

## Efecto del potencial hídrico del suelo en el potencial osmótico y membranas celulares de nopalito (*Opuntia* spp.)

Soil water potential effect on osmotic potential and cellular membranes of Nopalito (*Opuntia* spp.)

M. García<sup>1</sup>, C. Peña-Valdivia<sup>2</sup>, L. Trejo<sup>2</sup>, S. Valle<sup>3</sup>,  
J. Corrales<sup>3</sup> y A. Sánchez-Urdaneta<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, km 36.5 Carretera México-Texcoco Montecillo, México. 56230

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

<sup>3</sup>Agroindustrias, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 56230

<sup>4</sup>Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía, Departamento de Botánica, Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

### Resumen

Los nopalitos son los cladodios jóvenes de la planta de nopal (*Opuntia* spp.), en México se consumen comúnmente como verdura y se ha demostrado su efecto positivo en la fisiología de los humanos. Los nopales son notablemente tolerantes al déficit de humedad y son modelo para estudios relacionados con la tolerancia a la sequía. Se evaluó el efecto del potencial de agua ( $\Psi_A$ ) del suelo en el potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) en el ejido y alteración de las membranas celulares (índice de daño,  $I_d$ ) en nopalitos de los cultivares Atlixco, Milpa Alta, Moradaza y Solferino, en condiciones de invernadero, durante dos meses. Se utilizó un diseño completamente al azar, con una planta como unidad experimental y seis repeticiones por tratamiento. El potencial osmótico decayó exponencialmente (de -0,24 a -1,50 MPa) con la disminución del  $\Psi_A$  del suelo (de -0,34 a -3,27 MPa). Con -3,27 MPa, el  $I_d$  varió entre los cultivares, desde 19,21 en Atlixco hasta 29,03% en Moradaza. Se concluye que los cambios del  $\Psi_s$  en los nopalitos, generado por la disminución de la humedad del suelo, es un parámetro fisiológico.

---

Recibido el 9-1-2007 • Aceptado el 30-4-2007

Autor para correspondencia e-mail: mayra@colpos.mx; cecilia@colpos.mx

gico que caracteriza la especie como tolerante a la sequía. La elevada tolerancia de *Opuntia* spp. al déficit de humedad en el suelo, por períodos relativamente prolongados, se expresa como cambios pequeños del  $\Psi_s$  y alteraciones mínimas en las membranas celulares.

**Palabras clave:** *Opuntia* spp., potencial de agua, potencial osmótico celular, restricción de humedad.

## Abstract

"Nopalitos" are the young cladodes of Nopal (*Opuntia* spp.) plant in México. They are commonly consumed as vegetables and it has been demonstrated that they have positive effect on the human physiology. Nopales are highly tolerant to water deficit and are a model for studies on drought tolerance. The effect of soil water potential ( $\Psi_w$ ) on the osmotic potential ( $\Psi_s$ ) and cellular membrane damage (index of damage,  $I_d$ ) in "nopalito" (*Opuntia* spp.) of Atlixco, Milpa Alta, Moradaza y Solferino cultivars in greenhouse conditions, during two months. A split plot design, with a plant as experimental unit and six replications per treatment were used. The osmotic potential diminished exponentially (from -0.24 to -1.50 MPa) with soil  $\Psi_w$  (from -0.34 to -3.27 MPa) reduction. The  $I_d$  fluctuated between cultivars, from 19.21 to 29.03%, in Atlixco and Moradaza, with -3.27 MPa. It is concluded that changes in nopalitos  $\Psi_s$ , induced by low soil humidity, is a physiological parameter which characterize the plant spice as drought tolerant. The high tolerance of *Opuntia* spp. to soil water deficit, during relatively long periods of time, is expressed as both short  $\Psi_s$  changes and minimal cellular membranes damage.

**Key words:** Cellular osmotic potential, *Opuntia* spp., water potential, water restriction.

## Introducción

Los nopalitos, tallos modificados o cladodios jóvenes de las plantas de nopal (*Opuntia* spp.) son consumidos como alimento desde épocas prehispánicas en México. Las plantas de género *Opuntia* crecen y producen, tanto nopalito como tunas (frutos), en regiones secas, con lluvia errática y suelos pobres sujetos a erosión (2). Por sus características fisiológicas y bioquímicas, como el metabolismo fotosintético del tipo ácido crasuláceo (MAC), los nopales pueden ser un

modelo para el estudio de los procesos de tolerancia al déficit de humedad, pues se ha documentado la supervivencia de plantas de dos años de edad sin aporte de humedad al suelo por varios meses (1).

Las membranas celulares han sido reconocidas como sitios de reacción a diversas condiciones bióticas (parásitos patógenos) y abióticas (déficit de humedad y nutrimentos, calor, frío, exceso de sales, entre otros) inductoras de estrés (6). Entre los

cambios membranales evaluados experimentalmente están las modificaciones en sus lípidos y actividades enzimáticas, las cuales son dependientes y, a la vez, repercuten en la integridad (regulación de la liberación del contenido celular) y propiedades fisicoquímicas de la propia membrana (3 y 6). La cuantificación de la conductividad eléctrica del medio de resuspensión de los tejidos ha sido utilizada para evaluar la integridad de las membranas (3, 4, 5 y 6). Además, entre las reacciones de las plantas al déficit de humedad está la acumulación de solutos, denominada ajuste osmótico, la que, a la vez, conduce a la disminución del potencial de agua total del tejido. Como resultado

de estos ajustes, las plantas pueden absorber agua y mantener la actividad fisiológica. La activa acumulación de solutos en la célula puede contribuir al mantenimiento del turgor y éste es prerequisite para que el crecimiento continúe durante el estrés hídrico (1).

El objetivo de esta investigación fue conocer el efecto de la disminución del potencial de agua del suelo ( $\Psi_A$ ) en el potencial osmótico ( $\Psi_S$ ) y alteración en las membranas celulares de los nopalitos (*Opuntia* spp.) de los cultivares Atlixco, Milpa Alta, Moradaza y Solferino en condiciones de invernadero y mantenidos con suspensión de riego por dos meses.

## Material y métodos

Se utilizaron los cultivares mexicanos de nopal (*Opuntia* spp.) Atlixco, Milpa Alta, Moradaza y Solferino. Doce plantas de un año de edad, de cada cultivar, obtenidas de cladodios plantados en macetas con 25 kg de suelo, se regaron dos veces por semana hasta que las yemas vegetativas (nopalitos) se desarrollaron y alcanzaron una longitud media de 8 a 10 cm. Las plantas fueron divididas en dos grupos iguales, uno continuó con el riego y al otro se le suspendió durante dos meses. Se muestreó un nopalito de cada unidad experimental cada 10 días. Se cuantificó el potencial osmótico  $\Psi_S$  (en un osmómetro Wescor 5520) del jugo celular extraído por compresión con una jeringa. La permeabilidad de las membranas y el índice de daño se cuantificaron con la

metodología descrita previamente (3, 4 y 5); la que consiste en cuantificar los cambios en la conductividad eléctrica del medio de resuspensión del tejido, en este caso de utilizaron círculos, de 3 cm de diámetro, de tejido del nopalito. Con base en la hipótesis de que la cantidad de electrolitos liberados es directamente proporcional al daño ocurrido en las membranas de los tejidos estresados, se calculó el índice de daño con la igualdad  $I_d$  (%) =  $((R_t - R_o)/(R_f - R_o)) 100$ ; donde,  $I_d$  es el índice de daño,  $R_t$  la conductividad eléctrica de medio de resuspensión del tejido estresado,  $R_o$  la conductividad eléctrica del medio de resuspensión del tejido no estresado (testigo) y  $R_f$  la conductividad eléctrica del medio de resuspensión no estresado después de haber sido congelado (para asegu-

rar la liberación total de electrolitos del tejido), según lo descrito previamente (3). Las determinaciones se realizaron en la base, centro y ápice de cada nopalito. En cada muestreo se tomó una muestra de suelo a 10 cm de la superficie de la maceta y se cuantificó su potencial de agua ( $\Psi_A$ ); para esto, las muestras se incubaron en cámaras psicrométricas (Wescon C-52, Inc, Utha, USA) por 4 a 6 h y después de este tiempo se determinó el  $\Psi_A$ , con un microvoltímetro (Wescon HR-33T, Inc, Utha, USA), conectado

a cada cámara, operado en el modo de punto de rocío (4 y 5).

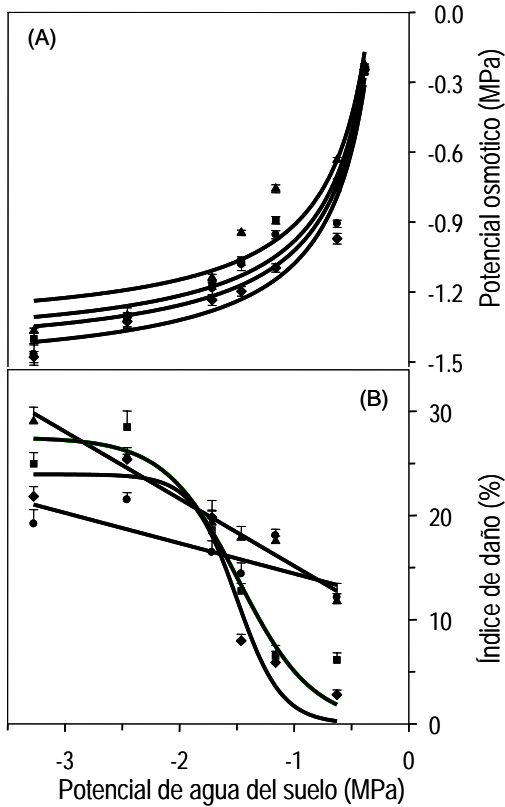
Se utilizó un diseño completamente al azar, con seis repeticiones y una planta como unidad experimental. Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey, con el paquete estadístico SAS, y la representación gráfica de los datos se realizó con el programa SigmaPlot de Jandel Scientific (versión 7,1), para computadora personal.

## Resultados y discusión

El  $\Psi_A$  del suelo durante los 60 días sin riego disminuyó de -0,39 a -3,30 MPa. En respuesta a la caída del  $\Psi_A$  del suelo el  $\Psi_S$  decayó exponencialmente, con diferencias pequeñas pero estadísticamente significativas entre los cultivares, desde -0,2424 MPa, en promedio, hasta -1,4790, -1,4679, -1,4015 y -1,3662 MPa en Atlixco, Milpa Alta, Moradaza y Solferino, respectivamente (figura 1 A). Este resultado indica que el ajuste osmótico en nopalito fue acelerado cuando el  $\Psi_A$  del suelo disminuyó alrededor de -1,7 MPa, pero la tasa de decaimiento se redujo significativamente a partir de este  $\Psi_A$  del suelo y hasta que alcanzó -3,30 MPa. Esta característica corresponde a las especies tolerantes a la deshidratación en oposición a las clasificadas como evasoras, pues desarrollan desde el inicio de la falta de humedad el ajuste osmótico, con lo que sobreviven a la sequía, ya que logran mantener la turgencia de los tejidos,

y sus estomas pueden permanecer abiertos (durante la noche en el caso de los nopales), aún con un gran déficit hídrico (1).

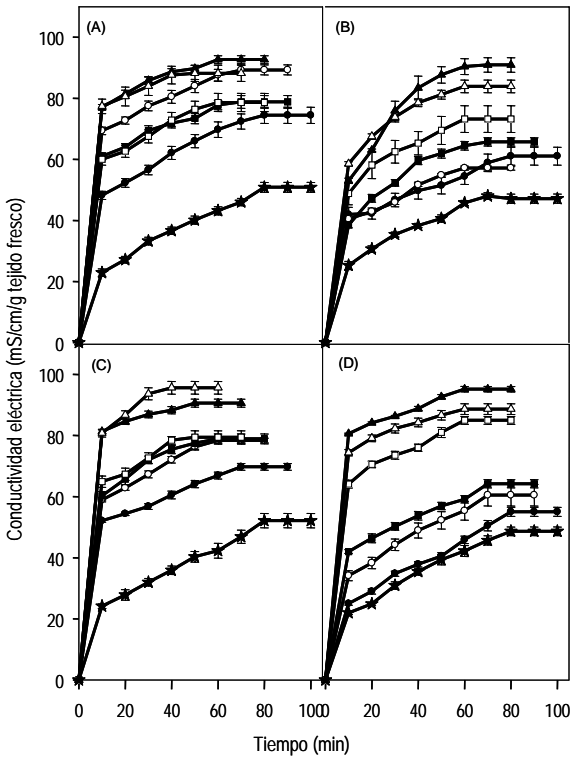
La salida de electrolitos de los tejidos de los nopalitos, de todos los tratamientos, mostró dos fases. La primera fue acelerada y breve, y se presentó en los primeros 10 min, y la segunda fase fue lenta y prolongada, con duración de entre 20 y 60 min, variable entre los cultivares de *Opuntia* y dependiente del  $\Psi_A$  del suelo (figura 2). La máxima liberación de electrolitos entre los tratamientos sin riego (hasta 79 mS/cm/g de tejido fresco) casi duplicó los valores generados por el tejido de los nopalitos sin restricción de humedad en el suelo. Lo anterior demostró que la disminución del  $\Psi_A$  del suelo, de -0,39 a -3,30 MPa, en un período de 60 días, afectó parcialmente las membranas celulares de los tejidos de los nopalitos, pero se mantuvo una proporción significativa de su integridad estructural y funcional, ya que el



**Figura 1. Potencial osmótico (A) e índice de daño (B) en las membranas celulares de nopalito *Opuntia* spp. dependientes del déficit de agua del suelo (●: Atlixco, ■: Milpa Alta, ▲: Moradaza y ○: Solferino).**

daño máximo que podría alcanzarse es equivalente a un  $I_d$  de 100%. Los resultados del presente estudio son parcialmente similares a los obtenidos con raíces de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck); con ellas, la liberación de electrolitos también se desarrolló en dos etapas (3, 4 y 5), como en los segmentos de nopalito. Además, la liberación de electrolitos de las raíces incrementó cuando las plántulas de frijol y maguey fueron transferidas por

24 horas a sustrato parcialmente deshidratado (con  $\Psi_A$  entre -0,65 y -2,35 MPa) y en algunos casos, como el del frijol domesticado (cv. Bayomex), la liberación neta de electrolitos, evaluada como conductividad eléctrica del medio de resuspensión del tejido, incrementó más del doble respecto a su testigo (4 y 5). Aunque en general, el efecto del sustrato deshidratado en la liberación de electrolitos al medio es similar entre las especies vegetales y los tejidos, la tolerancia de los nopales



**Figura 2.** Cambio de la conductividad eléctrica del medio de resuspensión, durante los primeros 90 min, de segmentos de nopalito *Opuntia* spp. de los cultivares mexicanos: Atlixco (A), Milpa Alta (B), Moradaza (C) y Solferino (D), en dependencia del potencial de agua del suelo ★: -0.39, ●: -0.63, ○: -1.16, ■: -1.46, □: -1.72, ▲: -2.46 y △ -3.3 MPa, con intervalos de 10 días) modificado por la suspensión de riego.

fue sobresaliente si se toma en cuenta que estas plantas permanecieron sin riego durante dos meses y el  $\Psi_A$  del sustrato alcanzó -3,30 MPa, mientras que las plántulas de frijol y maguey fueron evaluadas después de permanecer 24 h en sustrato con un  $\Psi_A$  mínimo de -2,35 MPa.

El  $I_d$  de los nopalitos de los cuatro cultivares incrementó con el déficit de humedad determinado como disminución de su  $\Psi_A$ . La disminución

del  $\Psi_A$  del suelo afectó diferentemente los cultivares de *Opuntia*, pues el cambio en Atlixco y Moradaza tuvo una tendencia lineal, mientras que en Milpa Alta y Solferino fue sigmoidal. Otra diferencia entre los cultivares fue el valor máximo de  $I_d$  alcanzado con el  $\Psi_A$  de -3,30 MPa del suelo, pues varió desde 19,21% en Atlixco hasta 29,03% en Moradaza (figura 1 B). Los resultados del  $I_d$  confirmaron la tolerancia de las plantas de *Opuntia* spp.

al déficit de humedad del suelo; pues, se han documentado valores de  $I_d$  de entre 35 y 36% en raíz de plántulas de frijol domesticado y silvestre y

maguey después de permanecer sólo 24 h en un sustrato con  $\Psi_A$  de -2,35 MPa (4 y 5).

## Conclusiones

El cambio del  $\Psi_s$  en los nopalitos, generado por la disminución de la humedad del suelo, es un parámetro fisiológico que caracteriza la especie como tolerante a la sequía. La elevada tolerancia de *Opuntia* spp.

al déficit de humedad en el suelo, por períodos relativamente prolongados, se expresa como cambios pequeños del potencial osmótico y alteraciones mínimas en las membranas celulares.

## Literatura citada

1. Loveys, B.R., M. Stoll y W.J. Davies. 2004. Physiological approaches to enhance water use efficiency in agriculture: exploiting plant signalling in novel irrigation practice. In: Water use efficiency in plant biology (ed. Mark A. Bacon). Blackwell Publishing Ltd., London, UK. pp. 113-141
2. Peña-Valdivia, C.B. y A.B. Sánchez U. 2006. Nopalito and cactus pear (*Opuntia* spp.) Polysaccharides: Mucilage and Pectin. *Acta Horticulturae* 728: 241-247.
3. Prášil, I. and J. Zámečník. 1998. The use of a conductivity measurement method for accessing freezing injury. I. Influence of leakage time, segment number, size and shape in a sample on evaluation of the degree of injury. *Environmental and Experimental Botany* 40: 1-10.
4. Sánchez-Urdaneta, A.B., C.B. Peña-Valdivia, C. Trejo, J. Rogelio Aguirre R., E. Cárdenas y A.B. Galicia J. 2003. Permeabilidad de las membranas radicales de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado bajo déficit de humedad. *Interciencia* 28: 597-603.
5. Sánchez-Urdaneta, A.B., C.B. Peña-Valdivia, J. Rogelio Aguirre R., C. Trejo y 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.
6. Shewfelt, R.L. 1992. Response of plant membrane to chilling and freezing. In: Plant membrane. Leshem, Y. Y., R. L. Shewfelt, C. M. Wilcomer, and O. Pantoja (Ed.). Kluwer, London. pp: 192- 219.