

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas



VOLUMEN 52 No. 3

JULIO-SEPTIEMBRE 2007

ISSN 0526-717X

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas
CACTÁCEAS Y SUCULENTAS MEXICANAS

Volumen 52 No. 3
Julio-Septiembre 2007

Editor Fundador
Jorge Meyrán

Consejo Editorial
Anatomía y Morfología
Dra. Teresa Terrazas
Colegio de Posgraduados

Ecología
Dr. Arturo Flores – Martínez
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN

Etnobotánica
Dr. Javier Caballero Nieto
Jardín Botánico IB – UNAM

Evolución y Genética
Dr. Luis Eguiarte
Instituto de Ecología, UNAM

Fisiología
Dr. Oscar Briones
Instituto de Ecología A.C.

Florística
Dra. Raquel Galván
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN

Química
Dra. Kasuko Aoki
UAM – Xochimilco

Sistemas Reproductivos
Dr. Francisco Molina F.
Instituto de Ecología Campus Hermosillo, UNAM
Dr. Jafet Nassar
Instituto Venezolano de Investigación Científica

Taxonomía y Sistemática
Dr. Fernando Chiang
Instituto de Biología, UNAM
Dr. Roberto Kiesling
Instituto Darwinian, Argentina

Editores
Dr. Jordan Golubov
UAM – Xochimilco
Dra. María C. Mandujano Sánchez
Instituto de Ecología, UNAM

Asistentes editoriales
Biol. Gisela Aguilar Morales
M. en C. Mariana Rojas Aréchiga
Instituto de Ecología, UNAM

Diseño editorial, versión electrónica e Impresión
Gráfica, Creatividad y Diseño, S.A. de C.V.
Se imprimieron 1000 ejemplares, Septiembre de 2007

SOCIEDAD MEXICANA DE CACTOLOGÍA A.C.

Presidenta Fundadora
Dra. Helia Bravo-Hollis †

Presidenta
Araceli Gutiérrez de la Rosa

Vicepresidente
Alberto Pulido Aranda

Tesorero
Omar González Zorzano

Secretaría
Samantha Mendoza Moreno

Bibliotecario
Raymundo García A.

Fotografía de portada:
Ferocactus histrix
Foto: Salvador Arias



Cactáceas y Suculentas Mexicanas es una revista trimestral de circulación internacional, arbitrada, publicada por la Sociedad Mexicana de Cactología A.C. desde 1955, su finalidad es promover el estudio científico y despertar el interés en esta rama de la botánica.

El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores. Se autoriza su reproducción total o parcial siempre y cuando se cite la fuente.

La revista *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* se encuentra registrada en los siguientes índices: CAB Abstracts, Periodica y Latindex.

The journal *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* is a publication of the Mexican Society of Cactology, published since 1955.

Complete or partial copying of articles is permitted only if the original reference is cited.

The journal *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* is registered in the following indices: CAB Abstracts, Periodica and Latindex.

Dirección editorial (editor's address): *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, Instituto de Ecología, UNAM, Aptdo. Postal 70-275, Cd. Universitaria, 04510, México, D.F.

Correo electrónico: cactus@miranda.ecologia.unam.mx

El costo de suscripción a la revista es de \$300.00 para México y \$35 USD o 30 € para el extranjero. Pago de suscripciones a la cuenta no. 148-6353704 de Banamex.

Subscription rates: \$30.00 USD or 25.00 € Payment in cash, bank transfer or International Postal Money Order (Only from the USA).

Los comprobantes bancarios, la documentación pertinente y cualquier correspondencia deberán ser enviados a (Payments and correspondence to): Sociedad Mexicana de Cactología, A.C. Aptdo. Postal 19-490, San José Insurgentes, 03901, México, D.F.

socmexcact@yahoo.com

www.cactus-mall.com/smc/

www.ecologia.unam.mx/laboratorios/dinamica_de_poblaciones/cacsucmex/cacsucmex_main.html

La Sociedad Mexicana de Cactología, A.C. agradece el financiamiento a suscriptores y donativos por productos de divulgación que genera la sociedad.

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas

Volumen 52 No. 3 julio - septiembre de 2007



Contenido

Estado actual de la población de *Mammillaria hamata* en Los Ángeles Tetela, Puebla, México

Navarro Carvajal, María del Carmen & Castillo Campohermoso, Alma Delia 68

Diferencias nutricionales entre *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose y *Ferocactus histrix* (DC.) G.E. Linds.

Morales, Jorge E.; López, Dulce Kathia; Freeman, Roberto & Varela, Gerardo. 79

Neobuxbaumia polylopha (DC.) Backeb.

Rosas García, Evelyn Marlene & Jiménez-Sierra, Cecilia. 96

Contents

Population status of *Mammillaria hamata* in los Angeles Tetela, Puebla, México

Navarro Carvajal, María del Carmen & Castillo Campohermoso, Alma Delia 68

Nutritional differences between *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose and *Ferocactus histrix* (DC.) G.E. Linds.

Morales, Jorge E.; López, Dulce Kathia; Freeman, Roberto & Varela, Gerardo. 79

Neobuxbaumia polylopha (DC.) Backeb.

Rosas García, Evelyn Marlene & Jiménez-Sierra, Cecilia. 96

Estado actual de la población de *Mammillaria hamata* en Los Ángeles Tetela, Puebla, México

Navarro Carvajal, María del Carmen ^{1*} & Castillo Campohermoso, Alma Delia²

Resumen

Se estudió una población de *Mammillaria hamata* en Los Ángeles Tetela, Puebla y se evaluó la densidad, el crecimiento, la supervivencia y la fenología reproductiva de los individuos. El 58% de las plantas presentaron un solo tallo con diámetros que oscilaron de 0.3 a 9 cm. La densidad estimada fue igual a 280 individuos/ha, los juveniles constituyeron el 67.2% de la población. Después de un año, el diámetro de los tallos se incrementó en el 54.8 % de los individuos, el mínimo se observó para juveniles y el máximo para adultos 0.6 y 1.4 cm/año. Los valores de supervivencia registrados sin considerar la extracción ilegal de los individuos fueron altos (90 a 100%). La floración ocurre de marzo a junio y la fructificación de abril a junio, las plantas producen en promedio 18 frutos y 72 semillas por fruto, el establecimiento es escaso, sólo se registraron 0.003 plántulas/m². Durante el período de estudio se observó que los campesinos limpian la zona para sembrar, eliminando piedras y plantas entre las que se encuentra *Mammillaria hamata*, en consecuencia el cambio de uso de suelo y la extracción de ejemplares tienen efectos negativos en la población.

Palabras clave: floración, *Mammillaria hamata*, población, supervivencia.

Abstract

A *Mammillaria hamata* population was studied in Los Ángeles Tetela, Puebla, evaluating individuals density, growth, survival and reproductive phenology. 58% of the individuals were single stemmed plants with a diameter between 0.3 to 0.9 cm. Estimated density was 280 individuals/ha, young plants formed 67.2% of the population. After a year, stem diameter was increased in 54.8% of the individuals, growth rate was 0.6 cm/year for young plants and 1.4 cm/year for adults. Survival values were high (90 to 100%). Plants flower from March until June, producing fruits from April to June, Plants produce an average of 18 fruits and 72 seeds per fruit, establishment is scarce, only 0.003 seedlings/ m². Meanwhile during the study period it was observed that peasants clean out the field in the crop season, removing rocks and plants including among them *M. hamata*, therefore land use change and plant extraction have a negative effect in the population.

Key words: flowering, *Mammillaria hamata*, population, survival.

^{1,2} Escuela de Biología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio Ed. 76 C.U. CP. 72570. Tel 22 2 29 55 00 ext 7074, Fax 2 44 96 80.

*Autor de correspondencia: mcnavarr@siu.buap.mx

Introducción

México es el más importante centro de distribución de cactáceas, ya que cuenta con 48 géneros y 563 especies (45% del total de especies de la familia). Estas plantas presentan patrones de distribución y factores biológicos y ecológicos intrínsecos que les confieren características muy particulares (formas, tamaños, tallos, flores y espinas peculiares), por las cuales estas plantas y sus semillas son extraídas de su hábitat natural para su venta como plantas de ornato, lo que ha provocado la desaparición de muchas poblaciones silvestres (Hernández & Godínez 1994; Reyes 1994; Zavala-Hurtado 1997; Becerra 2000).

Los estudios demográficos permiten determinar las causas del decremento en abundancia de las especies dado por presiones como la extracción ilegal de ejemplares o la reducción del hábitat debido al crecimiento de la mancha urbana, en virtud de que si se determina la estructura de las poblaciones y si la proporción de individuos en diferentes categorías de tamaño resulta ser distinta se espera que existan diferencias importantes en la dinámica poblacional relacionadas con el nivel de perturbación. (Valverde & Zavala-Hurtado 2006). Además el incremento en la información demográfica permitirá evaluar el estado de conservación de especies poco conocidas y puede contribuir en el diseño de planes de manejo y conservación de las mismas. Cuando se lleva a cabo un estudio demográfico se requiere determinar la densidad poblacional, describir la fenología, el patrón reproductivo y de establecimiento, la super-

vivencia y crecimiento de la especie donde es necesario incluir a las semillas (Moore & Chapman 1986).



FOTO 1. *Mammillaria hamata*, (ver foto 2).

Los estudios poblacionales que se han llevado a cabo recientemente con cactáceas han abordado aspectos de distribución, patrones de abundancia, germinación y establecimiento, asociación con plantas nodriza, crecimiento, reproducción y evaluación de la tasa de crecimiento poblacional (Godínez-Álvarez *et al.* 2003). Dentro de los estudios poblacionales que se han realizado en México con cactáceas se encuentran los relacionados con columnares particularmente en el Valle de Tehuacán (Casas *et al.* 1999; Godínez-Alvarez *et al.* 1999) y en

Baja California Sur (León de la Luz y Domínguez 1991); para el género *Mammillaria* se han realizado con *M. crucigera* en San José Tilapa (Contreras & Valverde 1999; 2002); con *M. gaumeri* en las costas de Yucatán (Leirana-Alcocer & Parra-Tabla 1999), para *M. magnimamma* en el Pedregal de San Ángel (López-Villavicencio 1999, Quijas 1999), con *M. oteroi* en la Mixteca de Oaxaca (Martínez *et al.* 2001), para *M. carnea* (Rodríguez & Ezcurra 2000); para *M. pectinifera* (Rodríguez & Ezcurra 2000; Martorell & Peters 2005; Valverde & Zavala-Hurtado 2006) en el Valle de Zapotitlán, y con *M. zephyrantoides* en Cuautinchán (Cortés 2003; Navarro & Juárez 2006). De 160 especies del género *Mammillaria* que se distribuyen en México, 150 son endémicas lo que representa aproximadamente un 94% (Hernández & Godínez 1994; Arias *et al.* 1997). A menos de 1 km de Los Ángeles Tetela, Puebla, se localiza una población de *M. hamata*, especie endémica de Puebla (Guzmán *et al.* 2003), muy apreciada por sus hermosas flores y frutos. El hábitat de la población está siendo modificado para establecer terrenos de cultivo, las plantas son extraídas para su comercialización y en virtud de que, como para muchas otras especies del género, sólo existe información taxonómica (Bravo-Hollis & Sánchez Mejorada 1991), la evaluación de sus parámetros demográficos nos permitirá valorar su estado de conservación.

El objetivo del presente estudio fue determinar el estado actual de una población de *M. hamata* en Los Ángeles Tetela, Puebla, por medio de la evaluación de la

densidad, el crecimiento, la supervivencia de los individuos y de la descripción de su fenología reproductiva.

Material y métodos

Especie de estudio

Mammillaria hamata Lehm. *ex* Pfeiff. Es un cactus cilíndrico con tallos de 60 cm de altura, algo ramificados en la base, presentan tubérculos cónicos o ligeramente comprimidos; cada aréola tiene de 15 a 20 espinas radiales, blancas, extendidas, con varias espinas centrales, castañas, más fuertes que las radiales, una de ellas ganchuda. Flores pequeñas, probablemente escarlata, brotando cerca del ápice de la planta pero de las axilas de los tubérculos viejos (Foto 1). El fruto es delgado, claviforme, probablemente rojo; semillas pequeñas, castañas (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991).

El sitio de estudio se localiza en el cerro "El Gallo" dentro de la localidad de Los Ángeles Tetela al sureste del municipio de Puebla (18° 53' 22" N, 98° 10' 00" O y 2205 msnm); el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano $C(w_1)(w)$, de humedad media; presenta agricultura de temporal en suelo de rendzina. Con una temperatura y precipitación media anual de 16 a 18° C y 63.35 mm (INEGI 2000).

En la zona se delimitaron cinco cuadros de 30 x 30 m a lo largo de la pendiente, como puntos de referencia para ubicar a los individuos. En febrero del 2002 en el sitio de estudio se realizó un censo, cada tallo se consideró como un individuo independientemente de si era un clon o una planta solitaria. Estos se marcaron con placas de estaño numeradas.

Para determinar la variable a utilizar en la obtención de datos, se registró la altura, el

diámetro y número de areólas de las plantas y se realizaron correlaciones entre areólas-diámetro ($r = 0.85$), areólas-altura ($r = 0.896$) y altura-diámetro ($r = 0.90$); al observar que la altura y el diámetro de las plantas estaban estrechamente relacionadas se decidió clasificarlas en categorías de acuerdo a sus diámetros. Además para definir la categoría I (plántulas) se consideraron a los individuos que presentaban pigmentación escasa en las espinas, con un color verde tierno de su epidermis y en los que empezaba a formarse el gancho de la espina central (Cuadro 1).

La densidad se obtuvo por medio del registro del número de individuos de cada categoría de tamaño presentes en los cuadros.

A las plantas se les midió el diámetro con un vernier digital (precisión 0.1mm) con el fin de evaluar el crecimiento. La supervivencia se determinó contabilizando el número de individuos de cada categoría que permanecieron en los cuadros durante el período de estudio. La medición de estas variables se realizó trimestralmente durante un año.

Con el objeto de determinar la duración de las etapas fenológicas de las plantas y su patrón reproductivo, se realizó una clasificación de los estados fenológicos (Cuadro 2) y se registró el número de botones, flores y frutos por individuo y por categoría cada semana durante el período reproductivo.

CUADRO 1. Clasificación de los individuos de *Mammillaria hamata* en categorías de diámetro en la población de Los Ángeles Tetela, Puebla.

Categoría de tamaño		Diámetro
I	Plántula	0.3-1.5cm
II	Juvenil I	1.6-3.0cm
III	Juvenil II	3.1-4.5cm
IV	Juvenil III	4.6-6.0cm
V	Adulto I	6.1-7.5cm
VI	AdultoII	7.6-9.0cm

CUADRO 2. Clasificación de los botones y flores de *Mammillaria hamata* en estados fenológicos para los individuos de la población de Los Ángeles Tetela, Puebla.

Fenofases	Estado fenológico
B ₁	Sólo se observa el ápice del botón
B ₂	Botón entre las areólas
B ₃	El botón sobresale de las areólas
F1 ₁	Inicio de la antésis floral
F1 ₂	Flor en antésis media
F1 ₃	Flor en antésis completa
Fr	Fruto

Durante la estación de fructificación (abril-junio 2002) se cuantificó el número de frutos producidos por planta dentro de los cuadros. Adicionalmente, en octubre se colectaron al azar 20 frutos fuera de los cuadros permanentes para tener una estimación del número promedio de semillas por fruto, el cual fue de 72.20 ± 19.81 (media \pm D.E.).

En septiembre de 2002 después del inicio de las lluvias se ubicaron de manera sistemática 25 cuadros de 1x1m y se registró cada semana el número de plántulas, con la finalidad de evaluar el establecimiento natural de los individuos.

Resultados

De un total de 125 plantas, el 56.8% presentaron un sólo tallo y el resto formaban clones. Las de la categoría II, III y IV (juveniles) representaron el mayor número de individuos (67.2%) mientras que las de la categoría I (plántulas) constituyeron sólo el 7.2%. La densidad total resultó igual a 280 individuos/ha, con un promedio de 46 ± 31 (Media \pm Error estándar). La densidad promedio para las categorías II, III y IV fue semejante, los valores más bajos se registraron para las plantas de la categoría I y VI. (Fig. 1).

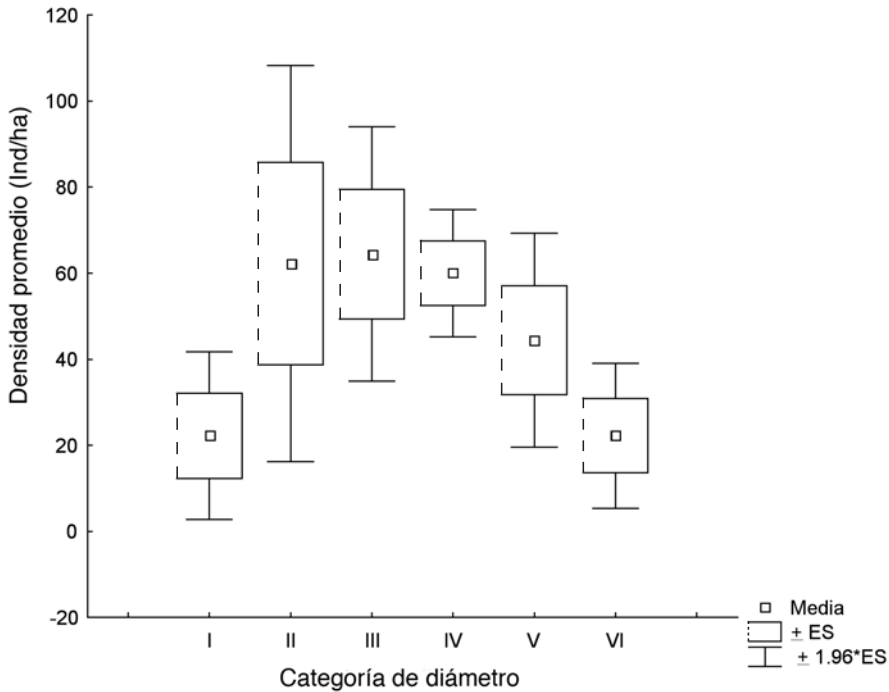


FIGURA 1. Densidad promedio por categoría de diámetro para la población de en Los Ángeles Tetela, Puebla. Categorías en cm. I.- 0.3-1.5, II.-1.6 - 3.0, III.- 3.1-4.5, IV.- 4.6-6.0, V.- 6.1-7.5, VI.- 7.6-9.0.

Los porcentajes de supervivencia registrados antes del período de floración fueron de 100% para las categorías propuestas, a excepción de la III y la I (96.5 y 90%). En la temporada de máxima floración (junio- julio), época en la que las plantas son muy llamativas fueron extraídos del sitio de estudio 57 individuos, 56.15 % de ellos pertenecían a juveniles, 28.07 a adultos y el 15.7 restante a plántulas; esta situación causó una drástica reducción en los valores de supervivencia (10% para las plántulas); así como para los juveniles y adultos (38 y 54%).

Después de un año, el diámetro de los tallos se incrementó en el 54.8 % de los individuos de la población, el mínimo se registró para los de la categoría II (0.6 cm/año), seguido de los obtenidos para la III y IV (1.092 y 1.182), finalmente los valores más altos se observaron en las plantas de la categoría VI y V (1.2 y 1.4 cm/año). Para las plantas de la categoría I no fue posible obtener la variación en el diámetro de sus tallos debido a que la mayor parte fueron extraídas del sitio en julio de 2002.

Durante enero y febrero de 2002 las plantas se encontraron en etapa vegetativa, la floración se presenta de marzo a junio; la fructificación de abril a junio, la maduración del fruto ocurre lentamente, después de seis meses la mayoría no había madurado. El 28.8% de los individuos alcanzaron la etapa reproductiva. El diagrama de flujo numérico para los eventos fenológicos mostró que la probabilidad de transición de botones a flores y de flores a frutos son altas 91 y 94% respectivamente; mientras que, las probabilidades para el desarrollo de los botones oscilan entre 37 y 55% (Fig. 2).

El modelo mostró que las probabilidades de transición para pasar de una categoría a la siguiente son menores a 0.14. El número promedio de semillas que se produjeron por categoría resultó muy variable (190 – 7347). Los individuos de 7.6 a 9.0 cm de diámetro (categoría VI) fueron los que contribuyeron con la mayor cantidad de ellas (Fig. 3).

El número de plántulas registradas en el sitio después del inicio de las lluvias fue escaso, sólo se encontraron 0.0033 plántulas/m² producto del establecimiento natural.

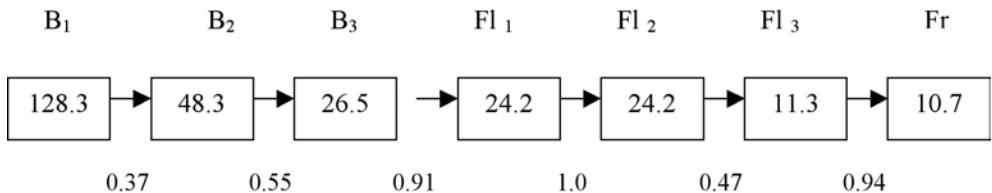


FIGURA 2. Diagrama de flujo numérico a partir del número de botones florales hasta su desarrollo a frutos para *Mammillaria hamata* en Los Ángeles Tetela, Puebla. Los valores dentro de los cuadros indican el número promedio de B1: Botón 1, B2: Botón 2, B3: Botón 3, Fl 1: Flor 1, Fl 2: Flor 2, Fl 3: Flor 3, Fr: Fruto; los números intercalados representan las probabilidades de desarrollo entre un estadio y otro.

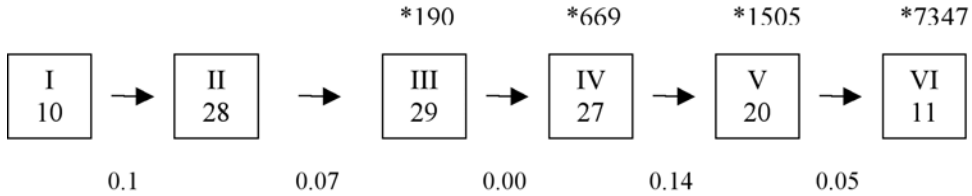


FIGURA 3. Modelo del ciclo de vida para *Mammillaria hamata* en Los Ángeles Tetela, Puebla. Los valores dentro de las cajas indican el número de plantas en cada categoría de tamaño, los números intercalados representan las probabilidades de transición entre ellas. Los valores con asterisco corresponden con el número promedio de semillas que se produjeron por categoría de tamaño.

Discusión

Los valores en densidad para las poblaciones de cactáceas son variables desde unos pocos individuos por hectárea hasta miles de ellos (Godínez-Álvarez *et al.* 2003), en el caso de *Mammillaria hamata* la densidad observada fue de 0.028 individuos/m² a diferencia de los encontrados para *M. magnimamma* por Valverde *et al.* (1999) 0.0638 individuos/m² ambos valores son bajos comparados con el obtenido por Cortés (2003) para *M. zephyrantoides* quien registró 1.41 individuos/m² y lo son más aún que el de *M. pectinifera* (50 individuos/m²; Valverde & Zavala-Hurtado (2006)). Se ha sugerido que las variaciones en la densidad de las plantas ocurren debido a características del ambiente como la sequedad del medio y la depredación (Del Castillo 1987). Estas diferencias encontradas en las especies anteriores nos permiten sugerir que la baja densidad en *M. hamata* se debe probablemente a los factores antes mencionados, los cuales influyen negativamente sobre el número de plántulas nuevas que logran establecerse en la pobla-

ción. Durante el período de estudio sólo se registraron 0.0033 plántulas/m² producto del establecimiento natural.

Se ha observado que la abundancia de *M. pectinifera* disminuye con la degradación del terreno (Martorell & Peters 2005), lo mismo ocurre con *M. hamata* donde las bajas densidades pueden ser resultado del disturbio generado por el cambio de uso de suelo; puesto que, en el sitio los campesinos limpian el terreno eliminando piedras y plantas entre las que se encuentra *M. hamata*.

A pesar de la baja densidad en la población se registró un porcentaje de supervivencia del 100% en todas las categorías con excepción de la I y III (90 y 96.5%) estos resultados difieren con los de *M. crucigera* que presenta baja supervivencia en los individuos jóvenes (Contreras & Valverde 1999). El pisoteo de las plantas ocasionado por el ganado (caprino y bovino) induce a la formación de tallos nuevos, además la extracción de individuos del sitio es grave, al término del año de muestreo 57 individuos se perdieron y sólo se registró la muerte natural de un

individuo. De acuerdo a las categorías establecidas (ver cuadro 1) se registraron 10 plántulas para la población, de las cuales, 9 permanecieron vivas hasta el último registro en julio de 2002. Esto posiblemente se deba a que se encontraban cerca de plantas o rocas las cuales probablemente les proporcionaban sombra y así evitaban su muerte por deshidratación.

Las plantas de *M. hamata* presentaron una variación promedio anual en el diámetro de sus tallos de 1.12 cm, esta fue semejante a la registrada para *M. magnimamma* 1.16 cm/año (Quijas 1999) y ligeramente menor a la obtenida para *Ferocactus histrix* 1.5 cm/año (Del Castillo 1982). Los valores muestran que ambas especies presentan tasas de crecimiento intermedias como las que se han observado en cactáceas globulares o toneliformes (Quijas 1999).

Se sabe que existe gran variación en las actividades reproductivas de cada uno de los individuos en las poblaciones (Harper & White 1977). Así, el tamaño de la planta no sólo tiene un efecto directo en

la fecundidad de los individuos, también puede influir en el tiempo de la floración y afectar indirectamente la energía de la reproducción (Ollerton & Lack 1998). Al respecto Contreras & Valverde (2002) encuentran que la probabilidad de reproducción de *M. crucigera* se incrementa en función del tamaño de la planta, para *M. magnimamma* la actividad reproductiva aumenta con la edad (Quijas 1999). En *M. hamata* se observó el mismo patrón, las plantas con diámetros mayores presentaron una mayor producción de frutos y semillas.

A diferencia de *M. capensis* y *M. dioica* que presentan floración de abril a julio (León de la Luz *et al.* 1996), en *M. hamata* ocurre de enero a julio, con un período de fructificación de abril a junio, estos eventos fenológicos suceden de manera similar para los individuos de *M. crucigera*. (Contreras & Valverde 1999). Ambas especies inician su período reproductivo a principio de invierno y dura más de 5 meses (Godínez-Álvarez *et al.* 2003).

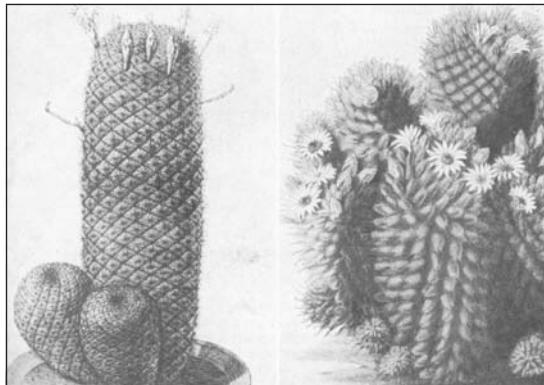


FOTO 2. Dibujo de *Mammillaria hamata*. Tomado de Britton N L & J N Rose. 1919-1923. The Cactaceae, 4 vols. Carnegie Institute Washington Publication 248, Washington, DC.

Durante el período de fructificación se encontraron plantas de *M. hamata* con algunos frutos del año anterior, éstos se observaron en las areólas viejas. Al respecto Rodríguez & Franco (2001) establecen que algunas especies del género *Mammillaria* retienen los frutos entre las areólas, parcial o totalmente, los cuales son liberados después de un tiempo. La retención del fruto se relaciona con condiciones de escasez de agua. Así, cuando las plantas adquieren turgencia pueden expelear los frutos y muchas semillas podrían germinar cerca de las plantas madre pasando sus primeros estados de desarrollo bajo su protección, en donde los adultos quizá funcionen como plantas nodriza para sus propias plántulas mientras desarrollan sus espinas (Zavala-Hurtado & Valverde 2002). Posiblemente este sea el caso *M. hamata* debido a que las 3 plántulas producto del establecimiento natural que se observaron se encontraron creciendo cerca de una planta adulta.

En cactáceas se ha sugerido que la sombra proporcionada por arbustos, árboles, agaves y eventualmente cactus (plantas nodriza) es el principal factor que promueve el establecimiento de semillas, disminuyendo las temperaturas extremas y reduciendo la evapotranspiración (Godínez-Álvarez *et al.* 2003). En particular para el género *Mammillaria*, se ha visto que el follaje de las plantas en la comunidad, influye en su crecimiento; Martínez *et al.* (2001) indican que *M. oteroi* se asocia a *Quercus castaneae*, incluso se observan plantas creciendo sobre sus troncos. Los individuos de *M. carnea* se encuentran preferentemente bajo el dosel de arbustos, lo mismo ocurre con *M. magnimamma*,

M. obconella, *M. wildii*, *M. pectinifera* y *M. longimamma* (Rodríguez & Ezcurra 2000; Jiménez-Sierra & Jiménez-González 2003). De igual manera las plantas de *M. hamata* se observaron creciendo preferentemente bajo el dosel de arbustos.

Las plantas de *M. hamata* produjeron en promedio 72 semillas por fruto lo cual concuerda con lo establecido por Godínez-Álvarez *et al.* (2003) quienes proponen que los frutos de cactus globosos generalmente producen menos de 100 semillas.

Godínez-Álvarez *et al.* (2003) establecen que en cactáceas el decremento en la mortalidad y el incremento en la reproducción esta relacionado con el incremento del tamaño de la planta en todas las especies, y que los rangos de crecimiento de la planta son bajos, lo que se ha notado consistentemente con las bajas probabilidades de transición. Solamente las especies de *Mammillaria* muestran una rápida transición de crecimiento, en la cual las plantas pueden crecer a más de una categoría de tamaño de un año al siguiente. Lo anterior concuerda con los valores de supervivencia y reproducción observados para *M. hamata*, éstos muestran que la mortalidad decrece y la reproducción se incrementa conforme se incrementa el diámetro de las plantas y con sus bajas probabilidades de transición para pasar de una categoría a otra (0 - 0.14)

En el ciclo de vida de las cactáceas, la germinación, el establecimiento de plántulas constituyen las etapas más vulnerables (Del Castillo 1986). Se ha sugerido que la germinación y la supervivencia de plántulas son los estados más críticos en el ciclo de vida de *M. magnimamma* presentando

las mayores tasas de mortalidad (Quijas 1999). En *M. crucigera* la mortalidad se da en los individuos jóvenes (Contreras & Valverde 1999). Lo mismo ocurre para *M. zephyrantoides* ya que las probabilidades de transición de plántula a juvenil son más pequeñas que las de juvenil a adulto (Cortés 2003). Durante el año de estudio se observó, escasa germinación (0.0033 plántulas/m²) y sólo 10 plántulas establecidas de *M. hamata*. Lo anterior sugiere que la etapa más crítica para los individuos de la población ocurre durante la germinación y establecimiento de plántulas. Además, a pesar de la abundante producción de semillas en los individuos de las diferentes categorías, el pastoreo y la extracción de individuos en etapa reproductiva tienen efectos negativos sobre el reclutamiento y establecimiento de nuevas plantas en la población de *M. hamata*.

Agradecimientos

Las autoras agradecen a José Gabriel Téllez Torres y a Joel Sánchez Pérez por el apoyo técnico brindado para la realización de este trabajo. Así como a Hector R. Eliosa León por sus sugerencias para mejorar el manuscrito.

Literatura Citada

- Arias S, Gama S & Guzmán U. 1997. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 14. Cactaceae. Instituto de Biología. UNAM.
- Becerra R. 2000. Las cactáceas, plantas amenazadas por su belleza. *Biodiversitas* **32**: 1-5.
- Bravo-Hollis H & Sánchez-Mejorada H. 1991. Las cactáceas de México. Vol 3. UNAM. D.F. México.
- Casas A, Valiente-Banuet A, Rojas-Martínez A & Dávila P. 1999. Reproductive biology and the process of domestication of the columnar cactus *Stenocereus stellatus* in Central México. *American Journal of Botany* **86**: 534-542.
- Contreras M C & Valverde T. 1999. Estudio demográfico de *Mammillaria crucigera* en la región de San José Tilapa, Puebla; México, página 147. En Memorias de II Congreso Mexicano y I Latinoamericano y del Caribe sobre cactáceas y otras plantas suculentas. Oaxaca, Oaxaca. México.
- Contreras M C & 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.
- Cortés R.P. 2003. Contribución al conocimiento de la dinámica poblacional de *Mammillaria zephyrantoides* en Cuautinchán, Puebla. Tesis de licenciatura. Escuela de Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.
- Del Castillo R F. 1982. Estudio ecológico de *Ferocactus histrix* (DC.) Lindsay. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México. D.F.
- Del Castillo R F. 1986. Semillas, germinación y establecimiento de *Ferocactus histrix*. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **31**: 5-11.
- Del Castillo R F. 1987. Efectos del disturbio y la orientación de ladera en *Ferocactus histrix*. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **32**: 8-16.
- Godínez-Álvarez H, Valiente-Banuet A & Valiente L. 1999. Biotic interactions and the population dynamics of the long-lived columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo* in the Tehuacán Valley, México. *Canadian Journal of Botany* **77**:203-208.
- Godínez-Álvarez H, Valverde T & Ortega P. 2003. Demographic Trends in the Cactaceae. *The Botanical Review* **69**: 123-203.
- Guzmán U, Arias S & Dávila P. 2003. Catálogo de Cactáceas Mexicanas. UNAM, CONABIO. México. D.F.

- Harper J & White J. 1977. The demography of plants. Academic Press. New York.
- Hernández H & Godínez H. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* **26**:33-52.
- INEGI. 2000. Síntesis geográfica del estado de Puebla (Anexo cartográfico).
- Jiménez-Sierra C & Jiménez-González C. 2003. Heterogeneidad ambiental y distribución de cactáceas en una zona semiárida. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **48**:4-17.
- Leirana-Alcocer J & Parra-Tabla V. 1999. Factors affecting the distribution, abundance and seedling survival of *Mammillaria gauderi*. An endemic cactus of coastal Yucatán; México. *Journal of Arid Environments* **41**: 421-428.
- León de Luz J & Domínguez R. 1991. Evaluación de la reproducción por semilla de la pitaya agria *Stenocereus gummosus* en Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana* **14**:75-87.
- León de la Luz J L, Coria R & Cruz M. 1996. Fenología floral de una comunidad árido-tropical de Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana* **35**: 45-64.
- López-Villavicencio M. 1999. Dinámica poblacional de *Mammillaria magnimamma* en la reserva del pedregal de San Ángel. Tesis M. en C. Facultad de Ciencias, UNAM. México. D.F.
- Martínez D, Flores-Martínez A, López F & Manzanero G. 2001. Aspectos ecológicos de *Mammillaria oteroi* Glass y R. Foster en la región Mixteca de Oaxaca, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **46**: 32-39.
- Martorell C & Peters E. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation* **124**: 199-207.
- Moore P & Chapman S. 1986. Methods in Plant Ecology. 2a. Edition. Edit. Blackwell Scientific Publication. Oxford.
- Navarro MC & Juárez MS. 2006. Evaluación de algunos parámetros demográficos de *Mammillaria zephyranthoides* en Cuautinchán Puebla, México. *Zonas Áridas* **10**: 74-83.
- Ollerton J & Lack A. 1998. Relationships between flowering phenology, plant size and reproductive success in *Lotus corniculatus* (Fabaceae). *Plant Ecology* **139**:35-47.
- Quijas S. 1999. Análisis demográfico por edades de *Mammillaria magnimamma* en el Pedregal de San Ángel. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. D.F.
- Reyes J. 1994. Métodos para la propagación de cactáceas mexicanas. *Amaranto* **7**: 1-12.
- Rodríguez C & Ezcurra E. 2000. Distribución espacial en el hábitat de *Mammillaria pectinifera* y *M. carnea* en el valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **45**:5-14.
- Rodríguez C & Franco M. 2001. La retención de semillas en el género *Mammillaria* (Cactaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **46**:63-67.
- Valverde T, Trejo M & Castillo S. 1999. Patrón de distribución y abundancia de *Mammillaria magnimamma* en la Reserva del Pedregal de San Ángel, México D. F. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **44**: 64-74.
- Valverde PL & 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 México. *Journal of Arid Environments* **64**: 193-208.
- Zavala-Hurtado JA 1997. Suculentas mexicanas/cactáceas. UNAM. CONABIO. CVS Publicaciones. México.
- Zavala-Hurtado JA & Valverde PL. 2002. Restricción del hábitat en *Mammillaria pectinifera* Weber (Cactaceae), una especie amenazada, endémica del Valle de Tehuacán, en el Trópico Mexicano. Memorias III Simposio Internacional Sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas, Hermosillo, Sonora, México.

Recibido: agosto 2006; received: August 2006.

Aceptado: abril 2007; accepted: April 2007.

Diferencias nutricionales entre *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose y *Ferocactus histrix* (DC.) G.E. Linds.

Morales, Jorge E.^{1*}; López, Dulce Kathia¹; Freeman, Roberto¹ & Varela, Gerardo²

Resumen

Los requerimientos nutricionales de cactáceas de zonas áridas y de algunos agaves han sido estudiados por Nobel (1988). Estos estudios mostraron la tolerancia de dichas plantas a concentraciones hasta dos veces mayores que la concentración de la solución de Hoagland. Los experimentos de Nobel no incluyeron cactáceas de la selva, y existe poca información al respecto. En este trabajo se estudiaron y compararon el crecimiento de *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose y el de *Ferocactus histrix* (DC.) G.E.Linds. en condiciones de cultivo hidropónico, usando 6 concentraciones nutricionales diferentes expresadas como múltiplos de la solución de Hoagland. Se encontró que la mayor tasa de crecimiento para *F. histrix* ocurre cuando las plántulas son fertilizadas con solución de Hoagland al 100% de su composición original, en contraste con *H. undatus* que presenta mayor crecimiento cuando se fertiliza con una concentración nutritiva al 50% de la composición original de la solución de Hoagland.

Palabras clave: cactus, crecimiento, *Ferocactus*, hidroponia, *Hylocereus*, nutrición,

Abstract

Nutritional requirements of arid zone cacti and some agaves have been studied by Nobel (1988). Those studies showed a tolerance of such plants to as far as twice Britton & Rose Hoagland's solution concentration. Nobel's experiments did not include forest cacti, and there is little information about such species. In this paper the growth of *Hylocereus undatus* (Haw.) and *Ferocactus histrix* (DC.) G.E. Linds. Candolle on hydroponic conditions were studied and compared using 6 different nutritional concentrations expressed as multiples of Hoagland's solution. It was found that the maximal growth rate for *F. histrix* was at the original Hoagland's solution concentration whereas *H. undatus* showed the highest growth at a half Hoagland's solution concentration.

Key words: cacti, *Ferocactus*, growth, hydroponics, *Hylocereus*, nutrition.

¹ Departamento de Ciencias de la Salud, UAM-Iztapalapa.

² Departamento de Matemáticas, UAM-Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco No 186, Col Vicentina C.P. 09340 México, D.F. *Autor de correspondencia: Dr. Jorge Eduardo Morales Torres: jemt1@hotmail.com

Introducción

Las cactáceas de zonas áridas crecen en suelos porosos y en ocasiones ricos en minerales. Las concentraciones salinas de estos suelos pueden alcanzar niveles tóxicos para algunos cultivares comerciales, pero aparentemente algunas cactáceas son tolerantes a estas concentraciones salinas (Nobel 1988). Este autor, estudió los requerimientos nutricionales de diferentes cactáceas de zonas áridas (los cactus columnares *Carnegiea gigantea* Engelmán y *Trichocereus chilensis* Schumann; el cactus globoso *Ferocactus acanthodes* Lemaire y *Opuntia ficus-indica* L). Mientras que los cactus columnares mostraron tener menos tolerancia a concentraciones mayores de sales, los cactus globosos y las opuntias son tolerantes a concentraciones salinas del doble de la concentración original de Hoagland (1950).

Estudios realizados en *Opuntia engelmannii* Salm-Dyck (Nobel *et al.* 1987) mostraron que las opuntias (*Opuntia ficus-indica* y *O. engelmannii*) son tolerantes a concentraciones salinas relativamente elevadas y responden a la aplicación de fertilizantes nitrogenados incrementando su crecimiento vegetativo expresado como cantidad de cladodios producidos (Nobel *et al.* 1987; Nerd & Mizrahi 1994). En lo referente a cactáceas de la selva, estas crecen en suelos ricos en materia orgánica y la mayoría de las especies son de hábitos epífitos. Se ha estudiado la respuesta a la fertilización de una sola especie de estas cactáceas, *Hylocereus undatus* Haworth, cuyo fruto es la pitahaya o pitaya orejona y los resultados no han sido concluyentes (Mata 1997).

La respuesta de las cactáceas a la fertilización es variada y aparentemente no es específica para cada especie, estas diferencias tal vez se deben a la naturaleza del sistema radicular presente en los cactus. Cannon (1911) y Gibson y Nobel (1986) mostraron que las cactáceas poseen diferentes hábitos de crecimiento radicular. Si aceptamos que la raíz principal constituye el sistema de anclaje y las raíces secundarias representan el mayor porcentaje de la superficie de absorción de nutrimentos y agua para la planta, el desarrollo de éstas últimas puede influir en el crecimiento y tolerancia a condiciones salinas adversas y puede explicar de cierto modo las diferentes respuestas de las cactáceas a las concentraciones de nutrimentos. En el presente trabajo se estudia el crecimiento de dos cactáceas con diferentes sistemas radiculares: *Hylocereus undatus*, de hábitos epífitos, con un sistema radicular terrestre relativamente pequeño en comparación con el tamaño de la parte aérea de la planta y con desarrollo de raíces adventicias, y *Ferocactus histrix*, con un sistema radicular compuesto de una gran cantidad de raíces (en comparación con la parte aérea de la planta) que se desarrollan debajo de la planta y que son en su mayoría secundarias (Foto 1). Ambas especies, fueron cultivadas en condiciones hidropónicas para poder controlar las concentraciones de los nutrimentos agregados, usando como referencia nutricional la solución de Hoagland (1950). Esta solución fue desarrollada con base en el análisis mineral de las plantas herbáceas realizado por Hoagland y Arnon (Cuadro 1), y tiene la ventaja de que permite estudiar



FOTO 1. Tamaño comparativo entre el tallo y las raíces de *Hylocereus undatus* y *Ferocactus histrix*.

el efecto de los macro y micro nutrimentos sin la influencia de sustancias desconocidas, máxime que se emplea un sustrato inerte.

Considerando lo anterior el cultivo se hizo en diferentes regímenes nutricionales expresados como múltiples y submúltiplos de la concentración original de la solución de Hoagland (1950). En cada una de las especies seleccionadas se evaluó el crecimiento y desarrollo y se estableció la concentración nutricional óptima para cada especie, tomando como criterios la supervivencia, el crecimiento de las plantas y el establecimiento de las mismas en cada uno de los diferentes regímenes nutricionales.

Materiales y métodos

Especies de estudio

a) *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose
Plantas terrestres o epífitas. Tallos triangulares, verdes o con más edad, glaucos, largos y ramificados, de 5-6 cm de diámetro. Costillas, casi siempre 3, anchas y delgadas.

CUADRO 1. Composición de la solución de Hoagland.

Solución nutritiva de Hoagland	
Nitrato de calcio	11.8g por litro
Nitrato de potasio 1 Molar	0.50g por litro
Sulfato de Magnesio 1 Molar	0.49g por litro
Fosfato diácido de potasio 1 Molar	0.13g por litro
Cloruro férrico	5mg de ión Fe^{3+} por ml de solución
Solución de micro nutrimentos*	11ml de spl en 1 litros

La solución de micro nutrimentos (sin hierro) contiene por cada litro 2.86 g de H_3BO_3 , 1.81 g de $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, 0.11 g de $ZnCl_2$, 0.05 g de $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ y 0.025 g de $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$.

Aréolas distantes entre sí 3 a 4 cm. Espinas 1 a 3, pequeñas, de 2 a 4 cm de largo. Flores de aproximadamente 30 cm de largo, segmentos exteriores del perianto verde amarillentos, segmentos interiores blancos. Fruto oblongo, de 10 a 12 cm de diámetro, rojo purpúreo, comestible de pulpa blanca. Semillas pequeñas y negras (Bravo- Hollis 1978) (Fotos 2 y 4).

b) Ferocactus histrix (DC.) G.E.Linds.

Plantas simples. Tallo globoso hasta sub ovoide, de alrededor e 50 cm de altura y diámetro; ápice algo aplanado y tomentoso. Costillas 20 a 38, rectas, agudas, de 2 a 3 cm de altura, poco tuberculadas. Aréolas distantes entre sí 2 a 3 cm de 2 cm de longitud. Espinas gruesas, amarillas o con tinte rojizo hacia la base. Espinas radiales, 8 ó más, ligeramente curvas, más cortas que la central, radiadas. Espina central, 1 hasta de 9 cm de longitud, recta o ligeramente curva. Espinas glandulíferas de 3 mm de longitud, activas en las aréolas con flores. Flores campanuladas de 3.5 cm de longitud y 2.5 cm de diámetro, amarillas, pericarpelo con escamas amarillas; segmentos exteriores del perianto de 1.5 cm de longitud y de 4 mm de ancho, con el margen aserrado, segmentos interiores del perianto linear-oblongos, agudos, aserrados, estambres numerosos, filamentos de color verde amarillento, anteras pequeñas, amarillas, estilo de 15 mm de longitud, lóbulos del estigma, 16, lineares y verdes. Fruto elipsoide de unos 2 cm de diámetro, blanco y comestible. Semillas pequeñas de 1 mm de longitud de color castaño oscuro (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991) (Foto 3).

Germinación y cultivo hidropónico

Semillas de *Hylocereus undatus* obtenidas de frutos comerciales (cosecha 1999) se germinaron con agua en cajas de Petri por 16 días,

después se trasplantaron a un soporte de agrolita de 7 cm. de espesor en recipientes de plástico de 27 x 36 cm. Semillas de *Ferocactus histrix* obtenidas en mercados rurales del estado de Querétaro (cosecha 1999), fueron germinadas en iguales condiciones previa escarificación con ácido sulfúrico al 30% por diez minutos. En ambas especies, una vez realizado el trasplante, la agrolita se mantuvo a capacidad de campo adicionando cada tercer día 300 ml de solución nutritiva de acuerdo con el régimen nutricional estudiado. Las plantas se mantuvieron en cultivo hidropónico en un cuarto de cultivo de intensidad luminosa 1600 lux, proporcionada por una combinación de lámparas fluorescentes y luz natural con variaciones semanales del 20 % y un fotoperiodo de 12 horas. Las condiciones de cultivo fueron: temperatura entre 25 y 30°C con oscilaciones diarias de 7°C; humedad relativa entre 60 y 70%.

Efecto del régimen nutricional en el crecimiento

Se realizó un experimento factorial de 2 x 5 con especies de cactáceas (*H. undatus* y *F. histrix*) y régimen nutricional (0X, 0.25X, 0.5X, 1X y 2X) como factores (Cuadro 2). Dado el carácter destructivo de la determinación del peso seco, no se realizaron mediciones repetidas; en vez de ello, se midieron diferentes unidades experimentales en cada tiempo, de ahí que se manejaran tantas plantas en el cultivo hidropónico. Para esto, se manejaron cinco grupos de 100 plantas, uno para cada régimen nutricional, y de ellos se fueron tomando lotes de 5 plantas como unidades experimentales para su medición, con 3 réplicas para cada régimen nutricional. Las

CUADRO 2. Diseño experimental para evaluar la influencia del régimen nutricional en dos especies de cactáceas. Los niveles nutricionales se expresan como múltiplos de la solución de Hoagland.

<i>Hylocereus undatus</i>	<i>Ferocactus histrix</i>
0 X	0 X
0.25 X	0.25 X
0.5 X	0.5 X
1 X	1 X
2 X	2 X

diferencias entre tratamientos se analizaron con la prueba de Duncan, considerando como variable el crecimiento al término del estudio, y comparando las velocidades de crecimiento estimadas con un modelo exponencial.

Efecto del régimen nutricional en la supervivencia y la esperanza de vida

De nuevo se realizó un experimento factorial de 2 x 5 con especies de cactáceas y régimen nutricional como factores (Cuadro 2). Se manejaron cinco grupos de 100 plantas, uno para cada régimen nutricional. Las diferencias entre tratamientos, (considerando como variables la supervivencia y la esperanza de vida, se analizaron con la prueba de Duncan).

a) Estimación del crecimiento

El crecimiento en *H. undatus* se midió como peso seco a los 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses y en *F. histrix* a los 2, 4, 6 y 8 meses, dado el menor crecimiento comparado con el anterior (ver Figura 1A,B). Por un lado se comparó el crecimiento alcanzado en cada régimen nutricional al final del experimento. Por otro lado se compararon las velocidades de crecimiento

desarrolladas en cada uno de tales regímenes a lo largo del experimento.

La velocidad de crecimiento se estimó, como intervalos de confianza, con el paquete estadístico NCSS, ajustando curvas a los datos de peso seco (g) en el tiempo de acuerdo con el modelo exponencial: $P(t) = P_0 e^{Rt}$, donde $P(t)$ es el peso seco de la planta en cualquier instante de tiempo, P_0 el peso inicial, R la tasa de crecimiento.

b) Estimación de la supervivencia y la esperanza de vida

Se evaluó la supervivencia contando cada semana los individuos presentes en cada uno de los grupos experimentales durante un periodo de 6 meses para *H. undatus* y 8 meses para *F. histrix*.

Un buen criterio para medir las posibilidades de una planta para continuar su ciclo vital es la evaluación del establecimiento (Fenner 1985). Sin embargo, debido a su peculiar morfología, en cactáceas es necesario utilizar criterios diferentes para evaluar el establecimiento, ya que los cotiledones de estas plantas no son caducos como en *H. undatus*, o bien, no se observan como es el

caso de *F. histrix*. Osorio-Olaiz *et al.* (2001) usaron como criterio para evaluar el establecimiento de *H. undatus* la esperanza de vida. Al no depender de la caída de los cotiledones, este criterio resulta adecuado para evaluar el establecimiento de *H. undatus* y *F. histrix*.

Con los datos de cada especie se construyeron curvas de supervivencia y se estimaron las esperanzas de vida promedio, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$e_x = \frac{T_x}{n_x}$$

Donde:

e_x = esperanza de vida promedio para los individuos vivos en el inicio del intervalo de edad x .

$$T_x = \sum_x^{\infty} L_x$$

n_x = número de sobrevivientes al intervalo de edad x

L_x = número de individuos vivos en promedio en el intervalo de edad x a $x + 1$.



Foto: Salvador Arias

FOTO 2. *Hylocereus undatus* en fructificación.

Resultados

Efecto del régimen nutricional en el crecimiento

Crecimiento total

El crecimiento de *H. undatus*, expresado como incremento total de peso seco (g) y evaluado en las condiciones nutricionales del cuadro 2, no mostró diferencias en los primeros meses de cultivo, pero a los 6 meses de cultivo, si graficamos el crecimiento contra la concentración de la solución de Hoagland (1950), se observa una curva de tipo parabólico teniendo el mayor crecimiento en la concentración 0.5X. Tal crecimiento fue similar de acuerdo con la prueba de Duncan al crecimiento en las condiciones 1X y 0.25X, todas ellas expresadas como múltiplos de la concentración original de Hoagland (1950), formando un grupo de mayor crecimiento; mientras que las concentraciones 0X y 2X mostraron un crecimiento menor (Fig. 1A).

El crecimiento de *F. histrix*, como peso seco (Fig. 1B) en las mismas condiciones nutricionales experimentadas que *H. undatus*, tampoco mostró diferencias en los primeros meses de cultivo. A partir de los 6 meses empezó a manifestar diferencias que fueron evidentes y significativas a los 8 meses. El máximo se mostró en la concentración 1X, aunque no es significativamente diferente al de la concentración 2X pero sí al de todas las demás concentraciones.

Curvas de crecimiento

La curva de crecimiento de *H. undatus*, peso seco (g) vs. mes, (Fig. 2A), mostró la

existencia de dos grupos de crecimiento, uno formado por los regímenes nutricionales 0X y 2X y el otro formado por los regímenes 0.25X, 0.5X y 1X, todos ellos expresados como múltiplos de la concentración original de la solución de Hoagland (1950). En el primer grupo el crecimiento de las plantas es prácticamente nulo, mientras que en el segundo grupo se observa un crecimiento exponencial apreciable a partir de los 4 meses de edad de las plantas. Estos resultados concuerdan con los del ajuste para las velocidades de crecimiento.

En *F. histrix*, la curva de crecimiento bimestral, en términos de peso seco (g), a lo largo de 8 meses (Fig. 2B), mostró la existencia de tres grupos de crecimiento, uno formado por los regímenes nutricionales 0X y 0.5X, el segundo formado por los regímenes 0.25X y 1X, y el tercer grupo formado únicamente por el régimen 2X, todos ellos expresados como múltiplos de la concentración original de la solución de Hoagland (1950). En el primer grupo el crecimiento de las plantas es prácticamente nulo, mientras que en el segundo grupo se observa un crecimiento exponencial. En el caso de la condición 2X, si bien el crecimiento a los 8 meses es intermedio entre el de las condiciones 0.25X y 1X, la curva tiene diferente forma a la del segundo grupo. Sin embargo, la gran dispersión de los valores que forman la curva para 2X no permite diferenciar sus valores medios de los de las condiciones del segundo grupo, excepto en el mes 6.

Dada la diferencia, entre las dos especies, de un orden de magnitud, en el crecimiento expresado en peso seco (g), no se realizó prueba estadística para analizarla.

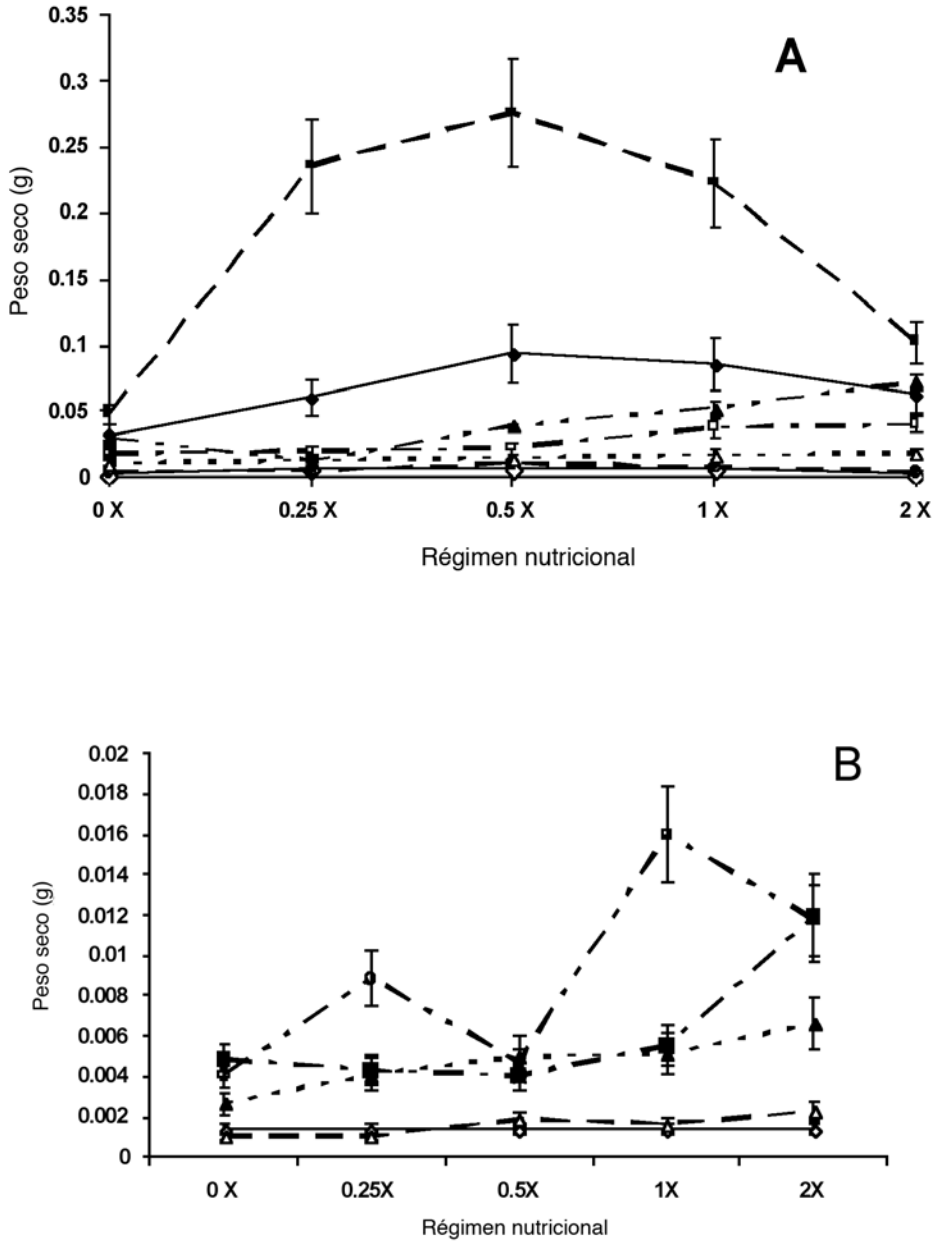


FIGURA 1. Crecimiento de *H. undatus* (A) y *F. histrix* (B) expresados como peso seco total, el crecimiento de este último fue hasta los 8 meses, debido a que antes no se manifiestan las diferencias en el crecimiento, las series de datos representan edades diferentes de las plantas ◇ cero meses ; ● 1 mes ; △ 2 meses ; □ 3 meses ; ▲ 4 meses ; ◆ 5 meses ; ■ 6 meses ; ○ 8 meses.

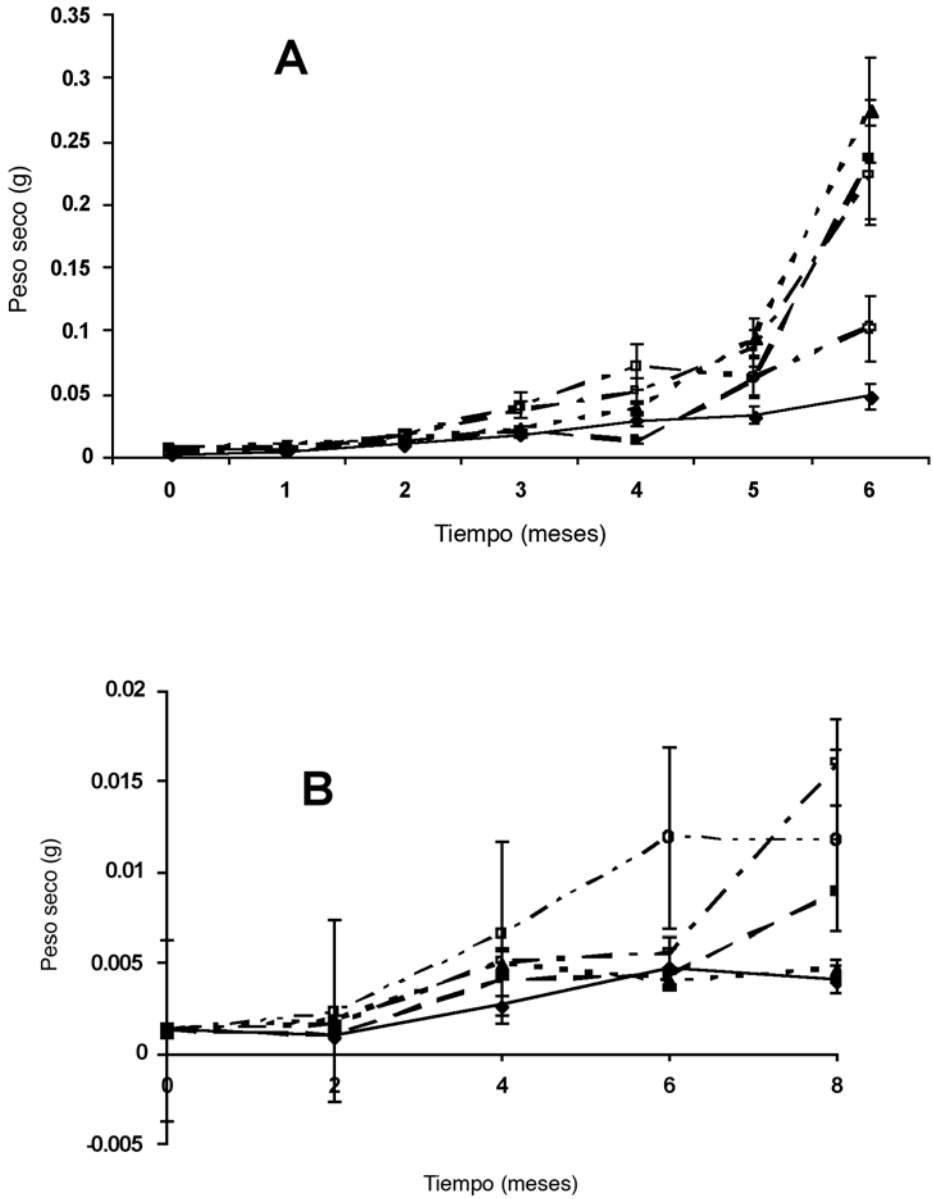


FIGURA 2. Curvas de crecimiento de *H. undatus* (A) y *F. histrix* (B) expresadas como peso seco (g). Las series de datos representan las diferentes condiciones nutricionales ◆ cero X; ■ 0.25 X; ▲ 0.5 X; □ 1 X; ○ 2 X.

Velocidad de crecimiento

El análisis de las curvas de crecimiento, con base en el modelo $P(t) = P_0 e^{Rt}$, mostró para *H. undatus* que el régimen 0.5X tiene el mayor valor puntual de R (Cuadro 3), seguido por los regímenes 1X y 0.2X, de los que no se diferencia estadísticamente. Las plantas en los regímenes 2X y 0X presentan una tasa de crecimiento R del 50% de la que se presenta en 0.5 X.

El mismo análisis se realizó en *F. histrix* (Cuadro 3) y se encontró la mayor tasa de crecimiento R, de manera puntual, en la concentración original de la solución de Hoagland, es decir 1X. Sin embargo, estadísticamente no es significativamente diferente de las obtenidas para las otras condiciones pues todos los intervalos, calculados al 95% de confianza, se traslapan.

Efecto del régimen nutricional en la supervivencia y esperanza de vida

H. undatus presentó curvas de supervivencia semejantes entre sí, caracterizadas por una tasa relativamente constante de deceso, siendo la supervivencia mayor en la condición 1X (Fig. 3).

F. histrix presentó curvas de supervivencia caracterizadas por una tasa relativamente constante de deceso, aunque mayor que con *H. undatus*, siendo la supervivencia mayor en la condición 0X (Fig. 3).

La esperanza de vida fue similar en todos los regímenes nutricionales para *H. undatus*. *F. histrix* mostró dos grupos de esperanza de vida, uno formado por los regímenes 0.25 X, 0.5 X y 1X (Cuadro 3), teniendo un máximo en el régimen 1 X, y el otro, formado por los regímenes 0 X y 2 X (Cuadro 3), presentó una menor esperanza de vida.

CUADRO 3. Regresión no lineal del crecimiento expresado como peso seco considerando un modelo exponencial $P(t) = P_0 e^{Rt}$. En donde $P(t)$ es el peso seco en el tiempo t , P_0 el peso inicial y R la tasa de crecimiento.

<i>Hylocereus undatus</i>						
Régimen	P_0	Límite inferior	Límite superior	R	Límite inferior	Límite superior
0 X	4.54×10^{-3}	2.36×10^{-3}	6.73×10^{-3}	0.40	0.31	0.49
0.25 X	1.87×10^{-2}	7.69×10^{-4}	2.94×10^{-2}	0.80	0.07	0.90
0.5 X	7.25×10^{-4}	1.57×10^{-4}	1.29×10^{-3}	0.98	0.85	1.12
1 X	1.93×10^{-3}	6.26×10^{-3}	3.19×10^{-3}	0.79	0.68	0.90
2 X	7.62×10^{-3}	2.76×10^{-3}	1.25×10^{-2}	0.46	0.35	0.58

<i>Ferocactus histrix</i>						
Régimen	P_0	Límite inferior	Límite superior	R	Límite inferior	Límite superior
0 X	1.37×10^{-3}	4.78×10^{-4}	1.51×10^{-4}	0.15	0.06	0.25
0.25 X	1.03×10^{-3}	4.1×10^{-4}	1.65×10^{-3}	0.26	0.18	0.34
0.5 X	2.03×10^{-3}	8.87×10^{-4}	3.18×10^{-3}	0.11	0.02	0.21
1 X	7.74×10^{-4}	-4.9×10^{-4}	2.04×10^{-3}	0.37	0.16	0.59
2 X	2.66×10^{-4}	9.87×10^{-4}	4.35×10^{-3}	0.20	0.11	0.29

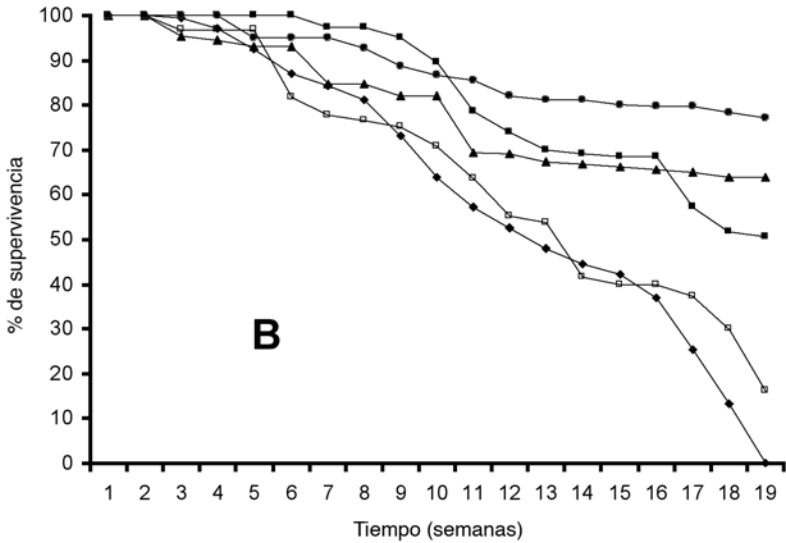
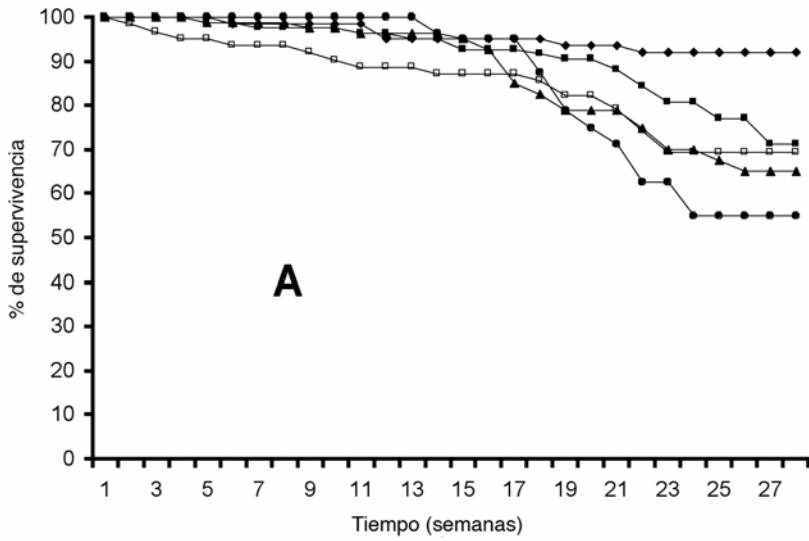


FIGURA 3. Supervivencia de *H. undatus* (A) y *F. histrix* (B) en diferentes regímenes nutricionales ◆ 0 X; ■ 0.25 X; ▲ 0.5 X; ● 1 X; □ 2 X; expresados como múltiplos de la solución de Hoagland.

Discusión

Crecimiento

Las plantas de *H. undatus* alcanzaron su máximo tamaño cuando se cultivaron en la condición 0.5 X con referencia a la solución de Hoagland (1950), esta condición nutricional, además presentó la mejor velocidad de crecimiento, $R = 0.98$, de acuerdo con el modelo exponencial $P(t) = P_0 e^{Rt}$. Las condiciones 0.25X y 1X tuvieron valores de R de 0.80 y 0.79 respectivamente, mientras que las condiciones 2X y 0X mostraron bajas velocidades de crecimiento $R = 0.46$ y 0.40 respectivamente, que a su vez mostraron el menor crecimiento total. Esto convierte a los regímenes 0.5X, 0.25X y 1X en un grupo con crecimiento y velocidad de crecimiento altos. En contraste con las dos restantes condiciones 0X y 2X que mostraron velocidades de crecimiento y crecimientos bajos.

En el caso particular de la condición 2X el crecimiento la tasa de crecimiento bajos, podría interpretarse como consecuencia de toxicidad por exceso de nutrientes, mientras que para la condición 0X, la tasa de crecimiento baja se puede atribuir a una carencia de nutrientes, puesto que sólo se suministra agua y la plántula dispone únicamente de los nutrientes presentes en la semilla.

Este comportamiento puede explicarse como un máximo en la condición 0.5X a partir del cual disminuye en ambos sentidos, al disminuir la concentración por disminución de aporte de nutriente, al aumentar la concentración por incremento en el efecto tóxico de las concentraciones mayores. Aún así el crecimiento se da en un intervalo de concentraciones

que representa un rango de tolerancia tanto a niveles bajos como altos de nutrientes, permitiendo la supervivencia de las plantas en un rango relativamente amplio de fertilidad de los suelos.

Ferocactus histrix mostró un crecimiento mucho menor al de *H. undatus*, y las plantas alcanzaron su mayor tamaño cuando se cultivaron en la concentración original de la solución de Hoagland (1X), con una velocidad de crecimiento baja, $R = 0.37$. A diferencia de *H. undatus*, si bien se observó una concentración de máximo crecimiento total, tal condición no presentó una R significativamente mayor a la de las demás condiciones experimentales. El poco crecimiento mostrado por *F. histrix* durante el tiempo del estudio, así como la dispersión de los datos no permite ver una consistencia entre los dos criterios de evaluación del crecimiento, ni una clara relación entre la concentración de nutrientes y el crecimiento. Lo único claro es que la mejor condición fue la concentración 1X, diferencia que no es muy grande con respecto a las otras concentraciones y que el crecimiento es mucho menor al presentado por *H. undatus* en las mismas condiciones experimentales.

Supervivencia

La supervivencia de las plantas de *H. undatus* no muestra grandes diferencias entre tratamientos. La menor supervivencia nominal la presentaron los valores extremos de concentración 0X y 2X, mientras que la mayor se mostró en la concentración 0.25X. En todos los casos la supervivencia, en el tiempo trabajado, fue mayor del 50%, por lo que no es posible

apreciar un claro comportamiento a nivel de las curvas de supervivencia propuestas por Pearl (1928). Se podría pensar que para estos cortos tiempos de ensayo la supervivencia no se ve influenciada significativamente por el régimen nutricional.

La mayor supervivencia de *F. histrix*, fue en el régimen 1X y, al igual que para *H. undatus*, no es posible apreciar un claro comportamiento a nivel de las curvas de supervivencia propuestas por Pearl (1928). Algo similar, pero con una menor supervivencia, se presenta en las condiciones 0.5X y 0.25X. En el caso de las condiciones extremas 2X y 0X se presentó la mayor mortalidad y curvas de supervivencia muy cercana a una curva de tipo 2 según Pearl. Estas supervivencias al igual que el crecimiento mostraron como mejor condición experimental el régimen 1X, seguido por las condiciones 0.25 X y 0.5X.

Una vez establecida la planta su crecimiento dependerá en gran medida de su tolerancia a cambios en las condiciones nutricionales del suelo, si estos faltan la planta depende únicamente de sus reservas y si están en exceso pueden provocar toxicidad y la planta muere. Tomando la esperanza de vida como criterio para medir el establecimiento, una baja esperanza de vida se puede traducir como una baja capacidad de las plantas para establecerse y viceversa.

Los cuadros 3 y 4 muestran que las plantas de *H. undatus* cultivadas en un régimen de 0.5 veces la concentración original de la solución de Hoagland presentan la mejor tasa de crecimiento $R = 0.98$ con una esperanza de vida de 23.61 semanas, la cual no es estadísticamente

diferente de las esperanzas de vida de los demás regímenes nutricionales, debido al traslape en los intervalos. Esta situación se interpreta como una capacidad similar de establecimiento de las plantas en todas las condiciones nutricionales probadas. Al no haber diferencia en el establecimiento de las plantas de *H. undatus* el criterio para seleccionar un régimen nutricional se basó en la velocidad de crecimiento y se seleccionó a la condición 0.5 X como la mejor condición nutricional para el cultivo hidropónico de *H. undatus*. Si bien estadísticamente tal R no es significativamente diferente de las de las condiciones 0.25X y 1X, tal situación se debe en buena medida al reducido número de repeticiones, de ahí la selección de la condición 0.5X.

Ferocactus histrix mostró que la condición nutricional 1X junto con las condiciones 0.25 X y 0.5X, proporcionan la mayor esperanza de vida a las plántulas, formando un grupo de esperanza de vida alta según la prueba de Duncan. La velocidad de crecimiento de las condiciones 1X y 0X fue similar, $R = 0.88$ y $R = 0.98$ respectivamente, y no diferentes estadísticamente de entre sí, y dado que la condición 1 X es la que proporciona la mayor esperanza de vida, esta condición puede considerarse la mejor para el cultivo de *F. histrix*, que es el doble de la concentración nutritiva requerida por *H. undatus*.

Con las diferencias en el tiempo de estudio y en los resultados obtenidos las comparaciones y las explicaciones no son fáciles ni claras. Si se trabajó *H. undatus* a 6 meses, y no a 8 como *F. histrix*, fue porque la cantidad de material, dadas las determinaciones destructivas, no permitieron

CUADRO 4. Esperanza de vida de *F. histrix* y *H. undatus* en cultivo hidropónico. Las condiciones nutricionales se expresan como múltiplos de la concentración de la solución de Hoagland, y los valores de esperanza de vida están dados en semanas.

Régimen	<i>Hylocereus undatus</i>	<i>Ferocactus histrix</i>
0 X	25.85 ± 1.33	23.88 ± 1.04
0.25 X	24.66 ± 2.18	29.87 ± 0.86
0.5 X	23.61 ± 2.16	28.28 ± 1.14
1 X	22.64 ± 1.24	31.82 ± 1.13
2 X	22.98 ± 2.67	23.78 ± 0.64



Foto: Salvador Arias

FOTO 3. Individuo de *Ferocactus histrix* en su hábitat natural.

seguir hasta los 8 meses. Por otro lado, no se interrumpió el trabajo con *F. histrix* a 6 meses, de manera que fuera igual que con *H. undatus*, por su crecimiento tan limitado. Con todo, se puede caracterizar el comportamiento mostrado por *H. undatus* como un crecimiento claramente diferenciado de acuerdo con el tratamiento aplicado, donde el aumento en la concentración resulta primero en un aumento en el crecimiento y luego en su disminución, lo que no es tan claro en *F. histrix*, donde parece verse un aumento en el crecimiento con un aumento en la concentración de nutrimentos, aunque sí hay un menor crecimiento a 2X comparado con 1X.

Con respecto a la supervivencia y la esperanza de vida, en *F. histrix* los valores menores de esperanza de vida y de supervivencia se presentaron en 0X y 2X, mientras que no se aprecian diferencias en las esperanzas de vida de *H. undatus* y sus supervivencias no fueron muy diferentes. Sin embargo, dada la diferencia en el tiempo de estudio y viendo la figura 3, podríamos esperar que con más tiempo el comportamiento presentado por *H. undatus* se asemejara al de *F. histrix*, en cuanto a que las curvas se diferenciaron más, aunque no con el mismo patrón por concentración. Con esto último en mente, llama la atención cómo en *H. undatus* la mayor supervivencia se presenta en el grupo de menor crecimiento, mientras que en *F. histrix* el grupo de menor crecimiento es el de menor supervivencia. Pareciera que si hay una respuesta de mucho crecimiento a las concentraciones de nutrimentos, fuera con una concomitante disminución en la supervivencia; mientras que si no

aumenta o acelera tanto tal crecimiento, no se ve afectada tanto la supervivencia.

Anteriormente los resultados sobre la respuesta a la fertilización de la única especie de cactácea de selva estudiada, *H. undatus*, no habían sido concluyentes (Mata 1997), ahora es claro que hay una respuesta fertilización como se caracterizó en el párrafo anterior.

Ferocactus histrix presenta un lento crecimiento característico de las plantas de zonas áridas. Al crecerlo en condiciones hidropónicas con soluciones nutritivas podría uno esperar que el crecimiento se disparara al no haber la limitante nutricional. Sin embargo el aumento en el crecimiento fue mucho menor al mostrado por *H. undatus*, lo que muestra que no es cuestión únicamente de la presencia de los nutrimentos, sino también un control adicional de crecimiento y/o mecanismos para el aprovechamiento de tales nutrimentos inherentes a la especie.

Como ya se mencionó, hay diferencias en el sistema radicular de *H. undatus* y *F. histrix*, la primera tiene un sistema radicular aéreo muy desarrollado que le permite fijarse a las superficies cercanas a sus cladodios mientras que las raíces en el suelo constituyen la mínima porción del sistema radicular completo. Esto pudiera dar una clave a la mayor respuesta y susceptibilidad al aumento en las concentraciones de nutrimentos en el caso de *H. undatus*, en comparación a lo mostrado por *F. histrix*.

Aunque existe la posibilidad de absorber nutrimentos por tallo (Franke 1967), en cactáceas es difícil decir si esto sucede, debido a la presencia de una gruesa capa de cutina que las protege de la pérdida de

agua. Por ello, independientemente de si tienen o no la capacidad de asimilar nutrientes por los tallos, tal capacidad no puede sustituir la absorción de nutrientes minerales por la raíz.

Agradecimientos

Los autores agradecen de manera especial al Sr. Jorge Lodigiani Rodríguez por las fotografías y montaje fotográfico para este trabajo.

Literatura Citada

- Bravo-Hollis H. 1978. *Las Cactáceas de México*. Vol. I. UNAM, México, D.F.
- Bravo-Hollis H. & Sánchez-Mejorada H. 1991. *Las Cactáceas de México*. Vol. II. UNAM, México, D.F.
- Cannon WA. 1991. *The Root Habits of Desert Plants*. Carnegie Institution of Washington D.C.
- Fenner M. 1985. *Seedling Ecology in Seed Ecology*. Chapman and Hall N.Y.
- Franke W. 1966. Mechanisms of Foliar Penetration of Solutions. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* **18**: 281-300.
- Gibson A & Nobel PS. 1986. *The Cactus Primer*. Harvard University Press Cambridge.
- Hoagland DR & Arnon DI. 1950. The Water Culture Method for Growth of Plants Without Soil. *Calif. Agric. Exp. Stn. Circ.* **342**:1-32.
- Mata Espinosa J. 1997. *Incorporación de Nutrientes en Pitaya (Hylocereus undatus Haworth) A través del Tallo*. Tesis profesional Universidad Autónoma de Chapingo.
- Nerd A & Mizrahi Y. 1994. Effect of Nitrogen Fertilization and Organ Removal on Budding in *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *Scientia Horticulturae* **59**; 115-122.
- Nobel PS, Russell CE, Felker P, Medina JG & Acuña A. 1987. Nutrient Relations and Productivity of Prickly Pear. *Agronomy Journal* **79**; 550-555.
- Nobel PS. 1988. *Environmental Biology of Agaves and Cacti* Cambridge University Press. N.Y.
- Osorio Oláiz R., Varela L. Martínez Cárdenas & Morales JE. 2000. Efecto del Substrato y de la Edad de Trasplante en el Establecimiento de *Hylocereus undatus* Haworth. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*: 4-5.
- Pearl Raymond 1928. *The Rate of Living*. Knopf New York.

Recibido: abril 2005; received: April 2005.

Aceptado: abril 2007; accepted: April 2007.



Foto: Salvador Arias

FOTO 4. Flor de *Hylocereus undatus*.

Neobuxbaumia polylopha (DC.) Backeb.

Foto: Matias-Palafox, Ma. Loraine



El “órgano dorado” o *Neobuxbaumia polylopha* es una cactácea columnar simple o poco ramificada que puede alcanzar hasta 20 m de altura. Su tallo es grueso (30 a 35 cm de diámetro), de color verde más o menos intenso con 15 a 36 costillas agudas y poco prominentes. Sus areolas son amarillentas, redondas y están separadas entre si. Poseen lana de color blanco amarillento y espinas delgadas y flexibles amarillas con la punta oscura de 2 cm de longitud. Sus flores son nocturnas, de forma campanulada, de 5 a 8 cm de largo, el perianto es de color rojo oscuro y el resto de los carpelos presentan una coloración blanquizca al igual que sus estambres. El fruto es dehiscente de forma ovoide, de color rojo con pulpa carmosa blanca y presenta alrededor de 700 semillas pequeñas de color negro (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada. 1991. *Las Cactáceas de México*). Las semillas germinan fácilmente en condiciones de laboratorio. La floración se presenta en el verano y sus principales polinizadores son los murciélagos, aunque las flores también son visitadas por aves e insectos. El “órgano dorado” habita en la barranca de Metztitlán y en el valle de Zimapán (Hidalgo), aunque también existen poblaciones en los estados de Querétaro, San Luis Potosí y Guanajuato (Guzmán, Arias & Dávila. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*).

Rosas García, Evelyn Marlene & Jiménez-Sierra, Cecilia

Depto. de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186. Col. Vicentina, Iztapalapa. C.P. 09340. México, D.F., México,
correo electrónico: ceci@xanum.uam.mx