



# **UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA  
AREA ACADEMICA DE BIOLOGIA  
LICENCIATURA EN BIOLOGIA**

---

**“Fenología reproductiva de  
Isolatocereus dumortieri (Sheidw.)  
Backeb. (Cactaceae) y su relación con variables hídricas en la  
Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán.”**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**LICENCIADO EN BIOLOGIA**

**P R E S E N T A:**  
**CRUZ DOMINGUEZ PABLO ESAU**

Director de Tesis:  
Dr. Numa P. Pavón Hernández

**MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO, 2008**

## ÍNDICE

|                                                       | Pag. |
|-------------------------------------------------------|------|
| Resumen                                               | 1    |
| 1.INTRODUCCIÓN                                        | 2    |
| 2. JUSTIFICACIÓN                                      | 8    |
| 3. OBJETIVOS                                          | 10   |
| 3.1 Objetivo general                                  | 10   |
| 3.2 Objetivos particulares                            | 10   |
| 4. MATERIAL Y MÉTODO                                  | 11   |
| 4.1 Área de estudio                                   | 11   |
| 4.2 Matorral crasicaule de <i>I. dumortieri</i>       | 12   |
| 4.3 Descripción de la especie de estudio              | 13   |
| 4.4 Diseño de muestreo                                | 14   |
| 4.5 Trabajo en laboratorio                            | 15   |
| 4.6 Análisis estadísticos                             | 16   |
| 5. RESULTADOS                                         | 18   |
| 5.1 Precipitación y humedad del suelo                 | 18   |
| 5.2 Potencial hídrico de la planta y del suelo        | 19   |
| 5.3 Fenología reproductiva                            | 19   |
| 5.4 Relación de la fenología y las variables hídricas | 20   |
| 6. DISCUSIÓN                                          | 23   |
| 7. CONCLUSION                                         | 26   |
| 8. BIBLIOGRAFIA                                       | 27   |

## Resumen

Muchas de las cactáceas viven en ambientes secos, en los cuales la cantidad de agua disponible es escasa, bajo estas condiciones la clave para la supervivencia es el manejo eficiente del agua disponible, que se ve reflejado en los patrones fenológicos de la planta. En este trabajo se relacionó la fenología reproductiva de la cactácea columnar *Isolatocereus dumortieri* dentro de un matorral crasicaule, con variables hídricas como precipitación, humedad y potencial hídrico tanto del suelo como de la planta. La floración de *I. dumortieri* no se relacionó con ninguna variable, por lo que es de suponer que ésta etapa no está regulada por el sistema hídrico del matorral. Sin embargo, la fructificación se correlacionó significativamente con la precipitación, la humedad del suelo y el potencial hídrico de la planta. Sin embargo, con esta última variable el modelo lineal no fue significativo. Al parecer conforme aumenta la cantidad de agua disponible para la planta, el número de frutos maduros e inmaduros disminuye. Aunque, el factor que inicia la fenología reproductiva no es conocido, es posible que la humedad relativa influya en esto, como ocurre con otras cactáceas columnares y que el agua disponible controle la intensidad de la fructificación y por consiguiente el número de semillas en la población. Este trabajo apoya el hecho de que la escasez de agua es un factor limitante para los procesos biológicos de las plantas dentro de los matorrales.

## 1. Introducción

El potencial hídrico es el estado de la energía del agua o la energía libre por mol para el movimiento de la misma de un lugar a otro (Koide *et al.*, 1989). El potencial hídrico se compone de tres diferentes fuerzas el potencial de presión, el potencial mátrico y potencial osmótico (Bidwell, 1979). Estas constituyen tres efectos que controlan el movimiento del agua en las plantas; en el primero el agua tiende a fluir hacia abajo debido a la fuerza de gravedad, en el segundo el agua está bajo constantes atracciones químicas y físicas como capilaridad y el tercero es el más importante para el movimiento de agua en las plantas, esta se desplaza de bajas concentraciones de solutos, es decir con potencial osmótico menor (menos negativo) hacia un potencial osmótico mayor (más negativo por tener mayor concentración de solutos) (Koide *et al.*, 1989; Gibson y Nobel, 1990; Gonzales y Regiosa, 2001). El potencial osmótico del agua pura es cero. La presencia de cualquier sustancia en el agua, hace que su potencial sea inferior a cero (Bidwell, 1979; Aguilera-Contreras y Martínez-Elizondo, 1996; Gonzales y Regiosa, 2001). La unidad de uso común en ecofisiología vegetal para expresar el potencial hídrico es el Megapascal (MPa) (Koide *et al.*, 1989; Gibson y Nobel, 1990; Gonzales y Regiosa, 2001).

El potencial hídrico para una planta puede ser expresado entonces como:

Potencial hídrico ( $\Psi$ ) = Potencial de presión + Potencial osmótico +  
Potencial mátrico

El potencial hídrico es una medida que refleja el estado del agua en la planta, la disponibilidad de agua en el suelo y los componentes de la fuerza

involucrada en el transporte continuo de la misma a través del sistema suelo-planta-atmósfera (Koide *et al.*, 1989; Gonzales y Regiosa, 2001; Donovan *et al.*, 2003).

En general, los procesos morfo-fisiológicos en las plantas están directa o indirectamente relacionados con el abastecimiento de agua, por lo tanto, la escasez del agua en zonas áridas, se vuelve un factor limitante primario en el desarrollo de las plantas (Gonzales y Regiosa, 2001; Donovan *et al.*, 2003).

Para que el agua entre a las células de la planta, su potencial hídrico tiene que ser mayor que el del suelo (Gibson y Nobel, 1990), un valor de potencial muy alto, es el mejor para la absorción de agua (Koide *et al.*, 1989; Gibson y Nobel, 1990). Las raíces reconocen cambios pequeños de humedad en el suelo, lo que activa una serie de señales que son transportadas a través del sistema vascular y regulan el crecimiento e intercambio de gases (Sánchez *et al.*, 2004). Con una precipitación de 10 mm o más, el potencial del suelo se vuelve menor y para las raíces de la planta es más fácil la absorción de agua. En temporada de sequía, la humedad del suelo se reduce considerablemente y el potencial hídrico aumenta, por lo que la escasa cantidad de agua no puede ser absorbida, ya que la mayoría de las plantas no alcanzan un potencial hídrico mayor al del suelo. Las cactáceas tienen la capacidad de almacenar agua en sus tejidos y continuar con sus procesos fisiológicos aún durante la época seca (Gibson y Nobel, 1990).

Las especies que habitan zonas áridas se enfrentan a un ambiente caracterizado por presentar altas temperaturas y muy poca humedad, y se ha

considerado que por estas características ambientales las comunidades desérticas son estructuradas por los factores abióticos, y es el agua disponible en el suelo el limitante (Noy-Meir, 1973, 1985; Pavón y Briones, 2001; Hamerlynck *et al*, 2002). Asimismo se ha argumentado que la diversidad de plantas en el desierto se debe a las diferencias en la utilización de los recursos (Cowling *et al.*, 1994; Hamerlynck *et al.*, 2002), de la misma manera los patrones fenológicos pueden indicar que los recursos son explotados en diferentes periodos de tiempo por especies diferentes (Kemp, 1983; Pavón *et al*, 2005).

La fenología representa la periodicidad, anual o por etapas en los eventos del ciclo de vida, considerando que para las plantas esta ritmicidad puede ser crítica para sobrevivir y reproducirse (Rathcke y Lacey, 1985). En diferentes comunidades puede ser apreciable la asincronía en las etapas fenológicas entre las poblaciones de las diversas especies. Dentro del contexto de la separación de nichos, podría ser que las respuestas fenológicas de las plantas sean el resultado de las diferentes estrategias adaptativas al ambiente que presentan las especies para evitar la competencia por recursos, principalmente agua (Pavón y Briones, 2001). En ese sentido es de suponer que la fenología de las plantas en ambientes áridos, mantenga una estrecha relación con las variaciones en la disponibilidad de agua, misma que se expresa en el potencial hídrico tanto de la planta como del suelo.

Las características del suelo ejercen gran influencia sobre las comunidades de plantas y sus relaciones hídricas (Hamerlynck *et al.*, 2002). En un clima árido, el potencial hídrico de la planta y del suelo, debe de ser muy alto durante la

temporada de sequía (Sperry y Hacke, 2002). Muchas de las cactáceas viven en desiertos o en ecosistemas semiáridos, en los cuales la lluvia y la cantidad de agua son escasas y bajo estas condiciones la clave para la supervivencia es el manejo eficiente del agua disponible (Gibson y Nobel, 1990; Pavón y Briones, 2001).

En zonas áridas la fenología de las plantas ha sido relacionada con los factores ambientales, considerando la disponibilidad de agua como el principal factor generador de los patrones fenológicos. De la misma manera, en diversos arbustos del desierto está relacionada las condiciones del suelo, como la humedad disponible y los patrones de crecimiento y reproducción. Kemp (1983), concluye que la diversidad de especies de arbustos en el desierto de Chihuahua, es resultado de su forma de vida, la fotosíntesis y la adaptación para utilizar de forma estacional la disponibilidad variable del agua, lo que se refleja también en los patrones de crecimiento y reproducción. Además, se considera que las respuestas funcionales como, el crecimiento y la reproducción de los arbustos desérticos son fuertemente dependientes de las características del suelo y la disponibilidad de agua y que influyen en la dinámica de las poblaciones y la comunidad (Hamerlynck *et al*, 2002; Sperry y Hacke, 2002). La fenología y abundancia floral de algunos arbustos como *Androsea septentrionalis* es impulsada, regulada y afectada por factores climáticos como la precipitación (Inouye *et al*, 2003).

Los estudios fenológicos en cactáceas son pocos y varían, desde descriptivos y fisiológicos (Pavón y Briones, 2001; De la Barrera y Nobel, 2004; Novoa *et al.*, 2005) hasta aquellos que consideran interacciones como la

polinización y la dispersión (Valiente-Banuet *et al.*, 1996; Casas *et al.*, 1999). En México, las interacciones de los murciélagos con la floración y fructificación de cactáceas columnares como *Neobuxbaumia tetetzo* y *Stenocereus stellatus* están fuertemente sincronizadas (Valiente-Banuet *et al.*, 1996; Casas *et al.*, 1999). Petit (2001), en su trabajo sobre la fenología reproductiva de tres especies de cactáceas columnares simpátricas de Curacao, Venezuela (*Stenocereus griseus*, *Subpilocereus repandus* y *Pilosocereus lanuginosus*), mostró que la respuesta fenológica se relaciona con la precipitación, indicando tres respuestas fenológicas: *P. lanuginosus* inició con la formación de botones florales inmediatamente después de las lluvias; *S. griseus* cesó y abortó la producción de botones dentro de la segunda y tercera semana después de las lluvias; y *S. repandus* no mostró ninguna respuesta durante un mes después de las lluvias. También se destaca el trabajo sobre fenología floral de dos especies hermanas de *Ferocactus* en Tucson Arizona por McIntosh (2002), este autor señaló que especies emparentadas tienen fenologías similares, por lo que la historia filogenética juega un papel muy importante. Por otro lado, existen trabajos donde la precipitación no se correlaciona significativamente con la floración y fructificación de tres especies de cactáceas columnares (*Stenocereus griseus*, *Pilosocereus* sp., *Cereus hexagonus*) y una cactácea decumbente (*Monvillea* cf. *smithiana*) del Enclave seco de la Tacatoa, Colombia (Ruiz *et al.*, 2000). Sin embargo, en la cactácea columnar *Carnegiea gigantea*, del norte del desierto de Sonora, la floración es controlada por tres factores ambientales; el primero que incide en la floración es la precipitación de invierno de cinco mm a nueve mm, el segundo factor es un fotoperiodo de 10.5 hr de luz. y el tercero, que las unidades termales solares

(Temperatura media diaria x la radiación solar diaria total) sobre una temperatura baja de 10°C, deben acumularse hasta 489, 500 UTS en la mitad de la población para que ésta inicie con la floración (Bowers 1996). León *et al* (1996), estudiaron la fenología floral de una comunidad árido-tropical de Baja California Sur, representada por algunas especies de cactáceas, encontrando diversos patrones fenológicos, uno de ellos fue el de la floración durante la época seca. En este trabajo se concluye que la intensidad y la frecuencia de las lluvias de la temporada previa, tienen cierta incidencia en la intensidad de la floración. Los diferentes patrones temporales en la fenología reproductiva que están relacionados con las variaciones ambientales de los desiertos, tienen la función de asegurar la coexistencia de las plantas del lugar (Chesson *et al.*, 2004).

El matorral crasicaule de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, en el estado de Hidalgo, es dominado por la cactácea columnar *Isolatocereus dumortieri*. Especie clave dentro del ecosistema, porque proporciona una gran cantidad de recursos (frutos, polen y néctar) a una gran cantidad de especies animales (insectos, aves y mamíferos) que dependen de ellos, principalmente durante la época seca. El objetivo de este trabajo fue relacionar la fenología reproductiva de *I. dumortieri* con las variaciones hídricas del matorral.

## 2. Justificación.

Una gran cantidad de especies de la familia Cactaceae viven en hábitats áridos y semiáridos, en los cuales la precipitación es baja y la cantidad de agua disponible en el suelo es muy limitada (Noy-Meir, 1973, 1985; Pavón y Briones, 2001). Bajo estas condiciones la clave para sobrevivir es el manejo eficiente del agua disponible (Gibson y Nobel, 1990; Pavón y Briones, 2001; De la Barrera y Nobel, 2004).

¿Cómo es que las cactáceas usan el agua disponible para crecer, florecer y producir semillas? Algo que diferencia a las cactáceas de las demás plantas, es la capacidad de almacenar el agua en sus tejidos, por lo que son relativamente independientes de los eventos de lluvia (Gibson y Nobel, 1990).

Los estudios ecofisiológicos y fenológicos son de suma importancia, no sólo para la comprensión de las dinámicas de las comunidades de plantas, sino también como un indicador de la respuesta de estas plantas a las condiciones climáticas y edáficas de una zona en particular (Hamerlynck *et al*, 2002; De la Barrera y Nobel, 2004).

*I. dumortieri* es una especie clave del matorral crasicaule, por su dominancia y por que de ella dependen una gran cantidad de organismos animales como aves, una gran cantidad de insectos (lepidópteros, himenópteros y dípteros) y mamíferos.

Los resultados generados con este trabajo permitirán entender como los cambios en la disponibilidad de agua, producto de la variación en los patrones de lluvia, generan diferentes respuestas en la fenología reproductiva de la planta. Esto será conocimiento básico para estudios posteriores sobre la sincronización de las interacciones mutualistas entre *I. dumortieri* y diferentes grémios de animales (polinizadores, dispersores y herbívoros).

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo general

- Relacionar la fenología reproductiva de *Isolatocereus dumortieri* con las variables más importantes del sistema hídrico atmósfera-suelo-planta (precipitación, humedad y potencial hídrico del suelo, y potencial hídrico de la planta).

#### 3.2 Objetivos específicos

- Registrar la fenología reproductiva de *Isolatocereus dumortieri*, durante una temporada de reproducción.
- Determinar el potencial hídrico de *Isolatocereus dumortieri*, durante una temporada de reproducción.
- Determinar el potencial hídrico del suelo en el matorral crasicaule de *Isolatocereus dumortieri*, durante una temporada de reproducción.
- Medir la precipitación en el matorral crasicaule de *Isolatocereus dumortieri*, durante una temporada de reproducción.
- Cuantificar la humedad del suelo en el matorral crasicaule de *Isolatocereus dumortieri*, durante una temporada de reproducción.

## **4. Material y Método**

### **4.1 Área de estudio**

El trabajo se realizó en el sitio denominado “La Casita” ubicado sobre la carretera federal Pachuca-Tampico localizado al inicio de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, a una altitud de 1, 625 msnm en las coordenadas 20° 26’ 42” latitud norte y 98° 30’ 30” longitud oeste. La Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán se encuentra al centro-este del estado de Hidalgo, cuenta con elevaciones de entre 1, 000 y 2, 000 msnm. Cuenta con una extensión de 96, 042.94 ha, de las cuales 12, 474.13 ha se han definido 4 zonas núcleo; la primera, denominada Cordón Cerro Alto que cubre una superficie de 9, 029.57 ha, la segunda, se localiza en las cercanías de la comunidad de Tesisco con una superficie de 1,257.76 ha, la tercera, próxima a la comunidad de Tres Cruces de Anáhuac que comprende una superficie de 1, 375.26 ha y la cuarta, cerca de Carrizal Chico con una superficie de 811. 54 ha (CONANP-SEMARNAT, 2003).

La temporada de lluvias en la zona ocurre en verano, la precipitación media anual varía entre 500 y 700 mm. La temperatura en la mayor parte de la reserva fluctúa entre 18 y 22 ° C, en las partes altas varía entre 16 y 18° C, y en el sur entre 14 y 18° C. Los meses de mayor precipitación son de junio a septiembre con el mayor valor para septiembre. La temperatura más alta se registra en mayo y la más baja en diciembre. Con base en las estaciones meteorológicas de Metztitlán y San Cristóbal, el clima para estas localidades es BSohw(w)(i)gw” (de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por Garcia, 1973, CONANP-SEMARNAT,

2003), donde: **BS**o representa el más seco de los BS (árido), con un cociente  $P/T < 22.9$ ; **h** semicálido con invierno fresco; **w(w)** con régimen de lluvias en verano (por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente el año que en el mes más seco); **(i')** con poca oscilación térmica (entre 5° y 7°C); **g** marcha anual de la temperatura tipo ganges, y **w''** con presencia de canícula.

#### **4.2. Matorral crasicaule de *Isolatocereus dumortieri***

El matorral crasicaule agrupa las comunidades arbustivas de clima árido y semiárido en el que el papel estructural lo conforman plantas conspicuas de tallo succulento, es decir, cactáceas grandes las cuales en muchos casos juegan el papel de dominantes fisonómicas (Rzedowski, 1978).

La zona de estudio está definida principalmente por la presencia de la especie *Isolatocereus dumortieri*, un cactus candelabroforme del tipo oligodendricaule el cual alcanza de cinco a seis metros de altura. Fisonómicamente presenta un estrato emergente por encima de los demás componentes florísticos. El rango altitudinal en el que se observa va desde la orilla del río Venados hasta los 1,750 msnm. Difiere de la asociación de *Cephalocereus senilis* en su composición florística y el tipo de suelo. De esta forma, el tipo de suelo es un Feozem de color castaño, ligeramente ácido, derivado de una toba volcánica (Puig, 1991; CONANP-SEMARNAT, 2003).

### 4.3 Descripción de la especie

De acuerdo con la descripción de Rzedowski y Rzedowski (2001), *Isolatocereus dumortieri* (Scheidw.) Backeb., es conocido como órgano, pitayo y/o candelabro. Es una cactácea columnar, de 7 m de alto. Tronco bien definido que mide 1.5 m



Fig. 1. *Isolatocereus dumortieri*

de largo por 35 cm de diámetro, sus ramas son erectas, encorvadas en la base, ápice angosto, tiene constricciones anuales de crecimiento bien marcadas, son de



Fig. 2. Botones, flores y frutos de *I. dumortieri*

color verde glauco recubierto de cera grisácea, posee de 5 a 7 costillas en ocasiones hasta 9 (Fig 1), cabe destacar que dentro del área de estudio los individuos de *I. dumortieri*, tienen una altura promedio de 13.06 m (E.S. = 0.41). Tiene areolas muy próximas, elípticas, con fieltro color castaño rojizo o amarillento. Espinas de 9 a 18

no bien diferenciadas en centrales y radiales, de hasta 4 cm de largo. Sus flores están dispuestas en una corona cerca del ápice, miden de 4.3 a 5 cm de largo y 2.5 cm de ancho, son tubulares infundibuliformes, abren de noche, pero permanecen abiertas hasta medio día, son de color pardo-rojizo (Fig 2), los óvulos están en funículos ramificados. El fruto es oblongo, de 3 a 4 cm de largo y de 2 a 3 cm de ancho, es de color anaranjado rojizo cuando madura, está provisto de escamas rojas muy pequeñas, tiene pulpa roja, dulce y comestible, sin embargo,

dentro del área de estudio los frutos recolectados tienen una pulpa incolora. Sus semillas son pequeñas, de 1.5 mm de largo y de color negro.

#### **4.4 Diseño de muestreo**

Dentro del área de estudio fueron seleccionados dos sitios y en cada uno se trazó una parcela de 100 X 50 m. Dentro de cada sitio fueron seleccionados al azar 20 individuos de *I. dumortieri*, presumiblemente sanos. Cada individuo fue marcado y se le midió la altura y el número de brazos.

Dentro de cada una de las parcelas se colocó un pluviómetro, que contenía aceite para evitar la evaporación del agua captada. El agua de lluvia fue recolectada del pluviómetro y medida en cada fecha de muestreo.

El muestreo fenológico se realizó cada dos semanas desde el mes de octubre de 2006 y hasta que terminó la fructificación (julio de 2007). En cada fecha de muestreo, se tomó una muestra del parénquima de cada individuo. Para la toma de la muestra se usaron tubos de aluminio de 5 cm de largo y 0.5 cm de diámetro, después de la extracción de la muestra, se envolvió en papel aluminio. Adicionalmente, en el centro de cada parcela se tomaron dos muestras de suelo, una a 10 cm y otra a 30 cm de profundidad. Ambas muestras de suelo se guardaron en papel aluminio. Las muestras vegetales y las del suelo se mantuvieron en hielo usando una hielera portátil hasta su depósito en el laboratorio.

Previo a la toma de muestras se realizó el conteo de estructuras reproductivas por individuo marcado (botones florales, flores y frutos maduros e inmaduros).

#### **4.5 Trabajo en laboratorio**

El mismo día que fueron tomadas las muestras se procedió a su manejo dentro del laboratorio de Ecología de Comunidades del Centro de Investigaciones Biológicas, Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo para su análisis.

Cada muestra de tejido fue macerada, con lo cual se obtuvo un extracto líquido. Con este líquido se humedecieron círculos de papel filtro de 0.5 cm de diámetro. Un círculo humedecido de cada muestra se colocó dentro de una cámara de presión ("Sample Chamber C-52") conectada al microvoltímetro ("Dew-Point Microvoltmeter HR-33T", WESCOR). Las cámaras se mantuvieron en reposo por espacio de 15 minutos, lo cual permitió la estabilización del medio interno. Posteriormente se procedió a la lectura de cada muestra en microvoltios. Una pequeña muestra de suelo de cada profundidad fue depositada dentro de un plato especial, el cual fue colocado dentro de la cámara de presión. Posteriormente se realizó la lectura en microvoltios. El resto del suelo fue pesado y secado a 80°C durante 72 hrs. El suelo seco fue pesado y se calculó la humedad considerando las diferencias entre el peso seco y el peso fresco (método volumétrico) utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso}_{\text{humedo}} - \text{Peso}_{\text{seco}}}{\text{Peso}_{\text{seco}}} \times 100$$

Los valores obtenidos en microvoltios para las muestras fueron transformados en valores de potencial hídrico en Megapascales (Mpa). Es muy importante aclarar que en este trabajo se midió, con la técnica antes descrita, sólo el potencial osmótico. Así que para los fines de este trabajo cuando se hace referencia de potencial hídrico corresponde sólo al potencial osmótico, que como previamente se mencionó es parte importante del potencial hídrico y fundamental para el movimiento del agua. Previo a la transformación de microvoltios a megapascales, se realizó una calibración de cada cámara de presión con soluciones salinas a diferente concentración y de potencial hídrico conocido. Con los resultados de la calibración se hicieron diferentes modelos de ajuste de regresión lineal (Tabla 1).

Tabla 1. Modelos de ajuste de regresión lineal de la calibración de las cámaras. La significancia ( $P < 0.05$ ) de los modelos se probó con análisis de varianza. MPa = megapascal,  $\mu V$  = microvolts

|          | MPa= a-b( $\mu V$ )             | F       | P     |
|----------|---------------------------------|---------|-------|
| Cámara 1 | MPa= 0.0287 – 0.1194( $\mu V$ ) | 7818.66 | 0.007 |
| Cámara 2 | MPa= 0.0188 – 0.1170( $\mu V$ ) | 3083    | 0.011 |
| Cámara 3 | MPa= 0.0187 – 0.1197( $\mu V$ ) | 645.3   | 0.025 |
| Cámara 4 | MPa= 0.0621 – 0.1145( $\mu V$ ) | 624.7   | 0.025 |
| Cámara 5 | MPa= 0.0041 – 0.1182( $\mu V$ ) | 5012    | 0.009 |
| Cámara 6 | MPa= 0.0535 – 0.1150( $\mu V$ ) | 785.5   | 0.022 |

#### 4.6 Análisis estadísticos

Mediante el uso de correlaciones simples de Pearson se determinaron las relaciones entre la fenología reproductiva de *I. dumortieri*, y las variaciones en el potencial hídrico tanto de las plantas como del suelo, la precipitación y la humedad

del suelo. En el caso de las correlaciones significativas se realizaron modelos de ajuste lineal (Zar, 1994). Los análisis estadísticos se realizaron usando el programa SYSTAT 10.0.

Debido a que el número de estructuras reproductivas debería ser, en su caso, el efecto de las condiciones ambientales previas y no las del momento del registro, para los análisis se hicieron varios retrasos de las variables fenológicas con respecto a las hídricas (p. ej., el inicio de la producción de botones se registró el 7 de febrero y se relacionó con la precipitación registrada una y dos fechas de muestreo anterior, es decir el 12 de enero de 2007 y el 22 de noviembre de 2006). El número de retrasos de cada etapa fenológica varió de acuerdo a las fechas previas de registro de las variables hídricas de la siguiente manera: para los botones florales, fueron retrasadas hasta dos fechas de muestreo; para las flores hasta tres fechas; los frutos inmaduros hasta cuatro fechas y para frutos maduros hasta cuatro fechas. Cada retraso equivale aproximadamente 15 días previos con respecto a la fecha de muestreo fenológico.

Previo a la realización de las pruebas estadísticas, se probó que las variables fenológicas tuvieran una distribución normal. Para esto se utilizó una prueba de Shapiro-Wilks usando el programa estadístico JMP versión 4. En todos los casos el valor de P fue menor a 0.05.

## 5. Resultados

La talla de los individuos de *I. dumortieri*, fue relativamente homogénea con una altura promedio de 13.06 m (E.S. = 0.41) y un número de ramas en promedio de 11.95 (E.S. = 0.82).

### 5.1 Precipitación y humedad del suelo

La humedad del suelo fue mayor en los periodos donde ocurrieron eventos de lluvia (Oct-Feb y Abr-May), en comparación con los secos (Feb-Mzo). La humedad del suelo a 30 cm de profundidad en algunos casos fue menor y en otros mayor que la del suelo a 10 cm (Fig. 3). Esto puede ser consecuencia de la cantidad de lluvia y de la mayor resistencia a la resequeidad de las capas inferiores del suelo y menor exposición a las condiciones de radiación y viento de la superficie del suelo.

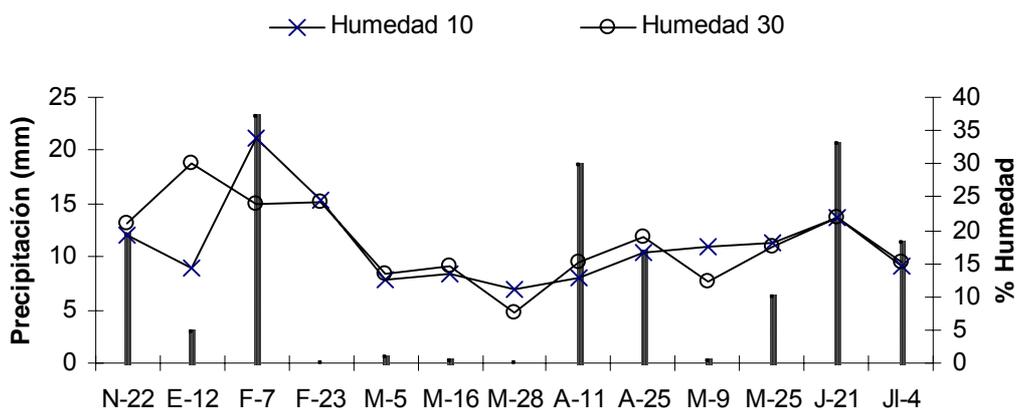


Fig. 3. Variación de la precipitación (barras) y promedio de la humedad del suelo a 10 y 30 cm de profundidad (líneas) durante la época reproductiva de *Isolatocereus dumortieri*. En el eje X las letras corresponden a la inicial del mes y el número al día en que se realizó el muestreo.

## 5.2 Potencial hídrico de la planta y del suelo

El potencial hídrico de la planta durante toda la época reproductiva permaneció en un intervalo entre -0.11 y -0.42 MPa. (Fig.4). Durante el periodo de estudio ocurrieron tres eventos de lluvia importantes, donde fue posible que las plantas pudieran absorber agua del suelo (Feb-7, Mayo-25 y Jul-4). Como consecuencia de que los eventos de lluvia humedecieron suficientemente el suelo, el potencial hídrico de las plantas fue más alto en esa época.

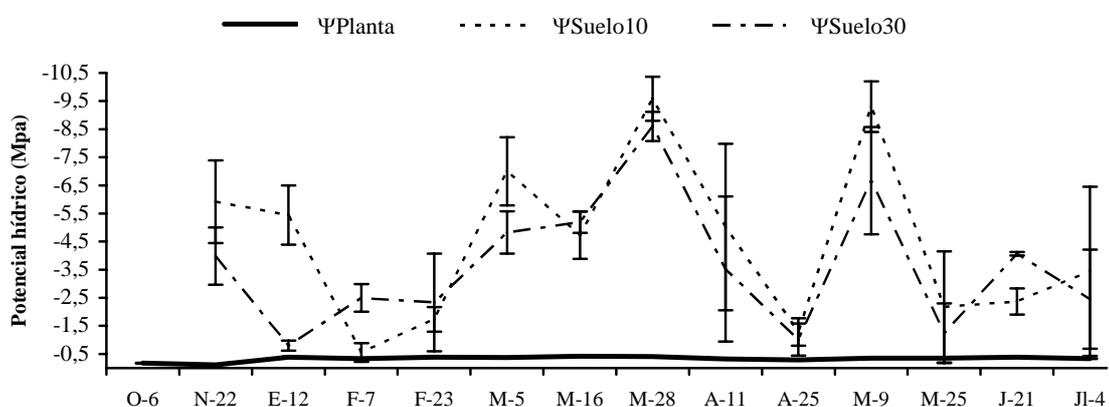


Fig. 4. Variación promedio del potencial hídrico del suelo a 10 y 30 cm ( $\pm$  E.S.) y el potencial hídrico de *Isolatocereus dumortieri* durante una época reproductiva. En el eje X las letras corresponden a la inicial del mes y el número al día en que se realizó el muestreo.

## 5.3 Fenología reproductiva

La reproducción de *I. dumortieri* inició a principios del mes de febrero y terminó durante la tercera semana de julio (Fig 5.) Considerando la aparición de botones y flores en anthesis, la floración ocurrió entre Febrero 7 y Mayo 9. En la figura 5 se aprecia que el número de botones es mayor al de las flores, debido a que estas estructuras tienen diferentes periodos de permanencia, por lo tanto la

probabilidad de registrarlas al momento del muestreo es distinta en cada una. El proceso de maduración de los frutos pudo haber ocurrido entre abril 25 y mayo 9 y terminó en el mes de julio, los frutos al madurar, se abren en la parte apical y dejan al descubierto la pulpa que escurre por el tallo de la planta.

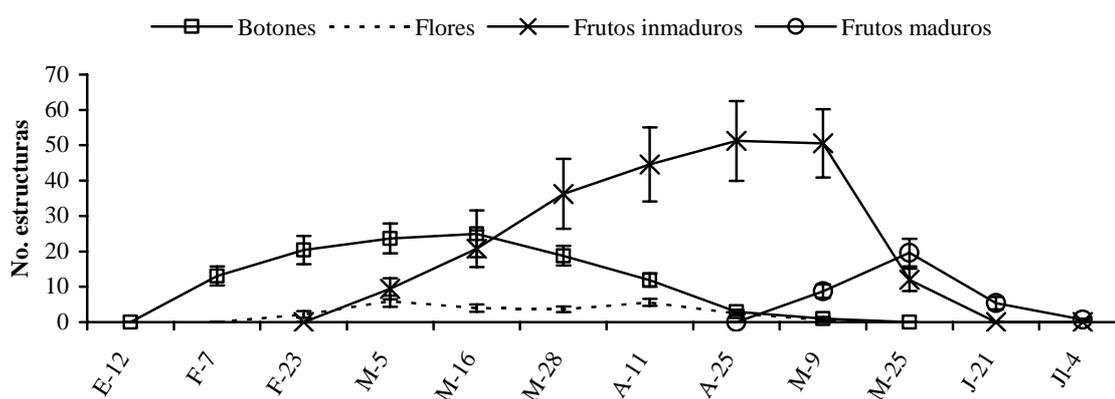


Fig. 5. Fenología reproductiva de *Isolatocerus dumortieri*. Se muestra el valor promedio  $\pm$  el error estándar. En el eje X las letras corresponden a la inicial del mes y el número al día en que se realizó el muestreo.

#### 5.4 Relación entre la fenología y las variables hídricas.

Las únicas variables fenológicas que se relacionaron significativamente con alguna de las variables del sistema hídrico fueron los frutos maduros e inmaduros (Tabla 2). Los frutos inmaduros, sólo se correlacionaron significativamente con la humedad del suelo y el potencial hídrico de la planta, con uno y tres retrasos respectivamente (Tabla 2). Los modelos de regresión lineal simple para la humedad del suelo ( $F = 5.95$ ,  $P = 0.04$ ) y el potencial hídrico de la planta ( $F = 7.76$ ,  $P = 0.027$ ) fueron significativos (Fig. 6 a y b). Mientras que la relación con la humedad del suelo y el número de frutos inmaduros fue negativa para el potencial hídrico de la planta fue positiva. En cuanto a los frutos maduros, se registró una

correlación negativa significativa con la precipitación y positiva con el potencial hídrico de la planta (Tabla 2). El modelo de regresión lineal simple fue significativo considerando la precipitación como variable independiente ( $F = 9.1332$ ,  $P = 0.039$ ) (Fig. 6c). No se presenta el gráfico de ajuste lineal considerando el potencial hídrico de la planta ya que el modelo no fue significativo ( $F = 0.4$ ,  $P = 0.56$ ) y el coeficiente de determinación fue de 0.09.

Tabla 2. Valores del coeficiente de correlación ( $r$ ) y de probabilidad ( $P$ ) de los análisis significativos ( $P < 0.05$ ), el resto de las correlaciones no pasaron el valor crítico de significancia establecido.

| <b>Variable Fenológica</b> | <b>Variable hídrica</b>        | <b>Número de retraso</b> | <b>r</b> | <b>P</b> |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------|----------|
| <b>Frutos inmaduros</b>    | Humedad del suelo 10 cm        | 1                        | -0.678   | 0.045    |
| <b>Frutos inmaduros</b>    | Potencial hídrico de la planta | 3                        | -0.725   | 0.027    |
| <b>Frutos maduros</b>      | Precipitación                  | 1                        | -0.834   | 0.039    |
| <b>Frutos maduros</b>      | Potencial hídrico de la planta | 2                        | 0.90     | 0.015    |

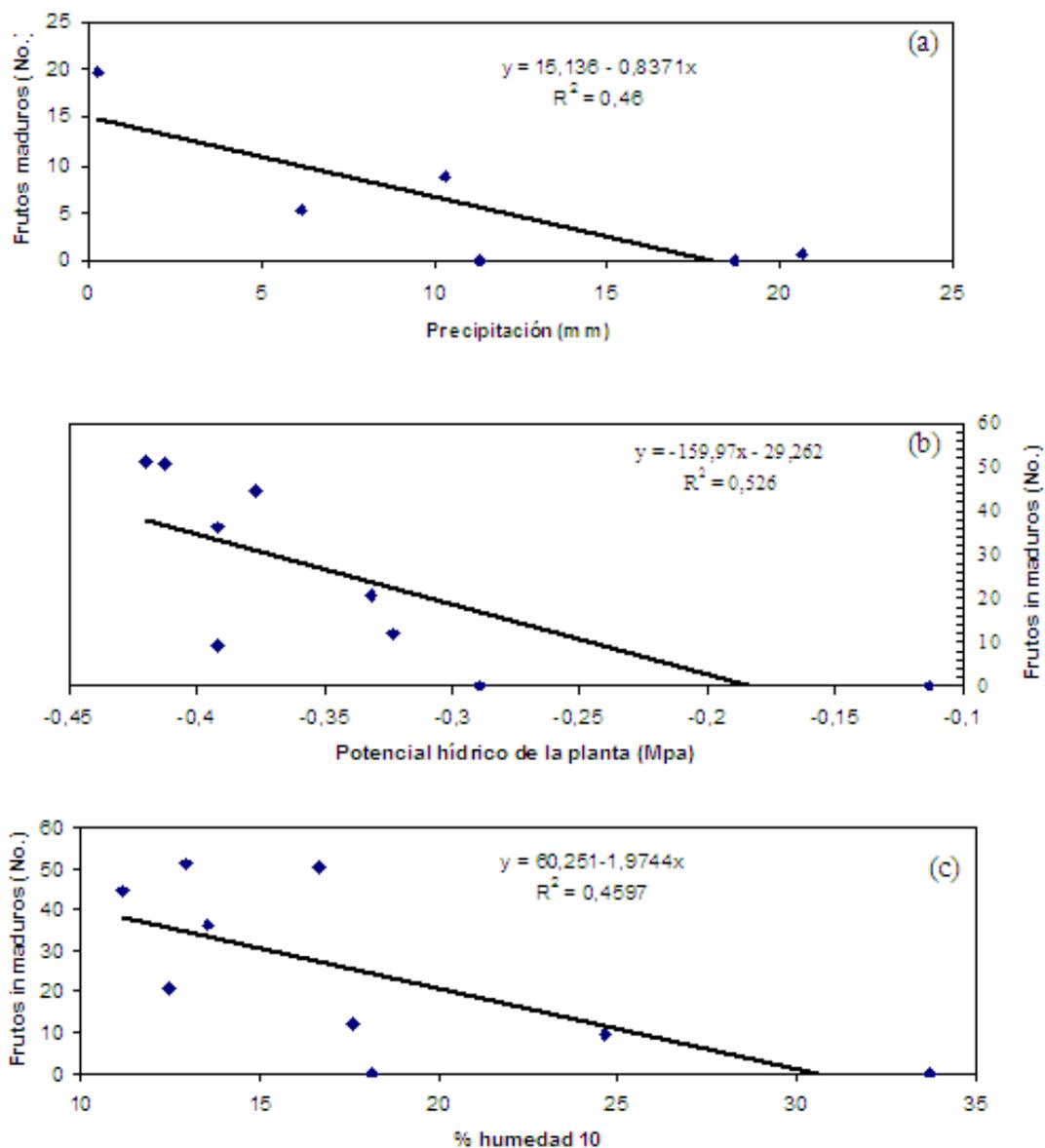


Fig. 6. Relación entre el número de frutos inmaduros y el porcentaje de humedad a 10 cm (a), con el potencial hídrico de la planta (b), y la relación entre el número de frutos maduros y la precipitación (c). En cada gráfica se muestra la línea de ajuste, el modelo y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

## 6. Discusión

La fenología reproductiva de *Isolatocereus dumortieri* inició durante la temporada de secas (feb-mzo, 2007) y finalizó al inicio de la época de lluvias (junio-julio, 2007). El factor que inicia la reproducción de esta especie es aún desconocido; sin embargo, es posible que la fenología floral esté correlacionada con la humedad relativa, tal como ocurre con otras cactáceas columnares del valle de Zapotitlán, Puebla (Pavón y Briones, 2001). En el cactus columnar *Carnegiea gigantea* del norte del desierto de Sonora, la floración está controlada por tres factores ambientales: la precipitación de invierno, el incremento de la duración del día y una combinación del incremento de la radiación solar y elevación de las temperaturas (Bowers, 1996). La capacidad de estas cactáceas de almacenar agua en sus tejidos, permite que sean relativamente independientes de la lluvia. Esto no ocurre con especies arbustivas que no tienen capacidad de almacenamiento de agua o de obtenerla de los depósitos profundos del suelo, por lo que su fenología reproductiva se restringe a la época de lluvias, siendo ésta el factor que inicia la reproducción y el crecimiento (Noy-Meir, 1973; Kemp, 1983; Pavón y Briones, 2001).

Desde el punto de vista ecológico y considerando la separación de nichos, el hecho de que cuando otras plantas no florecen, *I. dumortieri*, desarrolle la fenología reproductiva durante la temporada seca, puede ser una estrategia que le permite a la planta reducir o evitar la competencia por polinizadores y dispersores, con lo que es posible la coexistencia con otras especies que habitan el matorral (Pavón y Briones, 2001; Petit, 2001). Por otro lado, la maduración de los frutos

termina al inicio de la época de lluvias, así, es de suponerse que las semillas encontrarán las condiciones propicias para su germinación.

El potencial hídrico de *I. dumortieri* varió durante el periodo de estudio entre -0.11 y -0.42 MPa, estos valores se encuentran dentro del intervalo conocido en otras cactáceas columnares que va de -0.1 a -0.9 MPa (Hernández-González y Briones, datos no publicados). Durante la época de reproducción, se presentaron tres eventos de lluvia importantes, haciendo que el potencial hídrico del suelo fuera menor que el de las plantas, por lo que es posible que las cactáceas pudieran absorber agua. Una precipitación de 5 mm, afecta directamente el potencial hídrico del suelo (lo hace menor) hasta una profundidad de 15 cm aproximadamente (Sala y Lauenroth, 1982), profundidad a la que se encuentran las raíces de muchas cactáceas. Esto al parecer juega un papel importante en la fase de producción y maduración de los frutos.

La producción de los botones florales y de flores no se correlacionaron con alguna variable del sistema hídrico, por lo que es de suponer que estos procesos no están regulados o no se ven afectados por el sistema hídrico del matorral y son otros factores los que hacen que estos procesos se inicien. La fructificación mostró una interesante relación negativa con la humedad del suelo y la precipitación, ambas variables con un retraso, respecto a la fecha de muestreo fenológicos. Esto sugiere que conforme aumenta la cantidad de agua disponible para la planta, el número de frutos maduros e inmaduros disminuye, sólo si estos eventos de lluvias ocurren cuando la fructificación ya ha iniciado. Al parecer la planta responde con la interrupción del proceso de fructificación y/o con la aborción de algunos frutos, con

lo cual puede utilizar el agua disponible para su crecimiento (Petit, 2001). En *Stenocereus griseus*, otra cactácea columnar, se reportó que la producción de botones cesó cuando ocurrieron eventos de lluvia, mismos que aportaron humedad al suelo y que fue disponible para la planta (Petit, 2001). Otros factores pueden estar relacionados con la disminución del número de frutos, tales como la depredación por aves y mamíferos, sin embargo esto no fue evaluado. Por otra parte el número de frutos inmaduros dependió del potencial hídrico de la planta pero con un retraso de esta variable de mes y medio a dos meses. El que las cactáceas tengan un potencial hídrico mayor al inicio de la época reproductiva, durante la época seca cuando el almacén de agua de la planta disminuye, aumenta la asignación de recursos a la reproducción y con esto a un mayor número de estructuras reproductivas. Sin embargo, se ha reportado en otras cactáceas que si el potencial hídrico de la planta aumenta durante la fructificación, llegando incluso a estrés hídrico, entonces la producción de frutos disminuye (De la Barrera y Nobel, 2004).

La disminución en la producción de frutos podría tener implicaciones para la población de *I. dumortieri*, como la disminución del número de semillas. Además, otras especies interactuantes que se alimentan de los frutos, tales como murciélagos y aves. Así, la significancia ecológica de la lluvia, es un evento que altera el estado del agua dentro del matorral y que afecta directamente a corto y largo plazo los procesos biológicos de las plantas (Sala y Lauenroth, 1982).

## 7. Conclusión

El factor que inicia la fenología reproductiva de *Isolatocereus dumortieri*, es aun desconocido. La capacidad de almacenar agua en los tejidos, es una adaptación que hace a esta cactácea relativamente independiente de las lluvias para la obtención de recursos necesarios para su reproducción. En este trabajo se reporta que sólo la fructificación es afectada por el sistema hídrico del matorral. A mayor disponibilidad de agua para la planta, la fructificación disminuye. Sin embargo, este proceso pudiera estar afectado también por la depredación de los frutos maduros e inmaduros por algunas aves y mamíferos. Por otra parte el número de frutos inmaduros, fue dependiente del potencial hídrico de la planta pero con un retraso de esta variable de mes y medio a dos meses, asignando una mayor cantidad de recursos sí el potencial hídrico de la planta es mayor al inicio de la reproducción.

Con este trabajo se apoya el hecho de que la precipitación, juega un papel fundamental en los procesos ecológicos próximos que ocurren en zonas áridas como, la fructificación de *I. dumortieri*.

## 8. Bibliografía

- Aguilera Contreras, M., y Martínez Elizondo, R. 1996. Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Comité editorial del Departamento de Irrigación, UACH. Chapingo, México. 250 pp.
- Bidwell, R.G.S. 1979. Fisiología vegetal. AGT Editor, S.A. México, D.F. 745 pp.
- Bowers, J. 1996. Environmental determinants of flowering date in the columnar cactus *Carnegiea gigantea* in the northern Sonoran Desert. *Madrono* 43:69-84
- Casas, A., Valiente-Baunet, A., Rojas-Martínez, A., y 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.
- Chesson, P., Gebauer, R., Schwinning, S., Huntly, N., Wiegand, K., Ernest, J., Sher, A., Novoplansky, A., y Weltzin, J. 2004. Resource pulses, species interactions, and diversity maintenance in arid and semi-arid environments. *Oecologia* 141: 236–253
- CONANP-SEMARNAT. 2003. Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas - Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 202 pp.
- Cowling, R., Esler, K., Midgley, G., y Honig, M. 1994. Plant functional diversity, species diversity and climate in arid and semi-arid southern Africa. *Journal of Arid Environments* 27: 141-158.
- De la Barrera, E., y Nobel P. I2004. Carbon and water relations for developing fruits of *Opuntia Picus-indica* (L.) Miller, including effects of drought and gibberellic acid. *Journal of Experimental Botany* 55: 719-729.

- Donovan, L.A., Richards, J., y Linton, M. 2003. Magnitude and Mechanisms of disequilibrium between predawn plant and soil water potentials. *Ecology* 84: 463-470.
- Gibson, C.A., y Nobel, P.S. 1990. *The cactus primer*. Harvard University Press. London, England. 260 pp.
- Gonzales, L., y Regiosa, R. 2001. Plant water status. En: Reigosa, M. J. (Editor). *Handbook of Plant Ecophysiology Techniques*. Kluwer Academic Publishers. Secaucus, USA. 185-192 pp.
- Hamerlynck, E.P., McAuliffe, J., McDonald, E., y Smith S. 2002. Ecological responses of two mojave desert shrubs to soil horizon development and soil water dynamics. *Ecology* 83: 768-779.
- Inouye, D., Saavedra, F., y Lee-Yang, W. 2003. Environmental influences on the phenology and abundance of flowering by *Androsace septentrionalis* (Primulaceae). *American Journal of Botany* 90: 905–910.
- Kemp, P. 1983. Phenological patterns of Chihuahuan desert plants in relation to the timing of water availability. *Journal of Ecology* 71: 427-436.
- Koide, R., Robichaux, R., Morse, S., y Smith, C. 1989. Plant water status, hydraulic resistance and capacitance. En: Pearcy, R., Ehleringer, J., Mooney, H., y Rundel, P. (Eds). *Plant physiological ecology: Field methods and instrumentation*. Chapman and Hall Ltd. New York. 161-183 pp.
- León, J., Coria, R., y Cruz, M. 1996. Fenología floral de una comunidad Árido-Tropical de Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana* 35:45-64
- McIntosh, M. 2002. Flowering phenology and reproductive output in two sister species of *Ferocactus* (Cactaceae). *Plant Ecology* 159: 1-13.
- Novoa, S., Ceroni, A., y Arellano, C. 2005. Contribución al conocimiento de la Fenología del cactus *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseiflora*

- (Werdermann & Backeberg) *Ostolaza* (Cactaceae) en el valle del río Chillón, Lima-Perú. *Ecología Aplicada* 4: 35-40.
- Noy-Meir, I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5: 25-51.
- Noy-Meir, I. 1985. Desert ecosystems structure and function. En: Everani, M., y Goodall, D. W. (Eds.). *Hot desert and arid shrublands. Ecosystems of the world*, No. 12A. Elsevier, Amsterdam.
- Pavón, N. y Briones, O. 2001. Phenological patterns of nine perennial plants in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments* 49: 265-277.
- Pavón, N.P., Briones, O., y Flores-Rivas, J. 2005. Litterfall production and nitrogen content in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments* 60: 1-13.
- Petit, S. 2001. The reproductive phenology of three sympatric species of columnar cacti on Curacao. *Journal of Arid Environments* 49: 521-531.
- Puig, H. 1991. *Vegetación de la Huasteca México: estudio fitogeográfico y ecológico*. ORSTOM, Instituto de Ecología, CEMCA, México. 625 pp.
- Rathcke, B., y Lacey, P. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16: 179-214.
- Ruiz, A., Santos, M., y Cavelier, J. 2000. Estudio fenológico de cactáceas en el Enclave Seco de la Tacatoa, Colombia. *Biotropica* 32: 397-407
- Rzedowski, G. y Rzedowski, J. 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, A. C. y CONABIO. Pátzcuaro, Mich. 469-470 pp.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, México. 432 pp.

- Sala, O., y Lauenroth, W. 1982. Small rainfall events: an ecological role in semiarid regions. *Oecologia* 53: 301-304.
- Sánchez, A., Peña-Valdivia, C., Aguirre, J., y Cárdenas, E. 2004. Efectos del potencial de agua en el crecimiento radical de plántulas de *Agave salmiana* Otto Ex Salm-Dick. *Interciencia* 29: 626-631.
- Sperry, J. S., y Hacke, U. G. 2002. Desert shrub water relations with respect to soil characteristics and plant functional type. *Functional Ecology* 16: 367-378.
- Valiente-Banuet, A., Del Coro, M., Rojas-Martínez, A., y Domínguez-Canseco, L. 1996. Ecological Relationships between Columnar Cacti and Nectar-Feeding Bats in Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 12: 103-119.
- Zar, H. 1994. *Bioestatistical analysis*. Prentice-Hall, Chicago.