, **5**: 49.
- Barthlott, W., y G. Voit, 1979. "Mikromorphologie der Samenschalen und Taxonomie der Cactaceae: Ein raster-electronenmikroskopischer Überblick". *Plant Syst. Evol.*, **132**: 205-229.
- Bravo-Hollis, H., 1978. *Las cactáceas de México*. vol I. 2da ed. UNAM, pp. 56-58.
- Bravo-Hollis, H., y H. Sánchez-Mejorada. 1991. *Las Cactáceas de México*. vol. II. UNAM, México, pp. 91-98.
- Bregman, R., 1988. "Forms of seed dispersal in the Cactaceae". *Acta Bot. Neerl.*, **37**: 395-402.

- Bregman, R., y F. Bouman, 1983. "Seed germination in Cactaceae". *Bot. J. Linn. Soc.*, **86**(4): 357-374.
- Britton, N.L., y J.N. Rose, 1937. "The Cactaceae: Descriptions and illustrations of plants of the cactus family". vol. III. Dover Publications, Inc. New York, pp. 182.
- Buxbaum, F., 1955. *Morphology of cacti*. Section III. "Fruits and seeds". Pasadena: Abbey Garden Press.
- Chambers, J.C.; J.A. MacMahon, y J.H. Haefner, 1991. "Seed entrapment in alpine ecosystems: effects of soil particle size and diaspore morphology". *Ecology*, **72**(5): 1668-1677.
- Chapman, P., y M. Martin. 1989. *Successful indoor gardening. Exotic Cacti*. HP-Books a division of Price Stern Sloan. pp. 55, 86.
- Elizondo-Elizondo, J.; J. Valdés, S. Arias, y L.S. Hatch, 1994. "Micromorfología de las semillas de algunas cactáceas de la tribu Cactaeae (Cactaceae)". *Cact. Suc. Mex.*, **39**(3): 59-67.
- Engel, T., y W. Barthlott, 1988. "Micro-morphology of epicuticular waxes in Centrosperms". *Plant Syst. Evol.*, **161**: 71-85.
- Escala, M., y N. Xena de Enrech, 1991. "Estudio morfoanatómico de semillas mirmecócoras en un ecosistema semi-árido venezolano". *Orsis*, **6**: 45-59.
- Glass, C., y A. W. Maurice-Fitz, 1992. "Nuevos taxos de cactáceas en Nuevo León, México". *Cact. Suc. Mex.*, **37**: 11-21.
- Glass, C., y R. Foster, 1977. "The genus *Theolocactus* in the Chihuahuan Desert". *Cactus and Succulents Journal (US)* XLIX: 213-220, 244-251, Theolocactus Des, SEM.
- Harper, J.L., P. Lovell, y K.G. Moore, 1970. "The shapes and sizes of seeds". *Annu. Rev. Ecol. Evol. S.*, **1**: 327-356.
- Henrickson, J., y M.C. Johnston, 1997. *A flora of the Chihuahuan Desert Region*. 1st., 2nd. ed. vol. 1. Manuscript. pp. 255-256.
- Lamb, E., 1959. *Cacti from Seed-the Easy Way*. Bradford Press. Londres, RU. 64 pp.
- Lateur, A., 2002. *Las semillas y los frutos. Palma de Mallorca*. Disponible en el URL: http://www.sinix.net/paginas/sargaweb/secciones/cactus_llavors.html
- Lindorf, H., L. de Parisca, y P. Rodríguez, 1985. *Botánica: Clasificación, estructura y reproducción*. Ediciones de la Biblioteca UCV. Caracas. Venezuela.
- Maiti, R.K.; J.L. Hernández, y M. Vaklez, 1994. "Seed ultrastructure and germination of some species of Cactaceae". *Phyton*, **55**: 97-105.
- Moles, A.T.; D.S Falster, M.R Leishman, y M. Westoby, 2004. "Small seeded species produce more seeds per square metre of canopy per year, but not per individual per lifetime". *J. Ecol.*, **92**(3): 384-396.

- Moreno, N.; J.J. López, y L. Arce, 1992. "Aspectos sobre las semillas y su germinación de *Echinomastus mariposensis* Hester". *Cact. Suc. Mex.*, **37**(1): 21-28.
- Munson, B.R.; D.F. Young, y T.H. Okiishi, *Fundamentos de Mecánica de Fluidos*. Ed. Limusa. México.
- Muro-Pérez, G.; U. Romero, J. Flores. y J. Sánchez, 2009. "Algunos aspectos en el nodrizaje en *Astrophytum myriostigma* LEM. (1839) Cactae: Cactaceae, en la sierra El Sarnoso, Durango México". *Boletín Nakari*, **20**(3): 43-48.
- Sánchez, J., y U. Romero, 2002. "Listado de la flora cactológica de la sierra El Sarnoso, Durango, México". *Boletín Nakari.*, **14**(2): 27-36.
- Sánchez-Mejorada, H., 1977. "Notas sobre la semilla de *Neoevansia zopilotensis*". *Cact. Suc. Mex.*, **22**: 93-95.
- Sánchez, J.; J. Flores, y E. Martínez-García, 2006. "Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lemaire (Cactaceae), Especie amenazada de extinción". *Interciencia*, **31**(5): 371-375.
- Scheinvar, L., 1982. "*Mammillaria seitziana*, una especie del Valle de México". *Cac. Suc. Mex.*, **27**(4): 85-90.
- Schneck, M., 1995. *Cacti. An Illustrated identifier too ver 150 representative species*. Shottinng Star Press. pp. 40.
- Simons, A.M., y M.O. Johnston, 2000. "Variation in seed traits of *Lobelia inflata* (Campanulaceae): sources and fitness consequences". *Am. J. Bot.*, **87**(1): 124-132.
- SPSS® V.11.0. 2011. SPSS para Windows. Copyright© SPSS Inc., 1989-1999. E.U.A.
- Stuppy W., y H. Huber, 1991. "Samenmerkmale und Gattungsgliederung der Opuntioideae". *Kakt. andr. Sukk.*, **42**: 122-6.
- Thompson, K., 1987. Seed and seed banks. *New Phytol.*, **106**(1): 23-24.
- Valencia, C.M., 2003. *Plan de Manejo del Parque Estatal "Cañón de Fernández" en el municipio de Lerdo, estado de Durango*. Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Escuela Superior de Biología. 276 pp.
- Venable, D.L., y J.S. Brown, 1988. "The selective interactions of dispersal, dormancy and seed size as adaptations for reducing risks in variable environments". *The American Naturalist.*, **131**: 360-384.
- Wunderle, J.M., 1997. "The rol of animal seed dispersal im accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands". *Forest Ecol. Manag.*, **99**(1-2): 223-235.
- Zammit, C., & P.H. Zedler, 1990. "Seed yield, seed size, and germination behaviour in the annual *Popogyne abramsii*". *Oecologia*, **84**: 24-28.

Recibido: 17 junio 2013. Aceptado: 12 junio 2014.