

## Reacción fisiológica del maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) a la sequía intermitente

Physiological reaction to discontinuous drought of "maguey" (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck)

G. Ruiz<sup>1</sup>, C. Peña-Valdivia<sup>2</sup>, L. Trejo<sup>2</sup>, A. Sánchez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ciencias Biológicas, Universidad Westhill. Domingo García Ramos 56, Col. Prados de la Montaña. Santa Fe. México D.F. 05610.

<sup>2</sup>Botánica, Colegio de Postgraduados, km 36.5 Carretera México- Texcoco Montecillo, México. 56230  
cecilia@colpos.mx

<sup>3</sup>Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía, Departamento de Botánica, Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela.

### Resumen

El maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) tiene importancia económica en México desde épocas prehispánicas, pues ha sido utilizado para producir bebidas fermentadas (pulque) y como fuente de alimento con gran contenido de azúcares; además, actualmente también se utiliza para producir mezcal y representa un modelo de estudio de los mecanismos de tolerancia al déficit prolongado de agua. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la sequía en la fisiología de plantas jóvenes de maguey. Plantas de 6 meses de edad tuvieron riego o suspensión intermitente de él por tres meses ( $\Psi_A$  medio del suelo - 0,39 o -1,60 MPa al final cada suspensión). Se evaluó el crecimiento, contenido de clorofila, fotosíntesis y respiración. El diseño experimental fue completamente al azar con seis repeticiones y una planta como unidad experimental. Treinta días sin riego incrementaron significativamente la biomasa de la raíz y longitud de las hojas (100 y 17%, respectivamente), el tercer período sin riego detuvo el crecimiento e incrementó la clorofila *a* y *b* (31 y 18 mg · 100 mg<sup>-1</sup>). Las plantas jóvenes de maguey toleran la deshidratación prolongada y presentan metabolismo MAC típico.

**Palabras clave:** *Agave salmiana*, crecimiento, CAM, déficit hídrico.

## Abstract

The maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) has economical importance in México since the pre-Hispanic time because it is used for preparing fermented beverages ("pulque") and as foodstuff with a high sugar content; besides at the moment, maguey is also used for preparing "mezcal" and represents a plant model for studying the tolerance mechanisms to water deficit. The aim of this study was to evaluate water drought effect on the physiology of young maguey plants. Six months old plants were irrigated or maintained intermittently without irrigation for three months (soil  $\Psi_w$  of -0.39 or -1.60 MPa at the end of each watering suspension). Growth, chlorophyll content, photosynthesis and respiration were evaluated. A split plot design was used, with a plant as experimental unit and six replications. Root biomass and leaf length increased (100% and 17%, respectively) significantly after 30 drought days, at the end of the third drought cycle growth was inhibited and chlorophyll *a* and *b* (31 and 18 mg · 100 mg<sup>-1</sup> wet tissue<sup>-1</sup>) increased. Young maguey plants express high drought tolerance and are typical CAM.

**Key words:** *Agave salmiana*, growth, MAC, water deficit.

## Introducción

En México hay regiones con clima cálido seco, donde el déficit de agua, las temperaturas extremas y el exceso de sales en los suelos son adversos para el desarrollo de numerosos cultivos. Uno de los factores ambientales con mayor impacto en los procesos fisiológicos de las plantas es el déficit de agua. Las especies con metabolismo fotosintético ácido de las crasuláceas (MAC), como las *agaváceas*, son más eficientes en el uso de agua que las de metabolismo fotosintético C3, como el frijol, y C4, como el maíz (más de cuatro y cerca del triple, respectivamente) (5).

El maguey (*A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck) tiene importancia econó-

mica en México, pues es utilizado para producir bebidas fermentadas (pulque) y destiladas (mezcal), es fuente de alimento con gran contenido de azúcares (2) y representa un modelo de estudio de los mecanismos de tolerancia al déficit prolongado de agua. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del riego y su suspensión intermitente por tres meses en la de plantas jóvenes de maguey; para lo cual se evaluaron los parámetros del crecimiento del vástago y la raíz, el contenido de clorofila *a* y *b* de las hojas y las tasas fotosintética y respiratoria de las hojas a lo largo de un día.

## Material y métodos

Se germinaron semillas de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) de San Luís Potosí, México. Trescientas plantas se mantuvieron en invernadero, en macetas con 400 g de suelo, se regaron quincenalmente a capacidad de campo y a los seis meses se formaron dos grupos, a uno se le aplicó riego dos veces por semana y al otro se le suspendió por un mes, después se le aplicaron dos riegos de recuperación y se suspendió el riego nuevamente un mes; el ciclo se repitió tres veces en total. Se determinó el potencial de agua ( $\Psi_A$ ) del suelo con riego y al final de los 30 d de su suspensión, en cámaras psicrométricas (Wescor C-52, Inc., Utha, USA) y un microvoltímetro (Wescor HR-33T, Inc, Utha, USA). Antes de suspender el riego la primera vez y antes de cada riego de recuperación se determinó el número de hojas, longitud de la raíz y hojas, biomasa de vástago y raíz, y el contenido de clorofila *a* y *b* en la base,

centro y ápice de las hojas. Para esto último, secciones circulares de 1 cm de diámetro de las hoja fueron colocadas en 5 ml de N,N-dimetilformamida y mantenidas a 4°C por 48-72 h; después, el extracto se leyó en un espectrofotómetro (a 664,5 y 667 nm) y se utilizaron las ecuaciones descritas por Inskeep y Bloom (3) para calcular la concentración de las clorofilas. Al finalizar el segundo período sin riego se registró, durante 24 h, la tasa de fijación de carbono y respiratoria en discos de (2,5 cm<sup>2</sup>) hoja, con un sistema portátil, para análisis de gases en el espectro infrarrojo (IRGA, PPSYSTEMS modelo CIRAS-1). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con seis repeticiones, por tratamiento y la unidad experimental fue una planta. Se realizó el análisis de varianza y la comparación de medias con la prueba de Tukey con una  $\alpha = 0,05$ .

## Resultados y discusión

El  $\Psi_A$  medio del suelo después del riego fue (-0,39 MPa) significativamente mayor al del suelo al final de los períodos sin riego (-1,60 MPa). La intensificación del riego afectó negativamente el crecimiento, pues después de los primeros 30 d la longitud de las hojas y la raíz disminuyó (15 y 32%, respectivamente) significativamente; además, también se observó la disminución no significativa de la biomasa de la raíz y el vástago, así como del número de hojas (figura 1). Una interpretación posi-

ble de esta respuesta es que el incremento de humedad haya representado un exceso para las plantas, pues habían sido mantenidas previamente con la mitad de riegos. Peña-Valdivia (2007, resultados no publicados) obtuvo un efecto similar de estrés por exceso de humedad en las semillas de maguey, en ese caso se manifestó como una elevada incidencia de pudrición de las semillas de maguey durante la germinación en sustrato a saturación de campo, con  $\Psi_A$  de -0,03 MPa, mien-

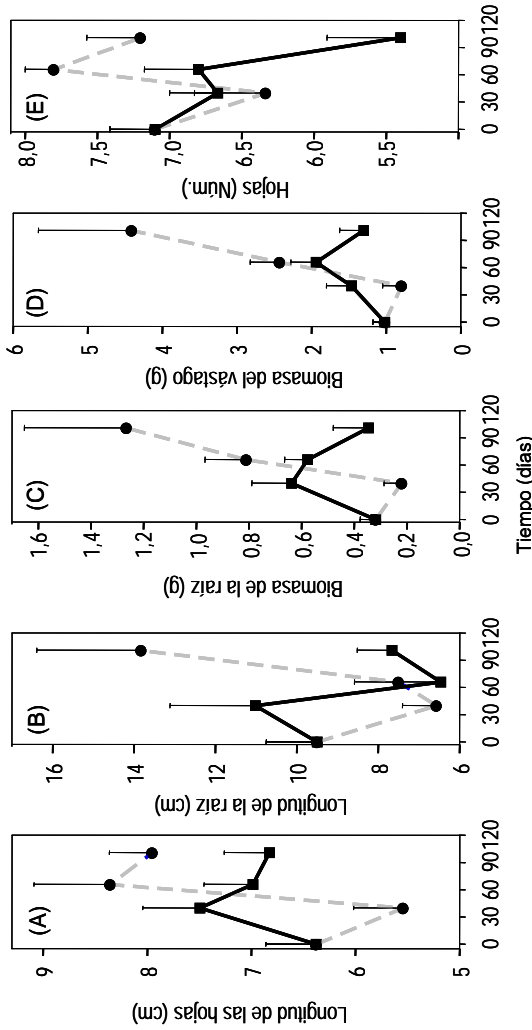


Figura 1. Parámetros de crecimiento, longitud de las hojas (A), longitud de la raíz (B), biomasa de la raíz (C), biomasa del vástago (D) y número de hojas (E), de plantas de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) de 6 meses de edad, cultivadas en invernadero, con riego ( $\Psi_A$  medio del suelo de -0,39 MPa; ●) y tres ciclos consecutivos de suspensión del riego interrumpidos por dos riegos a saturación de campo ( $\Psi_A$  medio del suelo al final de cada mes de -1,60 MPa; ■).

tras que con  $\Psi_A$  menores a  $-0,63$  MPa se alcanzó cerca de 100% de germinación. Estas respuestas son posibles en el maguey pues es una especie que se desarrolla naturalmente en regiones con clima cálido seco, en las que el déficit de agua en los suelos es adverso para el desarrollo de numerosos cultivos (2). Debe señalarse que entre las 300 plantas que constituyeron la muestra total para el desarrollo del presente estudio hubo heterogeneidad notable de tamaño, y aunque es poco probable, pero no improbable, existe la posibilidad de que en ese segundo muestreo las unidades experimentales, tomadas al azar, del tratamiento con riego fueran menores a la media. Lo anterior queda por demostrarse o descartarse mediante el análisis estadístico respectivo. Después de los 60 días con el riego intensificado, las plantas incrementaron significativamente la mayoría de los parámetros del crecimiento, entre ellos sobresalió la biomasa del vástago y la raíz, que se cuadruplicaron después de los 90 d, aunque la longitud de la raíz incrementó solo 40%, respecto al momento de inicio de los tratamientos (figura 1).

La ausencia del riego, durante los primeros 30 d, incrementó significativamente la biomasa de la raíz (100%) y del vástago (40%), así como la longitud de las hojas (17%), respecto al momento de inicio de los tratamientos. Además, el incremento de la biomasa y longitud de las estructuras fueron significativos respecto al tratamiento con riego en ese primer período de 30 d. Este resultado indica que las plantas, típicas de los ambien-

tes secos, continuaron su crecimiento en ese período; sin embargo, como resultado de los siguientes dos ciclos sin riego el crecimiento disminuyó significativamente o se detuvo y después de los 90 días, hubo abscisión de hojas (25%), y la biomasa y longitud de vástago, hojas y raíz fueron similares a las plantas al momento de iniciar los tratamientos. Cabe destacar que después de 60 d de iniciados los tratamientos, la biomasa media del vástago y la longitud de la raíz de las plantas con riego intermitente fueron significativamente iguales a las plantas con riego, y la diferencia de la biomasa de sus raíces fue notablemente pequeña (figura 1). Estos resultados confirman la tolerancia del maguey a la disponibilidad limitada de humedad, pues en las zonas de distribución natural esta especie permanece entre dos y seis meses (de noviembre a abril) con precipitación media menor a los 10 mm (2). Los resultados del presente estudio coinciden parcialmente con los de Sánchez-Urdaneta *et al.* (7), quienes evaluaron el efecto del  $\Psi_A$  del sustrato en el crecimiento de la raíz de plántulas de maguey, en condiciones de laboratorio; los citados autores determinaron que la longitud de la raíz se mantuvo sin cambio significativo con  $\Psi_A$  de  $-2,35$  MPa, respecto al  $\Psi_A$  equivalente a capacidad de campo.

El contenido medio de clorofila incrementó a lo largo de las hojas independientemente de la edad, ubicación en la planta y condición de hidratación; así, el ápice puede contener hasta el doble de clorofila que la base de la hoja. La proporción me-

dia de clorofila tipo *a* en las hojas de maguey fue 1,84 veces mayor que la tipo *b* (figura 2). El incremento de clorofila en el tejido fresco, al final de los tres ciclos de suspensión del riego, fue cercano a 100%. Resultados parcial-

mente similares fueron obtenidos en *Opuntia ficus-indica*, especie con metabolismo fotosintético MAC similar al maguey, después de dos ciclos de 30 d de sequía intermitente, equivalentes a los del presente estudio, el

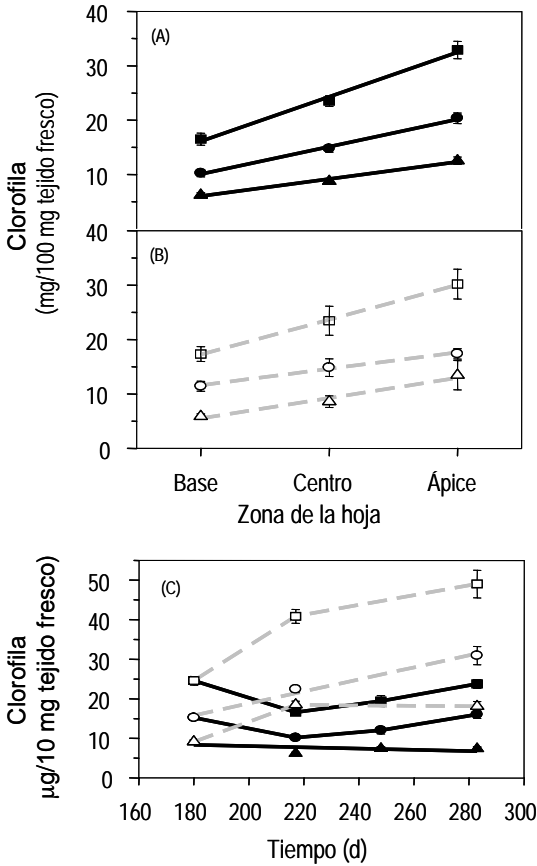
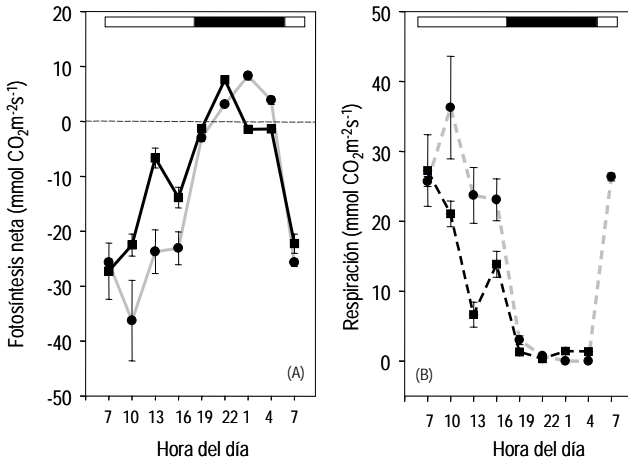


Figura 2. Clorofila *a* (●, ○), *b* (<sup>2</sup>%, △) y total (■, □) en tres zonas de las hojas de plántulas de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) de 6 meses de edad, con riego (A; ●, ○, ■;  $\Psi_A$  medio del suelo de -0,39 MPa) y tres meses de sequía (B; ○, △, □;  $\Psi_A$  medio del suelo al final de los periodos sin riego de -1,60 MPa) interrumpidos por dos riegos a saturación de campo, y en dependencia del tiempo (C) con riego (líneas continuas) y sequía intermitente (líneas discontinuas).

contenido de clorofila incrementó significativamente (1). La estabilidad de la clorofila en el maguey puede tomarse como evidencia de que el déficit de humedad no generó daños severos, o quizá generó modificaciones, en la "maquinaria" fotosintética del maguey que le permiten expresar su tolerancia al déficit de agua, pues en condiciones menos severas y períodos menores en los que las plantas de maguey permanecieron sin riego, las plantas anuales con metabolismo fotosintético tipo C3 y C4 son dañadas drásticamente (4).

Las plántulas mostraron el metabolismo fotosintético tipo CAM, con un período nocturno breve (< 8 h, entre las 19 h y 5 h) de incorporación de CO<sub>2</sub>. El metabolismo CAM se presen-

tó con y sin riego; pero, la falta de humedad redujo a 4 h el período de incorporación neta de CO<sub>2</sub>, entre las 19 y 23 h. La tasa respiratoria predominó sobre fijación de CO<sub>2</sub> tanto en las plántulas con riego como sin él (figura 3). El efecto del déficit de humedad en la tasa de fijación de CO<sub>2</sub> en maguey parece común entre algunas especies CAM; ya que, resultados similares a la reducción neta de la tasa fotosintética y del período nocturno en el que se lleva a cabo la fijación de CO<sub>2</sub> obtenidos en maguey fueron documentados en *O. ficus-indica* cuando la humedad del suelo disminuyó por suspensión del riego durante 180 días, continuos o interrumpidos por un riego a los 60 d (6).



**Figura 3.** Efecto de 60 días de sequía ( $\Psi_A$  medio del suelo al final del mes de  $-1,60$  MPa) interrumpida por dos riegos a saturación de campo ( $\Psi_A$  medio del suelo de  $-0,39$  MPa) después de los primeros 30 días, en la tasa de incorporación neta de CO<sub>2</sub> (A) y tasa respiratoria (B) de plántulas de maguey de 6 meses de edad. Riego (●) y sequía intermitente (■). Las barras blancas y negras en la zona superior de la figura representan las horas con luz y oscuridad, respectivamente, durante el día.

## Conclusiones

Las plántulas de maguey, de 6 meses de edad, toleran la sequía discontinua por más de 100 días, interrumpida sólo por dos riegos cada

30 días, y la sequía de los primeros 30 días estimula el crecimiento de las plántulas, respecto a las mantenidas con riego.

## Literatura citada

1. Aguilar, B., G., C. B. Peña V. 2006. Alteraciones fisiológicas provocadas por sequía en nopal (*Opuntia ficus-indica*). Revista Fitotecnia Mexicana 29: 231-237.
2. Aguirre, R., J.R., H. Charcas S., J.L. Flores F. 2001. El Maguey Mezcalero Potosino. COPOCYT, UASLP. San Luis Potosí, México. 87 p.
3. Inskeep, W.P. y P.R. Bloom. 1985. Extinction coefficients of chlorophyll *a* and *b* in N,N-dimethylformamide and 80 % acetone. Plant Physiology 77: 483-485.
4. Irizar-Garza, M. B.G. y C.B. Peña-Valdivia. 2000. Chlorophyll and photosynthetic oxygen evolution in water-stressed triticale (*Tricosecale wittmack*) and wheat (*Triticum aestivum* L.) during vegetative stage. Cereal Research Communication 28: 387-394.
5. Nobel, P. S. 2001. Ecophysiology of *Opuntia ficus-indica*. In: Mondragón-Jacobo, C., S. Pérez-González, E. Arias, S.G. Reynolds and M.D. Sánchez (Eds.). Cactus (*Opuntia* spp.) as Forage. FAO. 169. pp. 13-20.
6. Peña-Valdivia, C.B. y G. Aguilar B. 1999. Respuestas bioquímico-fisiológicas de *Opuntia ficus-indica* (L.) Millar (Cactaceae) a la sequía. Quaderni de Botanique Ambientale e Aplícate 10: 97-103.
7. Sánchez-Urdaneta, A.B. y C. B. Peña-Valdivia; J. Rogelio Aguirre R.; C. Trejo; E. Cárdenas. 2004. Efectos del potencial de agua en el crecimiento radical de plántulas de *Agave salmiana* Otto Ex Salm-Dyck. Interciencia 29: 626-631.