

# Efecto de los ácidos orgánicos en la producción de frutos de *Pachycereus weberi* (J.M.Coult.) Backeb. en el municipio de Santo Domingo, Huehuetlán El Grande, Puebla, México

David Martínez-Moreno<sup>1</sup>, Jenaro Reyes-Matamoros<sup>2</sup>, Dulce María Figueroa-Castro<sup>1</sup>, Tobías Rodríguez-Ramírez<sup>1</sup>  
Escuela de Biología<sup>1</sup>, Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas<sup>2</sup>  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
Puebla, México  
davidman850@hotmail.com, jenaro.reyes@correo.buap.mx

**Abstract**— The objective was to quantify the content of organic acids and their effect on fruit production of *Pachycereus weberi* plant in the municipality of Santo Domingo, Huehuetlán El Grande, Puebla, Mexico. The results showed that plants *Pachycereus weberi* not produce new branches, probably because of low rainfall. Among the dominant species of the genus *Acacia coultieri* individuals, *Acacia cochliacantha* and *Pachycereus weberi* were recorded. June had the highest titratable acidity, while March recorded the lowest. On the south orientation as much fruit was obtained, while the north orientation the least amount was obtained. Fruit production did not show a pattern of orientation.

**Keywords**— CAM, PAR orientation, *Pachycereus weberi*, fruit production.

**Resumen**— El objetivo fue cuantificar el contenido de ácidos orgánicos y su efecto en la producción de frutos de plantas de *Pachycereus weberi* en el Municipio de Santo Domingo, Huehuetlán El Grande, Puebla, México. Los resultados mostraron que las plantas de *Pachycereus weberi* no produjeron ramas nuevas, probablemente debido a la baja precipitación pluvial. Dentro de las especies dominantes se registraron individuos del Género *Acacia coultieri*, *Acacia cochliacantha* y *Pachycereus weberi*. El mes de junio presentó la mayor acidez titulable, mientras que marzo registró la menor. En la orientación sur se obtuvo la mayor cantidad de frutos, mientras que en la orientación norte se obtuvo la menor cantidad. La producción de frutos no presentó un patrón de orientación.

**Palabras clave**— MAC, RFA, orientación, *Pachycereus weberi*, producción de frutos.

## I. INTRODUCCIÓN

Las cactáceas poseen una serie de adaptaciones morfológicas adquiridas en respuesta a las presiones del medio árido. La adaptación fisiológica más evidente es su capacidad de almacenar y conservar agua en sus tejidos [1,2], debido al gran tejido parenquimatoso (suculencia), y el engrosamiento de la cutícula que evita la evapotranspiración. Además, el metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC) permite que la pérdida de agua por evapotranspiración sea menor (disminuye la deshidratación) ya que mejora la eficiencia de uso del agua de la planta, es decir, la cantidad de carbono que se adquiere por cada unidad de agua que se transpira [3,4].

La mayoría de las cactáceas realizan la fotosíntesis por medio del metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC) [5], los tallos presentan tejido fotosintético, clorenquima y parénquima muy desarrollados que les permiten conservar agua y nutrientes para sobrevivir durante prolongados períodos de sequía [1,6]. Además están cubiertos por una gruesa cutícula impermeable que los protege, evitando que se pierda agua por otra vía que no sea los estomas, los cuales abren predominantemente por la noche, por lo tanto se reduce la transpiración [7]. Si la planta carece de reservas suficientes de agua para mantenerse transpirando, los estomas pueden cerrarse indefinidamente hasta que los tejidos vuelven a recargarse de agua [6], este mecanismo es su seguro de vida en hábitats con condiciones

extremas. Debido a su baja tasa de transpiración y su alta eficiencia en el uso del agua [6,8], las cactáceas se han considerado ahorradoras de agua, por ello, tolerantes a la sequía. Las cactáceas al realizar la fotosíntesis por medio del metabolismo MAC [5] pueden reducir el gasto de agua en este proceso [6,9], en la ruta MAC el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es fijado durante la noche cuando los estomas abren y el producto capturado de ácidos de cuatro carbonos se almacenan en las vacuolas de las células del clorenquima. Durante el día el cierre estomático minimiza la transpiración y se lleva a cabo la descarboxilación del ácido málico, permitiendo la entrada de  $\text{CO}_2$  al ciclo de Calvin [9,10].

Las zonas áridas y semiáridas guardan una gran variedad de especies de esta familia, las cuales han experimentado un gran proceso evolutivo [11]. Y presentan diversas adaptaciones morfofisiológicas y reproductivas, como la presencia de tallos suculentos y fotosintéticos, espinas, raíces contráctiles y superficiales, flores que abren en las horas menos calientes y frutos atractivos para polinizadores y dispersores de las semillas [8]. Las zonas áridas y semiáridas se caracterizan principalmente por la baja fertilidad del suelo y la escasa precipitación, limitando el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales [12]. Aunque se han realizado algunos estudios sobre su agronomía, anatomía, ecología, etnobotánica, parasitología y fisiología. Todavía es mucho lo que se desconoce de estas plantas, especialmente lo relacionado a su condición hídrica, fluctuación fotosintética y su productividad en ambientes naturales, por lo que resulta indispensable la generación de conocimiento orientado a un manejo racional de este recurso natural [13,14,15,16]. En lo referente a la fisiología, el metabolismo ácido crasuláceo fue primeramente observado en la planta crasulácea *Bryophyllum calycinum* K.D. Koenig & Sims. Este metabolismo se presenta en 15,000 a 20,000 especies, pertenecientes a 33 familias de dicotiledóneas como de monocotiledóneas lo que representa un 7% de la vegetación [17].

Nobel [18] enfatizó que en *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. se presenta un incremento de acidez nocturna máxima de  $0.63 \text{ mol m}^{-2}$  y de  $0.67 \text{ mol m}^{-2}$ , mencionada por otros autores, este investigador compara el incremento de acidez nocturna máxima con otras plantas del desierto que presentan MAC, mencionando que *Opuntia chlorotica* Engelm. & J.M. Bigelow tiene un incremento de  $0.76 \text{ mol m}^{-2}$ , *Opuntia inermis* (DC.) DC. de  $0.70 \text{ mol m}^{-2}$ , *Opuntia basilaris* de  $0.61 \text{ mol m}^{-2}$ , *Opuntia echios* J.T. Howell var. *gigantea* (J.T. Howell) D.M. Porter de  $0.32 \text{ mol m}^{-2}$ , *Agave deserti* Engelm. de  $0.65 \text{ mol m}^{-2}$ , *Stenocereus gummosus* (Engelm.) A.C. Gibson & K.E. Horak de  $0.48 \text{ mol m}^{-2}$  y *Trichocereus chilensis* (Colla) Britton & Rose de  $0.26 \text{ mol m}^{-2}$ .

A pesar de que las plantas con fisiología MAC tienen importancia en México, los estudios sobre este tipo de fisiología son insuficientes. Martínez [13] menciona que para *Escontria chiotilla* (Weber) Rose existe un rango de temperatura óptima para llevar a cabo el metabolismo ácido crasuláceo (MAC), siendo de 18-20 °C, por lo que quizá exista una marcada relación de temperatura con la acidez titulable. Otro trabajo, donde la especie de *Escontria chiotilla* fue sometida a un régimen térmico 30/20 °C durante la luz y la oscuridad respectivamente, con un fotoperiodo de día largo 14/10 horas mostró las fluctuaciones de acidez titulable y almidón, típico del metabolismo MAC observándose que el termoperiodo mantuvo las fluctuaciones acentuándose la respuesta en las condiciones de sequía [19]. Mientras que José y Martínez [20], al estudiar el efecto de la orientación en la producción de *Escontria chiotilla* en la localidad de Venta Salada, Coxcatlán, Puebla, mencionan que la orientación norte-sur tiene una influencia muy marcada en la producción de yemas florales y por ende de frutos y la cantidad de ácidos orgánicos puede disminuir por los factores ambientales, principalmente la precipitación. Aunque Mandujano [21] indica que la evaluación de la acidez titulable en *Escontria chiotilla* mostró que la orientación sur y la zona joven presentaron las fluctuaciones de acidez más altas del metabolismo MAC en cuanto a la producción de frutos con respecto a la orientación. Flores [22]

trabajó con la fluctuación fotosintética de *Escontria chiotilla* en San Juan de los Ríos, Chiautla de Tapia, Puebla, realizando una evaluación de los ácidos orgánicos durante un año y concluye que la acidez titulable puede disminuir por la temperatura y precipitación pluvial, además de que la orientación norte registró la mayor producción de frutos. Rosas [23] estudio el efecto de la orientación preferencial sobre estructuras reproductivas y vegetativas de *Myrtillocactus geometrizans* Console, en dos laderas con orientación contrastante (Norte y Sur) en la Reserva de la Biosfera Barranca de Meztlán, México. Ella concluye que las flores y frutos se desarrollan y producen preferentemente en las costillas y ramas con orientación sur y las que se desarrollan en las demás orientaciones experimentan limitación de recursos. Figueroa y Valverde [24] estudiaron la orientación de flores de *Pachycereus weberi* (J.M. Coult.) Backeb. (Cactaceae) y su efecto en la producción de óvulos, semillas y peso de las mismas, concluyendo que las flores orientadas al lado sur produjeron mayor número de óvulos, semillas y mayor peso de éstas y que ello está en estrecha relación con la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR; por sus siglas en inglés) recibida en la cara sur del tallo de plantas de *Pachycereus weberi*.

Por lo anterior, el objetivo del estudio fue cuantificar el contenido de ácidos orgánicos y su efecto en la producción de frutos de plantas de *Pachycereus weberi* en el Municipio de Santo Domingo, Huehuetlán El Grande, Puebla, México.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo de octubre de 2012 a septiembre de 2013 en el municipio de Santo Domingo, Huehuetlán El Grande, Puebla, México. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18°41'06" y 18° 53'12" de latitud norte y los meridianos 98°03'18" y 98° 15'06" de longitud occidental [25]. La selección de plantas de *Pachycereus weberi* se realizó tomando en cuenta la abundancia de los individuos y su cercanía. Dicha área se caracterizó por ser una zona sin una pendiente pronunciada, aledaña al camino principal dentro de la zona de estudio. Se seleccionó un total de 30 individuos para realizar el seguimiento fenológico con observaciones mensuales, tales como, presencia o ausencia de ramas nuevas, maduras y viejas, brotes florales, flor y fruto. Además, 10 de estos individuos se seleccionaron para la cuantificación mensual de ácidos orgánicos a lo largo de un año.

Una vez establecida la zona de estudio se marcaron los individuos con una navaja del 1 al 10, para la toma de tejido y posteriormente la cuantificación de ácidos y del 11 al 30, incluyendo las 10 primeras para la descripción fenológica. Para determinar el tipo de vegetación de la zona de estudio, se realizó un perfil de vegetación el cual se inició en la época con mayor abundancia. Se empleó la técnica de Matteucci y Colma [26]. Los datos registrados fueron: lugar de ubicación y altura. Para su identificación se capturaron fotografías y con ayuda de guías se identificaron.

Las variables ambientales que se registraron fueron, la temperatura ambiental de la zona de estudio cada hora, con ayuda de un termómetro de columna de mercurio, durante un periodo de trece horas (7:00 a 18:00 horas), asimismo, se consideró la precipitación pluvial de cada mes, durante el ciclo muestreado, los datos de la precipitación pluvial fueron obtenidos por medio de la modificación al sistema de clasificación de Köppen [27].

Para la cuantificación de ácidos orgánicos se realizó mediante la técnica modificada por Szarek y Ting [28]; esta consistió, en tomar 5 g de peso fresco del tallo usando un horador de 12 mm de diámetro, posteriormente se colocaron en frascos de color ámbar de 50 ml con alcohol etílico al 100%

para preservar los ácidos orgánicos. El contenido de la muestra de tejido se colocó en un vaso de precipitado con 100 ml agua destilada, después, el vaso se instaló sobre un soporte universal y se llevó el contenido a punto de ebullición (usando un mechero Fisher), durante este proceso se evapora el alcohol quedando únicamente en el vaso los ácidos orgánicos mezclados con el agua destilada. El contenido del vaso se dejó enfriar y se procede a macerar el tejido utilizando un mortero con pistilo, hasta obtener una mezcla homogénea, la cual se filtró a través de una gasa. El filtrado se colocó en un vaso de precipitado de 250 ml. en seguida se procedió a tomar el pH inicial con ayuda de un potenciómetro manual para medir pH y conductividad (Modelo Hanna, marca Combo HI98129). Para la titulación del filtrado se utilizó una bureta Pirex de 50 ml, previamente montada en un soporte universal, conteniendo una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 0.01N en el cual el pH del filtrado se llevó hasta 6.4 unidades para facilitar la lectura y de esta manera cada mililitro de Hidróxido de Sodio es correspondiente a un miliequivalente (meq.) de ácidos orgánicos por cada 100 g de la planta.

Por último, se procedió a coleccionar los frutos de 5 individuos por orientación (norte, sur, este y oeste), con la finalidad de registrar en cual orientación se produce la mayor cantidad de los mismos.

### III. RESULTADOS

El registro fenológico mostró que no se presentaron ramas nuevas y la presencia de estructuras reproductivas (brotes florales, flor y fruto) se dieron de diciembre a junio (Tabla 1).

Tabla I. Fenología de las plantas de *Pachycereus weberi* en la zona de estudio del municipio de Santo Domingo, Huehuetlán El Grande, Puebla (n= 30).

Meses/Fenología	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ramas	N											
	M	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	V	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Brotes florales	x	x	x									x
Flor		x	x	x								
Fruto			x	x	x	x						

N= Nuevas, M= Maduras, V= Viejas

El perfil de la vegetación en la zona de estudio mostró que las especies dominantes presentan una altura no mayor de 3 metros, y en su mayoría fueron hierbas y arbustos. El género *Acacia* tuvo la mayor presencia. También, sobresalió la especie en estudio (*Pachycereus weberi*).

La temperatura ambiental registrada mensualmente durante un periodo de 12 horas (7:00 a 18:00 horas), indica que las temperaturas promedio más altas corresponden a los meses de mayo, marzo, abril y junio con valores de 35 °C y 34 °C, para los primeros y 33 °C para el tercero y cuarto mes. Las temperaturas más bajas se presentaron en los meses de enero y febrero con 12 °C y 13 °C, respectivamente (Figura 1).

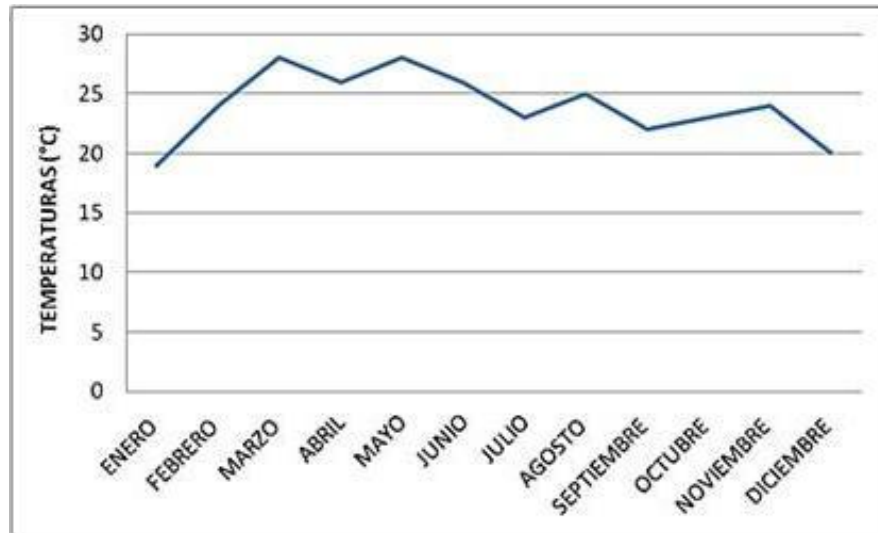


Fig. 1. Temperatura promedio por mes durante el año de muestreo en la zona de estudio.

Los datos de precipitación pluvial fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional. En la figura 2 se observa que los meses de junio y septiembre presentaron incremento de lluvias.

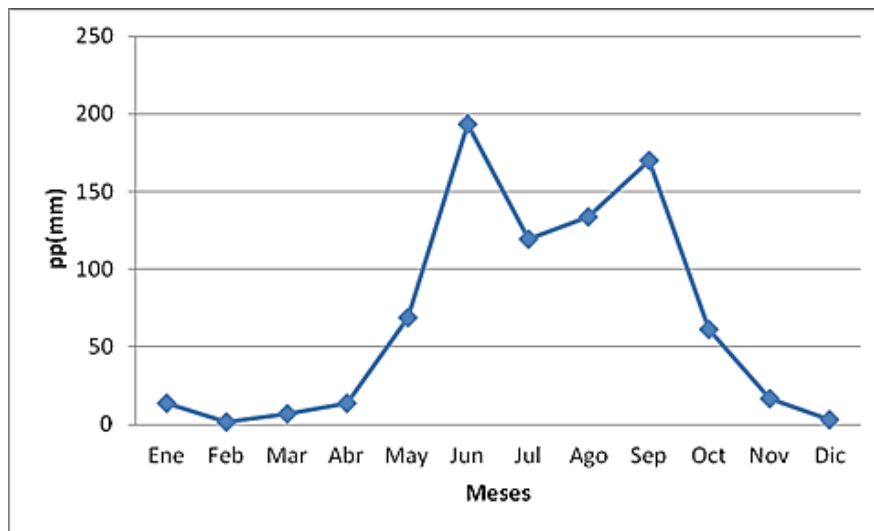


Fig. 2. Precipitación pluvial (mm) promedio en la zona de estudio [29].

La representación de la fluctuación diaria de acidez titulable y temperatura ambiental durante el periodo de muestreo en un lapso de 13 horas (tomando dichas mediciones cada 2 horas: 6:00, 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00 horas) mostró que en el mes de junio la acidez titulable fue la más elevada, mientras que el mes de marzo presentó el menor valor de acidez titulable (Figuras 3, 4 y 5).

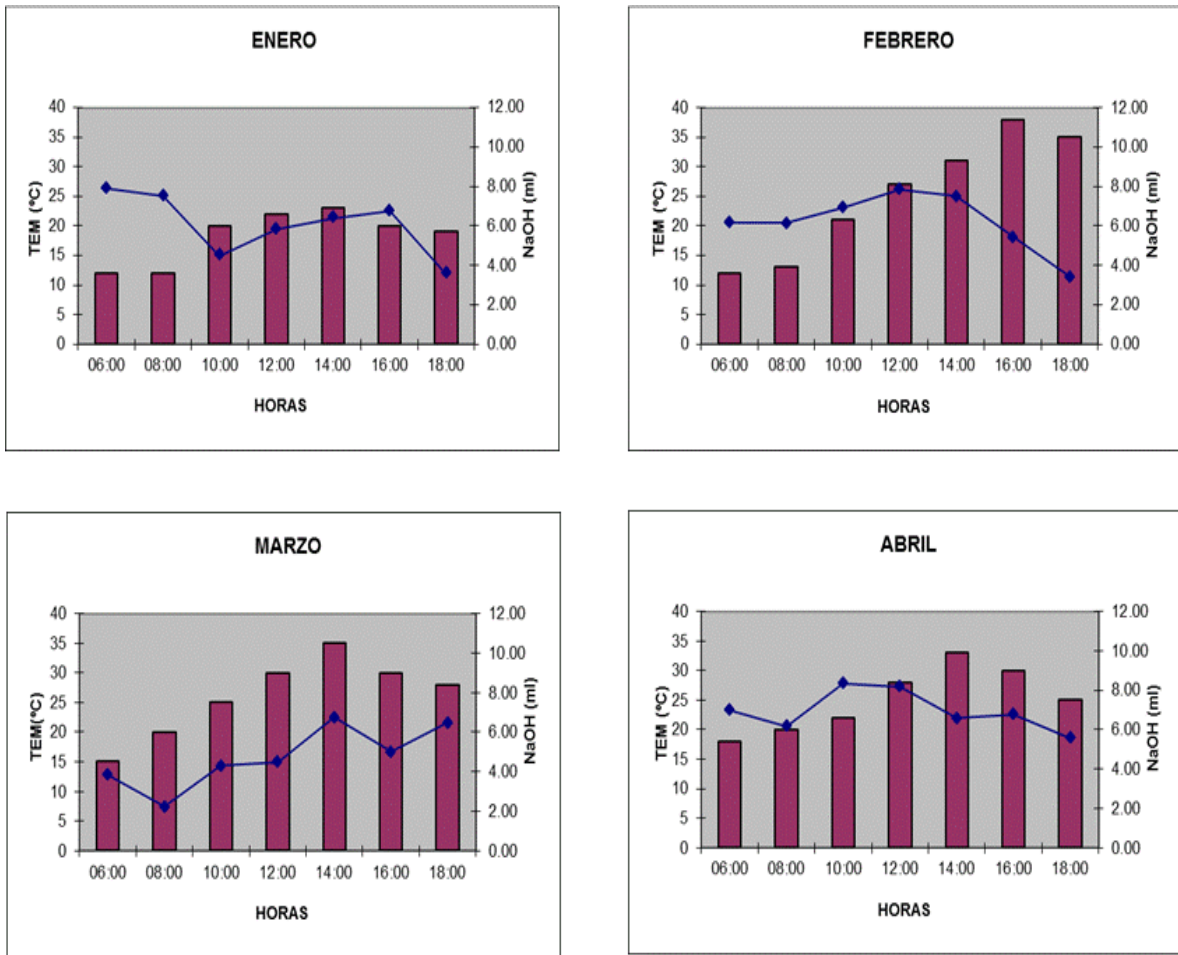


Fig. 3. Comparación de la fluctuación diaria de acidez titulable (ml de NaOH) (línea continua) y temperatura ambiental (°C) (barras) de los meses de enero, febrero, marzo y abril.

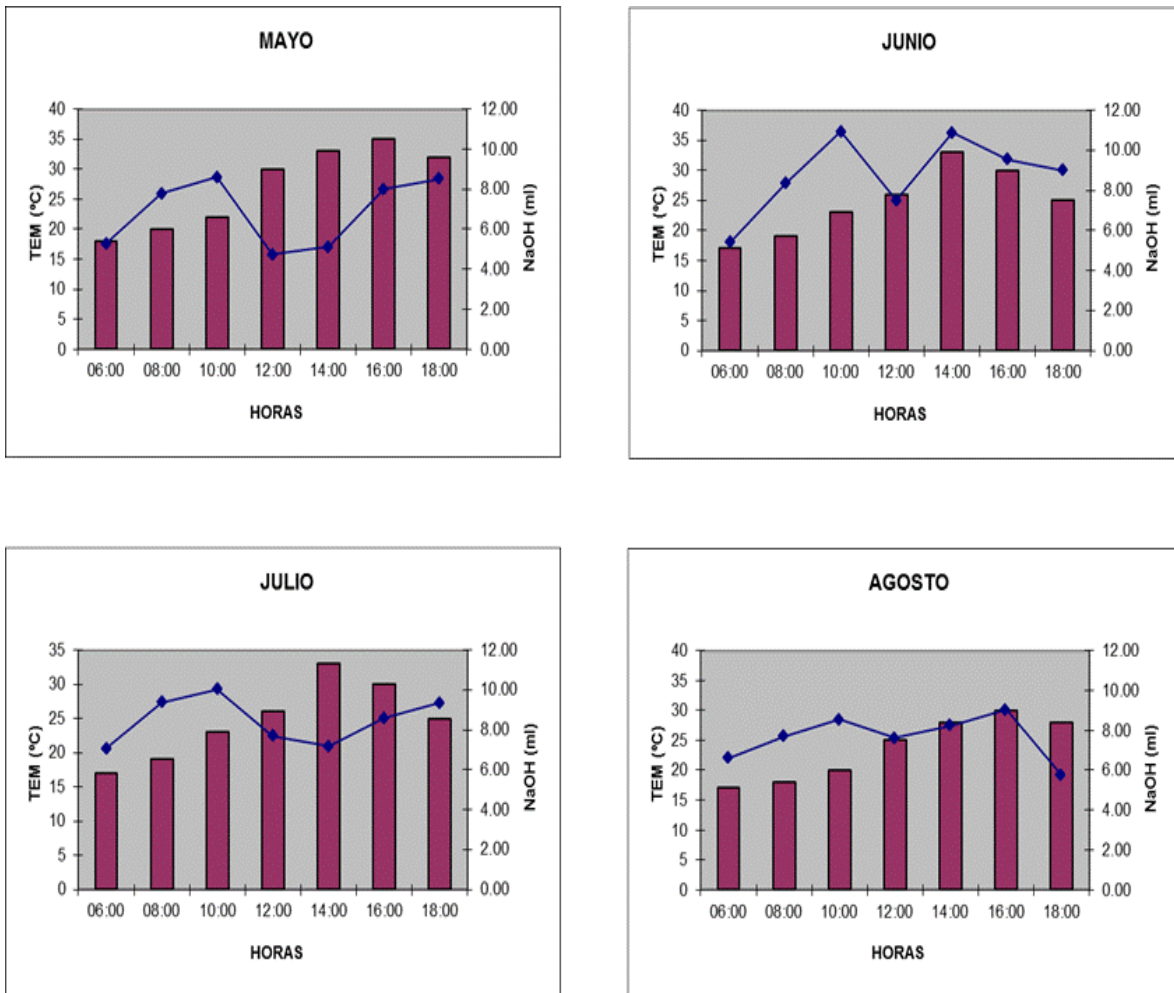


Fig. 4. Comparación de la fluctuación diaria de acidez titulable (ml de NaOH) (línea continua) y temperatura ambiental (°C) (barras) de los meses de mayo, junio, julio y agosto.

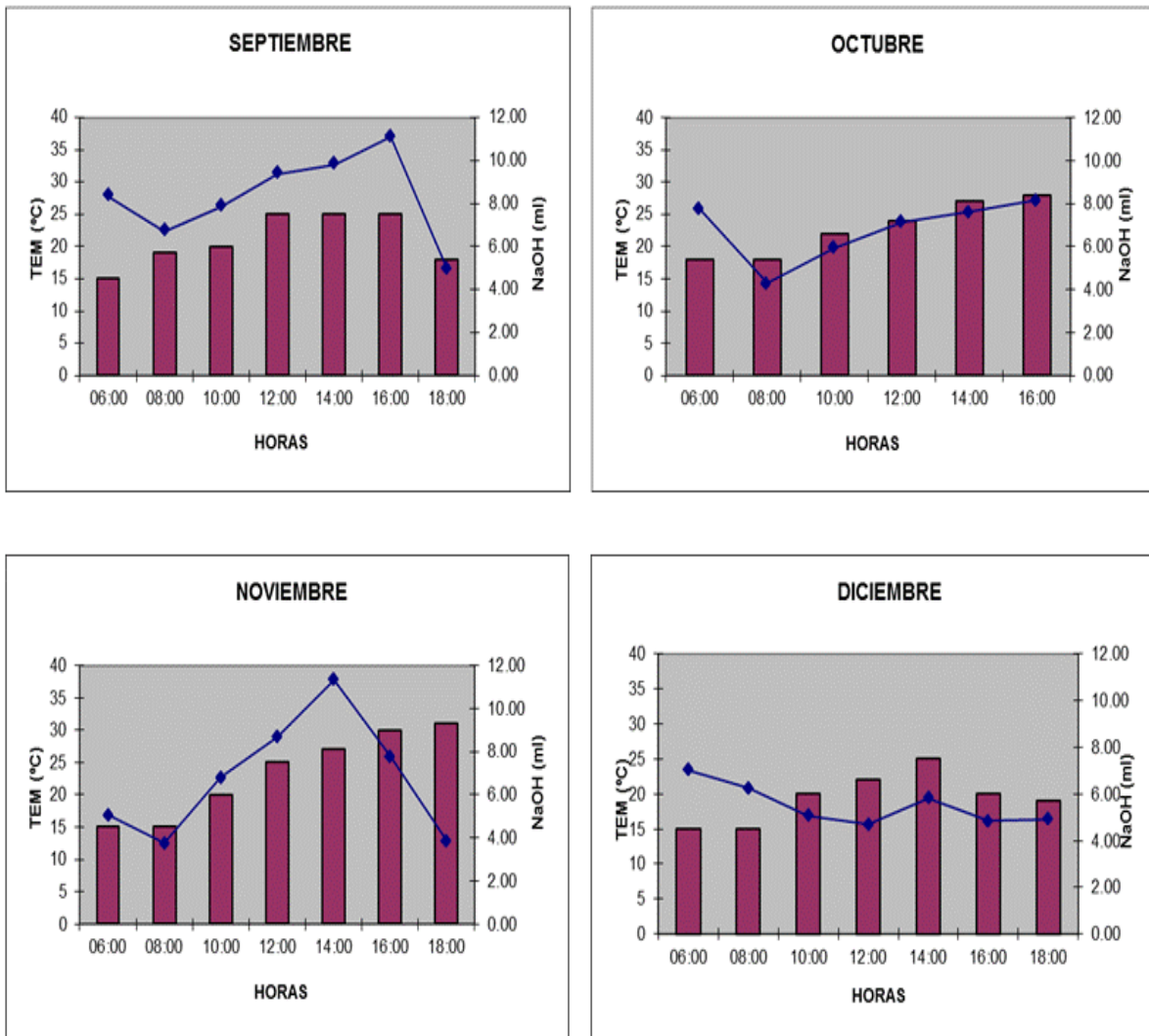


Fig. 5. Comparación de la fluctuación diaria de acidez titulable (ml de NaOH) (línea continua) y temperatura ambiental (°C) (barras) de los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

En referencia a la producción de frutos colectados según orientación, se observa que la orientación sur-este fue la mayor cantidad de frutos (Tabla 2).



Tabla II. Número de frutos, peso húmedo (g) y peso seco (g) de frutos por orientación norte, sur este y oeste en 5 plantas de *Pachycereus weberi*.

Frutos	Planta 2	Planta 3	Planta 7	Planta 8	Planta 10	Total
<b>Norte</b>	70	505	823	0	0	1398
Peso húmedo (g)	3870	1190	3910	0	0	
Peso seco (g)	66.5	479.4	782	0	0	
<b>Sur</b>	762	1445	1033	0	659	3899
Peso húmedo (g)	6900	7270	3910	0	1680	
Peso seco (g)	724.5	1372.7	981.7	0	626	
<b>Este</b>	2178	677	509	0	508	3872
Peso húmedo (g)	10200	4020	1860	0	1780	
Peso seco (g)	2069.3	643.3	483.5	0	482.7	
<b>Oeste</b>	941	79	408	399	303	2130
Peso húmedo (g)	7500	350	1270	210	1130	
Peso seco (g)	894.3	75	387.5	378.7	288	

#### IV. DISCUSIÓN

Puesto que la fenología es el estudio de las secuencias temporales de eventos fisiológicos y morfológicos cíclicos y recurrentes [30,31], en este estudio se llevó a cabo la fenología de 30 plantas de *Pachycereus weberi*, los registros mostraron que las plantas no elaboraron ramas nuevas, pero mantuvieron las maduras y viejas, es posible que la ausencia de ramas nuevas se deba a que la cantidad de lluvia que cayó durante el año anterior no fue suficiente, y debido a ello, las plantas limitaron su crecimiento para no afectar su etapa reproductiva [16]. Ya que el agua acumulada no fue suficiente para la producción de hidratos de carbono y su conversión a biomasa [32], el agua acumulada en el tejido pudo utilizarse en la etapa reproductiva, pues dichas estructuras aparecen desde diciembre y hasta junio como se observa en la tabla 1. Este patrón de comportamiento reproductivo no es único de esta especie, pues en plantas de *Escontria chiotilla* se ha registrado una producción similar de dichas estructuras [21,22].

La zona de estudio es una zona semiárida con un tipo de vegetación propio de la Selva Baja Caducifolia [33], con una dominancia de *Acacia coulteri* Benth., *Acacia cochliacantha* Humb. & Bonpl. ex Willd., *Pachycereus weberi*, entre otras. Al respecto de la especie en estudio, la descripción de la misma coincide con lo reportado por Bravo [1], quién menciona que es una de las especies más altas que hay (de hasta 10 metros o más), además de que se encuentra adaptada a las zonas áridas y semiáridas, ya que posee características propias al grupo que pertenece, principalmente fisiología MAC. En lo referente a la altura, esta facilita que sus flores sean polinizadas sin ningún problema, presentando una fructificación alta (Tabla 2), para una eficiente dispersión de sus semillas.

Siendo *Pachycereus weberi* una cactácea y además una suculenta, ésta presenta un tipo de fijación nocturna de CO<sub>2</sub> llamada MAC, permitiéndole adaptarse a medioambientes secos. Puesto que el metabolismo se encuentra estrechamente relacionado con la fluctuación diurna de ácidos orgánicos y con el intercambio de gas (CO<sub>2</sub>) nocturno, y además el incremento y decremento de estas fluctuaciones se encuentran en función de los factores ambientales (luz, precipitación pluvial, humedad relativa, temperatura ambiental, entre otros) así como los fisiológicos [34]. Los datos referentes a la acidez titulable se compararon con los factores antes mencionados, y a partir del mes de diciembre y hasta junio la cantidad de ácidos disminuye como se observa en las figuras 3 y 5, debido posiblemente a la

translocación de éstos ácidos hacia las estructuras reproductivas que durante el mes de diciembre dan inicio a las yemas florales, y posteriormente la aparición de flores y frutos, estos eventos reproductivos coinciden con la época seca del año en esta región, cuando el contenido de agua en el suelo se ve reducido y la temperatura se incrementa durante los meses de febrero a mayo, de esta manera la succulencia permite el movimiento continuo de agua almacenada del parénquima medular al clorénquima durante esta época, además, este mecanismo puede estar favoreciendo la asimilación de CO<sub>2</sub> en los meses secos, quizá porque las plantas en estrés hídrico incrementan su acidificación, como lo mencionan Daniel *et al.* [35] en hojas de siempreviva (*Umbilicus rupestris* (Salisb.) Dandy) seguidas de un estrés hídrico por 6 días, además el aumento de la acidificación puede ser de 3-4 veces en plantas maduras para que no evadan la sequía, ya que se puede afectar la fotosíntesis cuando los valores de potencial hídrico del suelo son bajos, como lo encontraron Pimienta-Barrios *et al.* [36] para *Agave tequilana* F.A.C.Weber, éstos autores mencionan que el agua almacenada en el tejido succulento, particularmente en el tejido medular, permite que el potencial hídrico en hojas de *Agave tequilana* no sean inferiores a -1.2 MPa en mayo cuando el potencial hídrico del suelo alcanzó valores de -25.0 MPa.

En los meses de junio a noviembre (Figuras 4 y 5) se observa que la acidez del tejido no aumenta y las temperaturas se encuentra en un rango de 25-30 °C, lo que indica que probablemente los ácidos se estén utilizando para el mantenimiento y restauración de la biomasa de las plantas y no para elaborar nueva biomasa, ya que la cantidad de lluvia es muy pobre 71.2 mm en promedio al año (Figura 2), pero si sólo se considera la lluvia que cae en temporal, el promedio llega a ser de 131.7 mm en promedio (lo cual es una cantidad muy baja), esto pudiera estar afectando la creación de nueva biomasa, pero no así la producción de frutos. Un patrón semejante encontró Martínez [13] en Plantas de *Escontria chiotilla* (weber) Rose, donde este parámetro junto con la humedad relativa influyen en la producción de frutos y nueva biomasa y concluye que entre la temperatura-precipitación pluvial-acidez titulable exista una correlación, y éstos afecten la producción de frutos y elaboración de nueva biomasa (aunque para este estudio no se afectó la producción de biomasa debido a que la lluvia que cayó en el año de estudio fue de 380 mm). Esto indica que para que se produzca nueva biomasa y una óptima producción de frutos en plantas con fisiología MAC, la lluvia que debe caer en promedio al año deberá estar por arriba de 300 mm, pero si esta cae por debajo de 300 mm entonces las plantas destinan el agua hacia la reproducción únicamente, disminuyendo la creación de nueva biomasa, como lo muestran los registros obtenidos en plantas de *Pachycereus weberi*.

En lo referente a la producción de frutos por orientación, los datos muestran que en todas las orientaciones medidas, el número de frutos fue elevado, la mayor cantidad de frutos registrados fueron de la orientación sur (3899 frutos), seguida de la este (3872 frutos), la oeste (2130 frutos) y la norte (1398 frutos), como se observa, el número de frutos fue elevado para las cuatro orientaciones registradas, lo que demuestra que en algunas especies de cactáceas la orientación es al azar, como sucede en plantas de *Opuntia basilaris* Engelm. & J.M. Bigelow [37], lo que puede estar sucediendo en esta especie, debido a que presenta numerosas ramas, es que éstas pueden estar creciendo y orientándose hacia la mayor intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), pues existe numerosa información en los géneros *Opuntia* y *Agave* que muestra que los cladodios y hojas de estas plantas succulentas se orientan hacia un eje para una mayor intercepción de la RFA, y una mayor acumulación de materia seca, lo cual se refleja en una mayor producción de frutos [38].

Debido a que no se presenta un patrón en el comportamiento de orientación en esta especie, se puede suponer con base en lo señalado por Nobel [38], quién menciona que en promedio, en todas las latitudes se pueden fijar 20 molm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> como respuesta a una intercepción de la RFA. Para este

caso las plantas se encuentran en la latitud de los 18°, lo que confirma el mejor aprovechamiento de la intercepción de la luz, y se lleve a cabo eficientemente la fotosíntesis para una buena producción de frutos. Los datos registrados en este estudio sobre producción de frutos muestra que las plantas de *Pachycereus weberi* fue alta, esto puede deberse a que la mayoría de las ramas están orientadas homogéneamente en todas las orientaciones y la altura que presentan estos individuos (mayor a 10 m) les da ventaja para la mayor intercepción de la RFA, lo cual hace que se lleve a cabo una eficiencia en la fotosíntesis, y se puede suponer, quizá que la lluvia en este caso este limitando que no haya producción de nuevas ramas, y que solo el consumo de acidez se utilice para mantenimiento y reproducción, esto se tendría que probar posteriormente mediante la interacción de la fuente-demanda.

## V. CONCLUSIONES

Las plantas de *Pachycereus weberi* no produjeron ramas nuevas, probablemente debido a la baja precipitación pluvial. Dentro de las especies dominantes en la zona de estudio se registraron individuos del Género *Acacia coultieri*, *Acacia Cochliacantha* y *Pachycereus weberi*. El mes de junio presentó la mayor acidez titulable, mientras que el mes de marzo registró la menor. En la orientación sur se obtuvo la mayor cantidad de frutos, mientras que la orientación norte la menor. La producción de frutos no presentó un patrón de orientación debido posiblemente a que las ramas están orientadas para una mayor eficiencia en la intercepción de Radiación Fotosintéticamente Activa.

## REFERENCIAS

- [1] H. Bravo y H. Sánchez, "Las cactáceas de México", Vol. 1, UNAM, México, 1978, pp. 20-61.
- [2] H. Sánchez, "Suculentas", in: A. Lot y F. Chiang (eds.), Técnicas especiales de recolección y preparación de ejemplares de grupos selectos de plantas, Consejo Nacional de la flora de México A.C., 1986, pp. 262-294.
- [3] J. Mauseth, "Energy metabolism photosynthesis", in: J. Mauseth (ed.), Botany an introduction to plant biology, 2<sup>o</sup> edition, Janes y Bartlett Publisher, 1998, pp. 262-294.
- [4] A. Challenger, "Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México", Pasado, presente y futuro CONABIO, Instituto de Biología, UNAM, México, 1998, 847 p.
- [5] K. Winter and J.A.C. Smith. "An introduction to crassulacean acid metabolism biochemical principles and ecological diversity", in: K. Winter and J.A.C. Smith (eds.), Crassulacean acid metabolism biochemistry, ecophysiology and evolution Springer Berlin, 1996.
- [6] S.P. Nobel, "Environmental biology of agaves and cacti", Cambridge University Press, New York, 1988, pp. 175-189.
- [7] U. Lüttge, "CO<sub>2</sub>-concentrating; consequences in crassulacean acid metabolism", Journal of Experimental Botany, 2002, 53: 2131-2142.
- [8] A.C. Gibson y P.S. Nobel, "The Cactus Primer", Harvard University Press Cambridge, 1987, 286 p.
- [9] C.B. Osmond, "Crassulacean acid metabolism; a curiosity in context", Annual Review Plant Physiology, 1978, 61: 379-441.
- [10] K. Winter and J.A.C. Smith, "Crassulacean acid metabolism: current and perfectives" in: K. Winter and J.A.C. Smith (eds), Crassulacean acid metabolism biochemistry, ecophysiology and evolution. Springer Berlin, 1996.
- [11] J. Leirana and P. Parra, "Factor affecting the distribution abundance and seedling survival of *Mammillaria gaumeri* and endemic cactus of coastal Yucatan, México", Journal of arid environments, 1999, 41:421-428.

- [12] S.S. Dhillion and J.C. Zark, "Microbial dynamos in arid ecosystems desertification and the potential role of mycorrhizas", *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 1993, 66: 253-270.
- [13] D. Martínez, "Fluctuación fotosintética de *Escontria chiotilla* (Weber) Rose en la localidad de Venta Salada, Municipio de Coxcatlán, Puebla", Tesis de Licenciatura, ENEP Iztacala, UNAM, México, 1987, 97 p.
- [14] G.O. Hernández y M. Mendieta, "Estudio comparativo de las relaciones iónicas de cactáceas en diferentes zonas del Municipio de Coxcatlán, Puebla", Tesis de Licenciatura, ENEP Iztacala, UNAM, México, 1987, 100 p.
- [15] J.R. José, "Estimación de la productividad en *Agave angustifolia* Haw.", Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados, México, 1995.
- [16] S.P. Nobel, "Los incomparables agaves y cactus", Ed. Trillas, México, 1998, 211 p.
- [17] J.C. Cushman, "Crassulacean Acid Metabolism. A plastic photosynthetic. Adaptation to arid environments", *Plant Physiol.*, 2001, 127: 1439-1449.
- [18] S.P. Nobel, "Orientation, PAR interception, and nocturnal acidity increases for terminal cladodes of a widely cultivated cactus, *Opuntia ficus-indica*", *Amer. J. Bot.*, 1982, 69(9): 1462-1469.
- [19] P.M. Mandujano, "Respuesta fotosintética (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas) en *Escontria chiotilla* (Weber) Rose en Ambiente Controlado", Tesis de Licenciatura, ENEP Iztacala, UNAM, México, 1988, 51 p.
- [20] J.R. José y M. Martínez, "Efecto de la orientación en la producción de *Escontria chiotilla* (Weber) Rose en la localidad de Venta Salada, Municipio de Coxcatlán, Puebla", *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, Tomo XXXVII, 1992, pp. 46-51.
- [21] P.M. Mandujano, "Fluctuación del metabolismo ácido de las crasuláceas en ramas jóvenes y maduras de *Escontria chiotilla* (Weber) Rose con orientación norte-sur en el Municipio de Coxcatlán, Puebla", Tesis de Maestría, FES Iztacala, UNAM, México, 2002, 81 p.
- [22] S.J. Flores, "Fluctuación Fotosintética en *Escontria chiotilla* (Weber) Rose, en la localidad de San Juan de los Ríos en el municipio de Chiautla de Tapia, Puebla", Tesis de Licenciatura, BUAP, 2006, 77 p.
- [23] E.M. Rosas, "Efecto de la orientación preferencial sobre las estructuras reproductivas y vegetativas en *Myrtillocactus geometrizans*", Tesis de Maestría, UAM Iztapalapa, 2010, 75 p.
- [24] D.M. Figueroa y P.L. Valverde, "Flower orientation in *Pachycereus weberi* (Cactaceae): effects on ovule production, seed production and seed weight", *Journal of Arid Environmental*, 2011, 75: 1214-1217.
- [25] Enciclopedia de los municipios de Puebla, México, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Puebla, 2009.
- [26] D.S. Matteucci y A. Colma, "Metodología para el estudio de la vegetación", Washington, Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, USA, 1982.
- [27] M.E. García, "Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen". Serie Libros Núm. 6, 5ª edición. Instituto de Geografía, UNAM, 2004, 90 p.
- [28] S.R. Szarek y P.I. Ting, "Physiological responses to rainfall in *Opuntia basilaris* (cactaceae)", *Amer. J. Bot.*, 1975, 62 (6): 602-609.
- [29] Servicio Meteorológico Nacional, "Datos reportados por la estación meteorológica, Estación: 00021045 Huehuetlán El Grande, Puebla, Pue.", 2013 [Consultado el 12 de enero de 2014]. Disponible en: [www.smn.cna.gob.mx](http://www.smn.cna.gob.mx)
- [30] G. Montenegro y R. Ginocchio, "La fenomorfología y su expresión a través del crecimiento modular en las plantas leñosas perennes", en: R. Orellana, J.A. Escamilla y A. Larqué (Eds.), *Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos*. Centro de Investigación Científica de Yucatán. A.C. Mérida, Yucatán, México, 1999, pp. 13-33.

- [31] M.A. Alvarado, R. Foroughbankhch, E. Jurado y A. Rocha, "El cambio climático y la fenología de las plantas", Ciencia UANL, 2002, Vol. V (004): 493-500.
- [32] L.R. Parsons, "Respuestas de la planta a la deficiencia de agua", en: M.N. Christiansen, Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables, Ed. Noriega-LIMUSA, México, 1991, pp. 211-231.
- [33] J. Rzedowski, "La vegetación de México", Ed. Limusa, México, 1978.
- [34] J.L. Andrade, E. De la Barrera, C. Reyes, R.M. Fernanda, G. Vargas y C.J. Cervera, "El metabolismo ácido de las crasuláceas: Diversidad, fisiología ambiental y productividad", Bol.Soc.Bot.Méx., 2007, 81: 37-50.
- [35] P.P. Daniel, F.L. Woodward, J.A. Bryant and J.R. Etherington, "Nocturnal accumulation of acid in leaves wall pennywort (*Umbilicus rupestris*) following exposure to water stress", Annals of Botany, 1985, 55: 217-223.
- [36] E. Pimienta, J. Zañudo y J. García, "Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de *Agave tequilana*", Agrociencia, 2006, 40: 699-709.
- [37] M.R. Woodhouse, G.J. Williams, and S.P. Nobel, "Leaf orientation, radiation interception, and nocturnal acidity increases by the CAM plan *Agave deserti* (AGAVACEAE)", Amer. J. Bot., 1980, 67(8): 1179-1185.
- [38] S.P. Nobel, "Form and orientation in relation to PAR interception by cacti and agaves", en: J.T. Givnish (ed.), On the economy of plant form and function, Cambridge University press, New York, 1986, pp. 83-103.