



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Variación ecomorfológica de *Astrophytum myriostigma*
(Caryophyllales: Cactaceae) en una población de la sierra
El Sarnoso, Durango, México

Ecomorphological variation of *Astrophytum myriostigma* (Caryophyllales: Cactaceae)
in a population of Sierra El Sarnoso, Durango, México

ULISES ROMERO-MÉNDEZ, HUGO LÓPEZ-CORRUJEDO, CRISTINA GARCÍA-DE LA PEÑA*
& JOSÉ LUIS ESTRADA-RODRÍGUEZ

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad s/n, C.P. 35010,
Fraccionamiento Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México

*Autor correspondiente: cristina.g.delapena@gmail.com

RESUMEN

Astrophytum myriostigma Lem es una especie de cactácea endémica de México que presenta polimorfismo, lo cual ha originado que diferentes autores le asignen nomenclaturas basadas únicamente en variantes morfológicas externas debido a las variaciones fenotípicas regionales o sinonimias vernáculas que presenta. En el 2009 se estudió una población de *A. myriostigma* en la sierra El Sarnoso, Durango, México para establecer los morfotipos que presenta esta planta en esta área y determinar si las diferencias en elevación, pendiente, orientación de la ladera y el número de nodrizas ejercen influencia sobre su forma. Esto se estudió bajo el supuesto de que el ambiente modifica la forma externa del organismo. Se establecieron tres morfotipos: cupuliforme, cónica y deprimida. Mediante un análisis discriminante se analizó la relación entre los morfotipos y las cuatro variables ambientales ya mencionadas. Se registró una diferencia significativa entre las medias de los perímetros de los tres morfotipos. También se presentaron correlaciones significativas entre los morfotipos y las variables ambientales, principalmente con la pendiente y la orientación de la ladera.

Palabras clave: ambiente, cactáceas, ecomorfología, morfotipos, variación morfométrica.

ABSTRACT

Astrophytum myriostigma Lem is an endemic Mexican cactus showing polymorphism that has led previous authors to assign taxonomic classifications based just on external morphological variation or vernacular synonyms. In 2009 we studied a population of *A. myriostigma* in Sierra El Sarnoso, Durango, Mexico to establish morphotypes and to determine if they are related to differences in elevation, slope, mountain orientation and number of nurses. We tested whether or not the environment modifies the external form of this cactus. We established three morphotypes: cupuliform, conical, and depressed. We examined the relationship between morphotypes and the four environmental variables by discriminant analysis. There was significant difference between morphotypes perimeter means. Also we obtained significant correlations between morphotypes and environmental variables, mainly with slope and slope orientation.

Key words: cactus, ecomorphology, environment, morphotypes, morphometric variation.

INTRODUCCIÓN

Astrophytum myriostigma Lem es una especie de cactácea endémica de México, catalogada como en peligro de extinción de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT 2010). La principal causa de esta vulnerabilidad ha sido el saqueo sistemático en las zonas

donde crece naturalmente debido a su belleza ornamental.

Esta planta ha sido poco estudiada en cuanto a sus variaciones ecomorfológicas (relación que guarda la forma del organismo y el ambiente en el que crece; López-Gómez et al. 2012) por lo que ha presentado una problemática a nivel taxonómico y nomenclatural desde que fue

descrita por primera vez por Lemaire (1839) en Pizzetti (1985). Se encontró que esta especie presenta una variabilidad intraespecífica muy marcada en el color, la forma del tallo, la cantidad de borlas sobre la epidermis, el perímetro y diámetro, así como en la forma y número de costillas (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1978).

Se ha registrado que esta especie presenta polimorfismos que van desde cuatro hasta ocho costillas (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1978) y se pueden encontrar formas columnares (alargadas) y globosas según la espesura de la vegetación circundante, ya que cuando crecen entre vegetación espesa se vuelven columnares (Hooek & Baumann 1991, 1998). Hájek (1977) realizó los primeros registros del género y sus variedades y sus observaciones se enfocaron en la forma de las costillas dextrógiras o levógiras en plantas contiguas, así como en la ausencia y desprendimiento de borlas lo que les daba diferentes coloraciones. Se han observado diferentes coloraciones en esta

especie (Galeotti 1839, Purpus 1911) y se cree que el color consiste básicamente en la cantidad de borlas sobre la epidermis, generalmente blanca. Cuando la cantidad de borlas sobre la epidermis es muy abundante el individuo presenta un aspecto blanquecino y cuando es ralo son de apariencia verdosa (Hooek & Baumann 1991, 1998).

Esta problemática en cuanto a la morfología ha causado que diferentes autores le asignen nomenclaturas basadas solamente en variantes externas como consecuencia de las variaciones fenotípicas regionales que presenta (Tabla 1).

Britton & Rose (1937) reconocen cuatro especies con cinco sinonimias sin variedades. Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada (1991) reconocen cuatro especies con un total de 34 sinonimias basadas principalmente en forma, ausencia o presencia de borlas y número de costillas, así como 13 sinonimias vernáculas. Guzmán et al. (2007) reconocen cuatro especies con 21 sinonimias. Hooek (1993) y Montanucci (2008) reconocen la especie *Astrophytum*

TABLA 1
Autoridades taxonómicas, nomenclatura y sinonimias del genero *Astrophytum*.
Taxonomic authors, nomenclature and synonymies of genera *Astrophytum*.

Autor	Nomenclatura taxonómica
	<i>Astrophytum myriostigma</i> Lemaire, Cact. Gen. Nov. Sp. (especie tipo)
Hunt (1999) reconoce a nivel taxonómico que el género <i>Astrophytum</i> está representado solamente por cuatro especies.	<i>A. asterias</i> (Karwinski ex Zuccarini) Lemaire <i>A. capricorne</i> (Dietrich) Britton & Rose <i>A. ornatum</i> (De Candolle) Weber ex Britton et Rose. Sin embargo, en algunos casos llega a ser presentada como subespecie o variedad.
Guzmán et al. (2007) reconocen cuatro especies del Género <i>Astrophytum</i> Lem. (1839).	<i>A. asterias</i> (Zucc.) Lem. (1868) <i>A. capricorne</i> (Dietrich) Britton & Rose (1922) <i>A. myriostigma</i> Lem. (1839) <i>A. ornatum</i> (De Candolle) Weber ex Britton & Rose (1922) con cinco variedades y cuatro subespecies.
Guzmán et al. (2007) establecen a <i>A. myriostigma</i> Lem. (1839) con 21 sinonimias y seis subespecies.	<i>A. myriostigma</i> subsp. <i>coahuilense</i> (Moeller) Okumura (1933) <i>A. myriostigma</i> subsp. <i>potosinum</i> (Moeller) Okumura (1933) <i>A. myriostigma</i> subsp. <i>tulense</i> Kayser (1932) <i>Echinocactus myriostigma</i> subsp. <i>coahuilensis</i> Moeller (1927) <i>E. myriostigma</i> subsp. <i>potosina</i> Moeller (1927) <i>E. myriostigma</i> subsp. <i>quadrucostatum</i> Moeller (1927)

coahuilensis Moeller (Hook & Baumann 1991) y con base en estudios morfológicos mencionan que es una hibridación entre *A. myriostigma* y *A. capricorne* (Dietrich) Britton & Rose y sugieren zonas de hibridación en el área de Parras, Coahuila. Se han encontrado 10 hibridaciones en el género registradas en la CITES por Álvarez et al. (2003), que confirman que la problemática taxonómica puede ser el resultado tanto de las variaciones morfológicas causadas por variaciones en el ambiente, como por las hibridaciones ocurridas en la naturaleza.

Para incrementar el conocimiento sobre las variaciones morfométricas de *A. myriostigma*, en este estudio se planteó el objetivo de clasificar los morfotipos que presenta la población del cerro Las Palmas de la sierra El Sarnoso, Durango, México y establecer su relación con las variables ambientales de elevación, pendiente, orientación de la ladera y número de nodrizas, bajo el supuesto de que el ambiente modifica la forma externa del organismo.

MÉTODOS

El área de estudio se encuentra situada en la sierra El Sarnoso y se localiza al noreste del estado de Durango, México (25° 31' y 25° 43' N y 103° 35' y 103° 40' O), Fig. 1. Se encuentra situada en la provincia fisiográfica Altiplanicie Septentrional o Llanura Boreal del Norte (Velasco-Molina, 1991) dominada por climas BWhw de acuerdo al sistema de clasificación de Köppen modificado por García (1981), donde el suelo predominante es el Litosol-Regosol-calcárico. Florísticamente el área de estudio presenta matorral xerófilo-rosetófilo (Rzedowsky 1978, González et al. 2007), con presencia de especies como: *Agave lecheguilla* Torr. (lechuguilla), *Euphorbia antisifilitica* Zucc. (candelilla), *Acacia berlandieri* Benth. (guajillo), *Opuntia rufida* Engelm. (nopal cegador), *O. rastrera* Weber (nopal rastrero), *O. violacea* Engelm. (nopal morado), *Fouquieria splendens* Engelm. (ocotillo), *Echinocereus longisetus* Lem. (viejito de cerro), *Thelocactus bicolor* Galeotti (biznaga), *Mammillaria pottsii* Scheer ex Salm-Dyck (chilitos), *Mammillaria lasiacantha* Engelm. (turunda de cerro), *Mimosa* spp. (mimosa), *Lippia berlandieri* Schawer (orégano), *Larrea tridentata* Moç. & Seseé ex De Candolle (governadora), *Cassia* spp. (lentejilla), *Cordia parvifolia* De Candolle (cordia) y *Viguiera stenoloba* Blake (limoncillo).

Trabajo de campo

Durante junio del 2009 se seleccionaron al azar 53 individuos de una población de *A. myriostigma*. La

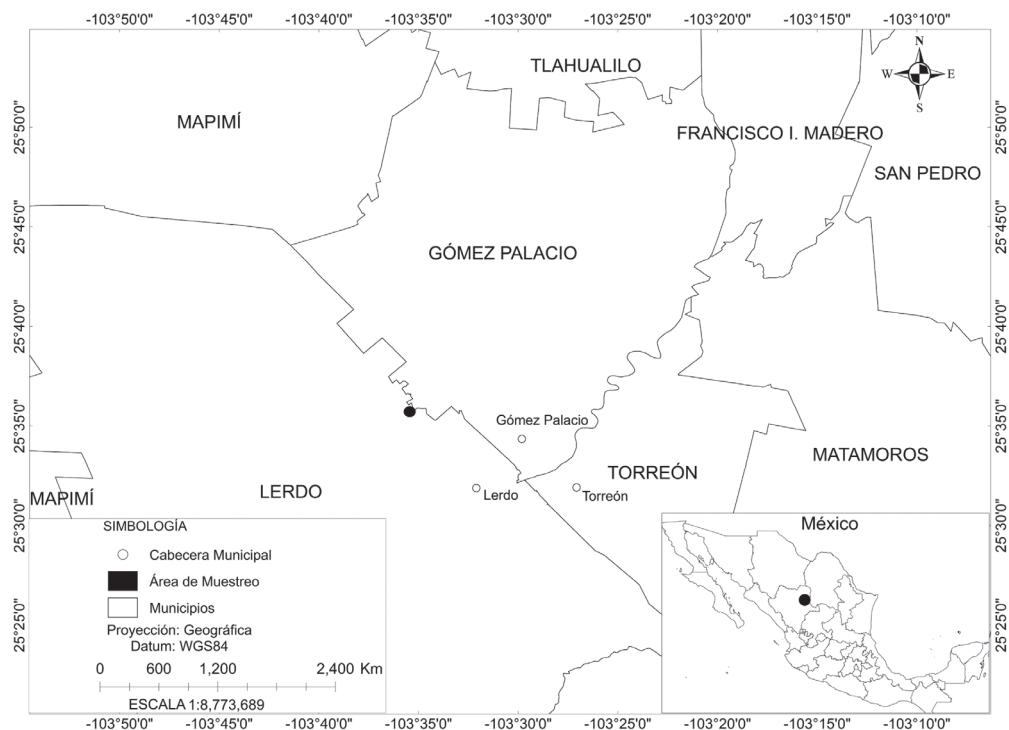


Fig. 1: Localización geográfica del área de estudio en la Sierra El Sarnoso al noreste del estado de Durango, México (círculo negro).

Geographical location of the study area in the Sierra El Sarnoso northeast of Durango, Mexico (black circle).

población se dividió de visu según la forma del tallo en tres morfotipos: deprimida, cónica y cupuliforme. Se consideró como forma “deprimida” a aquellos organismos que presentaron un tallo ancho con ápice deprimido, de forma “cónica” a aquellos con un tallo largo delgado con el ápice puntiagudo y de forma “cupuliforme” al morfotipo medio entre la forma cónica y la forma deprimida y que presenta un ápice redondeado en forma de cúpula. Para cada uno se registró el perímetro (al 1.0 cm más cercano). Asimismo, se registraron las variables ambientales de elevación (msnm), pendiente (en grados de inclinación), orientación de la ladera (en grados respecto al norte geográfico) y número de nodrizas, definido como el número de organismos vegetales que crecen cerca del organismo de interés (Franco et al. 1989, Muro-Pérez et al. 2009).

Para determinar la relación entre la variabilidad de los morfotipos de *A. myriostigma* y las variables ambientales se utilizó un análisis discriminante. Se comprobó la diferencia de medias de los perímetros de los morfotipos por variable ambiental mediante el lambda (λ) de Wilks (esta prueba es un equivalente multidimensional de la prueba LSD de Fisher o de la

prueba HSD de Tukey) la cual también se utilizó para probar la igualdad de medias de los perímetros de los morfotipos. Se graficaron los centroides de los vectores a través de las funciones discriminantes canónicas para visualizar la diferenciación entre grupos. Mediante el análisis de correlación múltiple de la matriz de estructura, se determinaron las variables ambientales que actúan sobre el morfotipo de esta especie en esta población. Todas las pruebas estadísticas se asumieron significativas con $P \leq 0.05$.

RESULTADOS

Se encontraron tres morfotipos bien diferenciados en perímetro (Fig. 2). El morfotipo más abundante en la muestra ($N = 53$) fue la forma deprimida con 29 organismos, seguida de la forma cónica 16 y por último la forma cupuliforme con 8 organismos (Tabla 2).

La comparación de las medias de los perímetros de los morfotipos mostró una



Fig. 2: Morfotipos de *Astrophytum myriostigma* presentes en el área de estudio.

Astrophytum myriostigma morphotypes present in the study area.

TABLA 2
Resumen estadístico de los datos de los morfotipos.
Statistical summary of morphotype data.

Morfotipo	Número	Media	Desviación estándar	Valores mínimo y máximo
Cónico	16	24.40	2.64	8 - 35
Cupuliforme	8	44.71	7.93	36 - 51
Deprimido	29	59.44	5.67	60 - 73

diferencia significativa en las variables geofísicas de pendiente, orientación y elevación. La comparación de las medias de las variables de los fenotipos mostró que en la única variable en la que no existieron diferencias significativas entre grupos ($\lambda = 0.947$, $F = 1.320$, $gl1 = 2$, $gl2 = 47$, $P = 0.277$, $n = 53$) fue en la variable de número de nodrizas (Tabla 3).

Se encontraron diferencias significativas entre los promedios del perímetro de los tres grupos de acuerdo con las distancias de Mahalanobis en la prueba de Lambda de Wilks. El valor más grande de los autovalores fue para la función discriminante 1 (4.068), lo que supone que la dispersión es debida a las diferencias entre grupos y por tanto esa función fue la más utilizada en la discriminación de morfotipos. La primera función discriminante explicó 72.7 % de la variabilidad del fenómeno (Tabla 4) y dicha función fue la que tuvo más peso en la dispersión y clasificación de los grupos. Se observó que la forma está correlacionada con el ambiente en el que se encuentra ($F1 = 0.896$ y $F2 = 0.777$).

Los coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas comprobaron que la pendiente de la ladera fue

la variable que más discriminó los morfotipos. Las puntuaciones más altas de los centroides de ambos grupos con respecto a las funciones discriminantes fue la variable pendiente de la ladera (0.720) para la primera función y orientación de la ladera (0.821) y elevación (0.459) para la segunda función discriminante (Tabla 5).

Las funciones en los centroides de los grupos de morfotipos (Tabla 6) se utilizaron para graficar las diferencias de los grupos en cuadrantes y se pudo observar claramente la separación entre ellos (Fig. 3).

En la dispersión de los grupos a través de los centroides, la primera función canónica fue la que tuvo más peso (72.7 %) por lo que la separación horizontal fue la más representativa. Se observó separación significativa entre los tres grupos.

DISCUSIÓN

Desde 1839, Lemaire reportó la variabilidad de la forma y color de *Astrophytum myriostigma* (Pizzetti 1985). Hooek & Baumann (1998) encontraron polimorfismos que van de columnares a globosas según la espesura de la

TABLA 3
Pruebas de igualdad de las medias de los grupos por factor ambiental.
Tests of equality of group means by environmental factors.

	Lambda de Wilks	F	gl1	gl2	P
Elevación msnm	0.752	7.756	2	47	0.001
Pendiente de la ladera	0.308	52.879	2	47	0.0001
Orientación de la ladera	0.350	43.702	2	47	0.0001
Número de nodrizas	0.947	1.320	2	47	0.2770
Perímetro	0.283	59.55	2	47	0.0001

TABLA 4
Autovalores y porcentaje de varianza por función.
Eigenvalues and percentage of variance explained by function.

Función	Valores propios	% de varianza	% acumulada	Correlación canónica
1	4.068(a)	72.7	72.7	0.896
2	1.526(a)	27.3	100.0	0.777

TABLA 5
 Coeficientes de correlación entre morfotipos y factores ambientales. (* = $P \leq 0.05$).

Correlation coefficients between morphotypes and environmental factors. (* = $P \leq 0.05$)

	Función	
	1	2
Pendiente de la ladera	0.720(*)	0.302
Orientación de la ladera	-0.452	0.821(*)
Elevación msnm	-0.044	0.459(*)
Número de nodrizas	0.068	-0.156(*)

TABLA 6
 Funciones de los centroides de los grupos.
 Functions of the group centroids.

Forma de la Planta	Función	
	1	2
Cónica	3.983	2.138
Deprimida	-2.361	0.979
Cupuliforme	0.495	-1.017

vegetación en la que se encuentren, es decir, la hipótesis establece que si se encuentran dentro de la vegetación espesa crecen como columnares y si crecen directamente al sol crecen como globosas. Al respecto se ha demostrado que en otras cactáceas como la cactácea *Neobuxhamia tetetzo* (Coulter) Backeberg las características morfológicas están fuertemente influenciados por las condiciones microclimáticas que proporciona su planta nodriza (Bravo-Mendoza et al. 2007) y por la orientación de la ladera (López-Gómez et al. 2012).

En el presente estudio se categorizaron tres morfotipos (deprimida, cupuliforme y cónica) donde el más abundante en la muestra fue la forma deprimida, seguida de la forma cónica y por último la forma cupuliforme. Según las pruebas estadísticas realizadas las diferencias de las medias de los perímetros fueron significativas entre los tres morfotipos y entre variables ambientales lo que supone una plasticidad fenotípica que se relaciona con los factores geofísicos y la calidad del ambiente que estas variables les proporcionan. Según Hoock & Baumann (1998), el número de nodrizas representa cierto microclima o sombreado

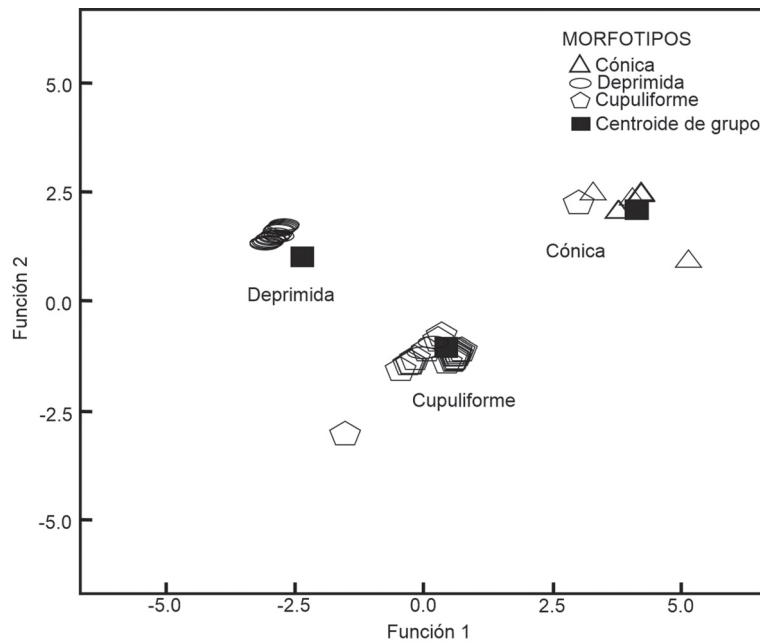


Fig. 3: Dispersión de los centroides de los morfotipos.
 Dispersion of morphotype centroids.

sobre los organismos de la población de *A. myriostigma*. Las cactáceas de esta especie lo perciben a través del fitocromo lo que a su vez activa el desarrollo de estrategias de rápido crecimiento como el denominado crecimiento etiolado, el cual es una estrategia que utilizan las plantas para rebasar rápidamente el dosel de las nodrizas y alcanzar la radiación solar (Taiz & Zeiger 1998). Esto posiblemente les brinde esa apariencia cónica y alargada a aquellos organismos que crecen en ambientes sombreados o bajo nodrizas. Por otro lado, los individuos que crecen directamente al sol sin competencia intra o interespecifica por luz solar crecen en perímetro, lo que les da esa apariencia ancha y deprimida. Sin embargo, aunque en el área de estudio (matorral xerófilo-rosetófilo) se han registrado 17 especies acompañantes de *A. myriostigma*, la variable nodriza no fue significativa en la discriminación de morfotipos y se observó que tanto la forma cónica como la deprimida se pueden encontrar en un mismo sitio, una al lado de la otra bajo el mismo ambiente sombreado o soleado. Al respecto, López-Gómez et al. (2012) mencionan que los organismos que habitan en laderas con orientaciones contrastantes pueden presentar diferencias morfológicas y fisiológicas y concluyen que el ambiente afecta claramente la ecomorfología de la cactácea *N. tetetzo*. Esto sugiere que la variabilidad morfotípica de *A. myriostigma* no solo es causada por los factores ambientales a los que están expuestas (Hook & Baumann 1991, Fuente et al. 2000, López-Gómez et al. 2012), sino que otros factores no considerados en este estudio (hibridación y manifestación de formas atávicas) influyen en el fenotipo de los individuos de esta población. Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada (1978) declaran que en la reproducción por semillas es frecuente la formación de híbridos y de posibles mutantes en donde se aprecian algunos cambios morfológicos. La variación de las especies (tan frecuente en las cactáceas por lo que se consideran recientes) que causa tantas confusiones a los taxónomos, puede haberse realizado por cambios genéticos o por simples alteraciones de las condiciones ambientales (grados de luminosidad, humedad, altitud, exposición a los vientos, química del suelo, entre otros). Estos factores suelen afectar la talla, la coloración de la flor o la longitud de las espinas (notable en este

último caso en los clones de *Mammillaria compressa* De Candolle donde se observa que los individuos que reciben más luz desarrollan espinas conspicuamente más largas). Las diferentes formas de una especie condujeron a errores taxonómicos cuando los botánicos las describieron como especies distintas.

Existen suposiciones de que se haya dado una hibridación entre los *Astrophytum* norteños (*capricorne*) y los *Astrophytum* del sur (*myriostigma*) y hayan producido una nueva especie: *Astrophytum coahuilensis* (Hook 1993, 2001). Según Barton & Hewitt (1989) y Harrison (1993), es frecuente que se generen áreas de polimorfismo Robertsoniano, denominadas habitualmente zonas híbridas. Éstas son regiones en las que individuos de dos poblaciones que se diferencian por uno o más caracteres heredables se encuentran, se reproducen y dan lugar a híbridos. Las 10 hibridaciones en el grupo de las cactáceas registradas por Álvarez et al. (2003), confirman que la problemática taxonómica puede ser el resultado tanto de las variaciones morfológicas causadas por variaciones en el ambiente, como de las hibridaciones ocurridas aleatoriamente en la naturaleza. Hook (1993) y Montanucci (2008) proponen que *A. coahuilensis* es la hibridación entre *A. myriostigma* y *A. capricorne* y evidencian las diferencias de *A. coahuilensis* con *A. myriostigma* mediante estudios morfológicos y pruebas reproductivas. Sin embargo, los mismos autores mencionan que no se han realizado pruebas genéticas para comprobar la poliploidía de *A. coahuilensis* lo cual confirmaría la hibridación entre ambas especies. Anath (2008) realizó un análisis filogenético molecular en las cuatro especies del género *Astrophytum* y encontró más afinidad entre *A. ornatum* (De Candolle) Weber ex Britton & Rose y *A. capricorne* que entre *A. capricorne* y *A. myriostigma* var. *nudum* Meyer También encontró que las cuatro especies son diploides $2n = 22$. Sin embargo, no se tomó en cuenta a *A. myriostigma* var. *coahuilensis*.

Los resultados de esta investigación muestran que la población de *A. myriostigma* en esta área de estudio está separada en tres grupos o morfotipos con diferencias morfométricas bien definidas y que los morfotipos están muy ligados al ambiente en el que se desarrollan, por lo que se concluye que la población estudiada se puede catalogar como

polimórfica con tres morfotipos bien definidos. Por otra parte, existen evidencias para aceptar la hipótesis de que las variaciones ambientales influyen la forma externa de los organismos de esta población. Asimismo, la forma externa de estos organismos resultó relacionada con el ambiente en el que se desarrolla, principalmente la pendiente y la exposición de la ladera.

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ RJG, DH BENITES & A OLVERA-DE ITA (2003) CITES: Un convenio para proteger las plantas y animales amenazados por el comercio ilegal. URL: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio-espanol/doctos/citesjulio2003.html> (accedido junio 7, 2013).
- ANATH BD (2008) Assessment of genetic diversity and phylogenetic analysis of 'Star Cactus' (*Astrophytum*) through chromosome and RAPD markers. *Cytologia* 73: 179-188.
- BARTON NH & GM HEWITT (1989) Adaptation, speciation and hybrid zones. *Nature* 341: 497-502.
- BRAVO-HOLLIS H & H SÁNCHEZ-MEJORADA (1978) Las cactáceas de México. Volumen I. Segunda edición, UNAM, México D. F.
- BRAVO-HOLLIS H & H SÁNCHEZ-MEJORADA (1991) Las cactáceas de México. Volumen III. Primera edición, UNAM, México D. F.
- BRAVO-MENDOZA M, A. ESPINOSA-CANTÚ, I. CASTELLANOS-VARGAS & Z CANO-SANTANA (2007) Tamaño de *Neobuxbaumia tetetzo* y longitud de sus espinas apicales en un gradiente de luz bajo *Mimosa luisana*, un arbusto nodriza. *Acta Botánica Mexicana (México)* 79: 69-80.
- BRITTON NL & JN ROSE (1937) The Cactaceae: descriptions and illustrations of plants of the cactus family. Dover Publications Inc., Nueva York.
- FRANCO LJ, G DE LA CRUZ, A CRUZ, A. ROCHA, N NAVARRETE et al. (1989) Manual de ecología. Segunda edición, Editorial Trillas, México D.F.
- FUENTE FV, M GRANDA, C LEMES & C. RODRÍGUEZ (2000) Estudios fenológicos de las plantas medicinales XI. *Revista Cubana de Plantas Medicinales (Cuba)* 5: 106-13.
- GALEOTTI HG (1839) *Cereus calicoche* Galeotti in Scheidweiler. *Bulletin of the Academy Society of Bruxelles (Bélgica)* 6: 88.
- GARCÍA E (1981) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Tercera edición, Instituto de Geología, Universidad Autónoma de México, México D.F.
- GONZÁLEZ EMS, M GONZÁLEZ & MA MÁRQUEZ (2007) Vegetación y eco regiones de Durango. Editorial Plaza y Valdéz, IPN-CIIDIR, Distrito Federal, México.
- GUZMÁN U, S ARIAS & P DÁVILA (2007) Catálogo de autoridades taxonómicas de las cactáceas (Cactaceae: Magnoliopsida) de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, Base de datos SNIB-CONABIO, proyectos Q045 y AS021. Distrito Federal, México.
- HÁJEK F (1977) Observaciones sobre *Astrophytum ornatum* y *Astrophytum myriostigma* y sus variedades. *Sociedad Cactológica Mexicana (México)* 22: 88-92.
- HARRISON RG (1993) Hybrids and hybrid zones: historical perspective. En: Harrison RG (ed) *Hybrid zones and the evolutionary process*: 3-12. Oxford University Press Inc., Oxford.
- HOOCK H (1993) Ist *Astrophytum coahuilense* (Moeller) Kayser ein Naturhybrid? *Kakt. and Sukk. Band: 44 Heft (2)*: 37-44.
- HOOCK H (2001) Híbridos de *Astrophytum coahuilense*. URL: <http://www.astrobases.de/Coahuil/Bilder/Hybrid/Seiten/00001885.htm> (accedido junio 13, 2013).
- HOOCK H & H BAUMANN (1991) In der Heimat von *Astrophytum coahuilense* (Moeller) Kayser. *Kakt. and Sukk. Band: 42 Heft (9)*: 214-218.
- HOOCK H & H BAUMANN (1998) Tijdschrift voor Liefhebbers van Vetplanten Kamerplanten In de heimat van *Astrophytum coahuilense* (Moeller) Kayser. *Cactussen (Belgien)* Band: 11 Heft (8): 122-128.
- HUNT D (1999) CITES Cactaceae checklist. Royal Botanic Gardens. International Organization for Succulent Plant Study, Kew, United Kingdom.
- LEMAIRE C (1839) Description de genres nouveaux et d'espèces nouvelles de cactées suivir d'une classification méthodique de toutes les espèces cultivées dans les jardins de Monville. Editeurs Rur du Cimetièrre Saint-André-Des-Arcs et J. Loss, Paris, Francia.
- LÓPEZ-GÓMEZ A, P ZEDILLO-AVELLEYRA, S ANAYA-HONG, E GONZÁLEZ-LOZADA & Z CANO-SANTANA (2012) Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (Cactaceae). *Botanical Sciences* 90: 453-457.
- MONTANUCCI RR (2008) Taxonomic history and status of the Coahuila bishop's cap. *Cactus and Succulent Society of America. Haseltonia* 14:176-184.
- MURO-PÉREZ G, U ROMERO-MÉNDEZ, JD FLORES-RIVAS & J SÁNCHEZ-SALAS (2009) Algunos aspectos sobre el nodrizaje en *Astrophytum myriostigma* Lem (1839) (Cactae: Cactaceae), en la sierra El Sarnoso, Durango, México. *Boletín Nakari (México)* 20: 43-48.
- PIZZETTI M (1985) Simon & Schuster's cacti and succulents guide. Simon & Schuster Inc., Nueva York.
- PURPUS JA (1911) Standorte und standortverhältnisse einiger kakteen. *Monatsschrift für Kakteenkunde (Alemania)* 21:682-86.
- RZEDOWSKY J (1978) Vegetación de México. Limusa, México D.F.
- SEMARNAT (2010) Norma Oficial Mexicana 059 Protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Diario oficial de la federación. Jueves 30 de diciembre de 2010. Distrito Federal, México.
- TAIZ L & E ZEIGER (1998) *Plant physiology*. Second Edition, Sinauer associates Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts.
- VELASCO-MOLINA HA (1991) Las zonas áridas y semiáridas: sus características y manejo. Primera edición, Limusa, Distrito Federal, México.