

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants
Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado
Z

Title Paper/Título del artículo:

Seasonal water relations in four native plants from northeastern Mexico

Relaciones hídricas estacionales en cuatro plantas nativas del noreste de México

Authors/Autores: Filio-Hernández E., González-Rodríguez H., Domínguez-Gómez T. G., Ramírez-Lozano R. G., Cantú-Silva I., Alvarado María Del Socorro.

.ID: e605

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.06.01.38>

Received/Fecha de recepción: December 15th 2018.

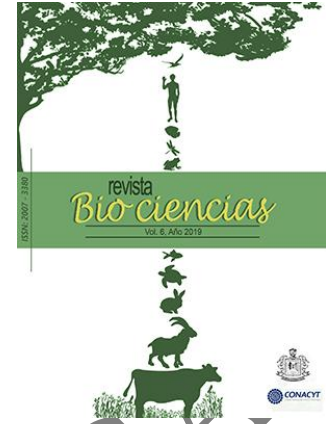
Accepted /Fecha de aceptación: July 9th 2019.

Availableonline/Fecha de publicación: August 7st 2019.

Please cite this article as/Citra como: Filio-Hernández E., González-Rodríguez H., Domínguez-Gómez T. G., Ramírez-Lozano R. G., Cantú-Silva I., Alvarado María Del Socorro. (2019). Coliforms bacteria, fungi and aflatoxins detection in medicinal herbs marketed in Nayarit, Mexico. Revista Bio Ciencias 6 e605 <https://doi.org/10.15741/revbio.06.01.38>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.



Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

Relaciones hídricas estacionales en cuatro plantas nativas del noreste de México Seasonal water relations in four native plants from northeastern Mexico

Filio-Hernández E.²; González-Rodríguez H.²; Domínguez-Gómez T. G.^{1*}; Ramírez-Lozano R. G.^{3†}; Cantú-Silva I.²; Alvarado María Del Socorro.⁴

¹Instituto Tecnológico de El Salto. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Mesa del Tecnológico S/N. 34942, El Salto, Durango, México. Tel (+52) 443 202 94 86.

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Carr. Nac. No. 85, km 145, 67700. Linares, Nuevo León, México.

³Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. Ave. Pedro de alba S/N. Cruz con ave. Manuel L. Barragán. 67700, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

⁴Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carr. a La Victoria km 0.6, Hermosillo, 83304, Sonora, México.

*Autor de correspondencia: (gustavo_dguezg@hotmail.com)

ARTICULO EN PRENSA

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

RESUMEN

En la vida de las plantas, el déficit hídrico es frecuente, ya que la disponibilidad hídrica es el primer factor limitante del crecimiento y del rendimiento de las plantas. El presente estudio relaciona el contenido de agua del suelo, los componentes de la demanda evaporativa (temperatura del aire, humedad relativa y déficit de presión de vapor) y precipitación con el potencial hídrico en especies arbóreas y arbustivas nativas del noreste de México: *Prosopis laevigata* (Fabaceae), *Cordia boissieri* (Boraginaceae), *Helietta parvifolia* (Rutaceae) y *Karwinskia humboldtiana* (Rhamnaceae). Los potenciales hídricos se determinaron antes del amanecer y al mediodía entre agosto y octubre de 2016 a intervalos de 15 días. Los valores máximos y mínimos estacionales antes del amanecer fluctuaron entre -1.29 MPa (*C. boissieri*) y -5.10 MPa (*H. parvifolia*). Al mediodía, variaron de -1.53 MPa (*P. laevigata*) a -4.0 MPa (*K. humboldtiana*). Los potenciales antes del amanecer y al mediodía mostraron correlaciones significativas con el contenido de agua en el suelo. En cambio, se observó una relación negativa con la temperatura del aire y el déficit de presión de vapor. Sobre una base diaria, las especies mostraron un patrón típico de variación en el potencial hídrico diario, donde disminuyeron de los valores máximos antes del amanecer y alcanzó valores mínimos al mediodía. Este patrón se asoció a los componentes de demanda evaporativa como son el déficit de presión de vapor, humedad relativa y la temperatura. Con una disponibilidad de agua baja en el suelo, *P. laevigata* podría ser la especie más tolerante a la sequía, ya que mostró un menor estrés hídrico en comparación con las especies restantes.

PALABRAS CLAVE: *Prosopis laevigata*, demanda evaporativa, estrés hídrico, potencial hídrico, sequía.

ABSTRACT

In the life of plants, water deficit is frequent, because availability of water is the first limiting factor of plant growth and yield. The present study related soil water content and evaporative demand components (air temperature, relative humidity and vapor pressure deficit) and precipitation with water potential in trees and shrubs of native species from northeastern Mexico: *Prosopis laevigata* (Fabaceae), *Cordia boissieri* (Boraginaceae),

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

Helietta parvifolia (Rutaceae), and *Karwinskia humboldtiana* (Rhamnaceae). Water potentials were determined between August and October 2016 at 15 days-intervals at predawn and midday. Maximum and minimum seasonal predawn values ranged from -1.29 MPa (*C. boissieri*) to -5.10 MPa (*H. parvifolia*). At midday, it varied from -1.53 MPa (*P. laevigata*) to -4.0 MPa (*K. humboldtiana*). Water potentials at predawn and midday showed significant correlations with soil water content. In contrast, a negative relationship was observed with air temperature and vapor pressure deficit. On a diurnal basis, the species showed a typical pattern of variation in diurnal water potential, where it decreased from maximum values at predawn and reached minimum values at noon. This pattern was associated to evaporative demand components such as vapor pressure deficit, relative humidity, and temperature. Under low soil water availability, *P. laevigata* appeared to be the most drought tolerant species, since it showed less water stress compared to the remaining species.

KEYS WORDS: *Prosopis laevigata*, evaporative demand components, water deficit, water potential, drought.

Introducción

Actualmente, el estudio de las regiones áridas y semiáridas es de gran importancia, debido a que en estas existen condiciones ambientales adversas como la sequía que limitan el crecimiento, producción y sobrevivencia de árboles y arbustos nativos. Un cambio constante del clima a largo de los años dentro de estas zonas ha propiciado a que se presenten sequías extremas, causando un déficit hídrico en el suelo, y a su vez, un estrés hídrico en las plantas (Fleta-Soriano & Munné-Bosch, 2016). Bajo estas condiciones, las plantas experimentan un descenso en sus potenciales hídricos en respuesta a la menor disponibilidad de agua en el suelo, lo que repercute negativamente en su actividad fisiológica y fotosintética (Peña-Rojas *et al.*, 2018) reflejando una disminución de producción en biomasa (Attia *et al.*, 2015).

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

En la región semiárida de las planicies del noreste de México, una marcada heterogeneidad climática, ha propiciado que exista una gran diversidad especies de plantas (arbóreas y arbustivas), deciduas y perennes, las cuales presentan diversos patrones de crecimiento, así como distinta longevidad foliar y fenología muy variada (González-Rodríguez *et al.*, 2016). En este sentido, las especies arbóreas y arbustivas que coexiste en el Matorral Espinoso Tamaulipeco (TTS) han desarrollado mecanismos de adaptación como: dimensión y longevidad foliar, morfología, dimensión y densidad de estomas, abscisión de folíolos, pubescencia foliar, cutícula gruesa y cerosa, disminución en el potencial osmótico y resistencia al flujo de agua (González-Rodríguez *et al.*, 2016). Dichas características les han permitido a las plantas tener la capacidad de minimizar la pérdida de agua por transpiración (Striker, 2012), permitiéndoles mantener el estado hídrico de sus tejidos (Donoso *et al.*, 2015). Lo anterior, es clave para que las especies arbóreas y arbustivas nativas en el noreste de México, a causa del déficit hídrico y altas temperaturas (Warren *et al.*, 2011), presenten mecanismos fisiológicos de adaptación (González-Rodríguez *et al.*, 2016), como la disminución del potencial hídrico foliar a medida que disminuye la disponibilidad de agua en el suelo hasta el mantenimiento de este por encima de un umbral (Sánchez-Salguero *et al.*, 2015). Así, la regulación del potencial hídrico foliar es uno de los mecanismos que ha determinado la capacidad de las plantas para sobrevivir en este tipo de regiones (Fleta-Soriano & Munné-Bosch, 2016).

Estudios llevados a cabo por González-Rodríguez *et al.* (2004, 2011a, 2016) y González-Rodríguez *et al.* (2018), han tratado de relacionar directamente el potencial hídrico (estado hídrico) que presentan las especies nativas en respuesta a las variables en el ambiente durante los periodos de sequía en la región noreste de México, para entender su respuesta ecofisiológica en presencia de déficit hídrico en el suelo. En dichos estudios, se han determinado a *Celtis pallida*, *Forestiera angustifolia* y *Parkinsonia texana* como especies más tolerantes al déficit hídrico. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar el estado hídrico de cuatro especies de plantas nativas (*Cordia boissieri*, *Prosopis laevigata*, *Helietta parvifolia* y *Karwinskia humboldtiana*) y su relación con la temperatura, humedad relativa, déficit de presión de vapor, contenido de humedad del suelo y precipitación. Estas especies son de importancia forrajera, forestal, medicinal

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

y principalmente ecológica en el TTS. Los resultados obtenidos serán clave para determinar que especies nativas son más tolerantes a la sequía y poder recomendar su establecimiento en plantaciones forestales, reforestaciones o en obras de conservación.

Material y Métodos

La presente investigación se realizó en el área experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, localizada en las coordenadas 24°46'43" NL y 99°31'39" WL, la cual presenta una elevación de 370 msnm. El clima es subtropical (Cfa) y semiárido (BSh), con presencia de lluvias entre los meses de abril a noviembre y un periodo de sequía (canícula) donde se presentan temperaturas hasta de 45°C. En general, la temperatura promedio mensual varía de 12.5°C a 26.0°C. La precipitación acumulada anual es de 800 mm. El tipo de suelo para la profundidad 0-40 cm es arcilloso limoso, con 0.9 g·cm⁻³ de densidad aparente, 7.60 de pH, 0.14 dS m⁻¹ de conductividad eléctrica, 6.1 % de materia orgánica y 46.7 cmol·Kg⁻¹ de capacidad de intercambio catiónico (Yáñez-Díaz *et al.*, 2017). La retención hídrica (kg H₂O·kg⁻¹ suelo; media ± desviación estándar, n=3) del suelo a capacidad de campo (0.03 MPa) y punto de marchitez permanente (1.5 MPa) a una profundidad de 0-50 cm es de 0.3055 ± 0.009 y 0.1901 ± 0.0033, respectivamente, ha sido previamente documentada por (González-Rodríguez *et al.*, 2004). La vegetación predominante en el sitio de estudio es el Matorral Espinoso Tamaulipeco (González-Medrano, 2004).

Se seleccionaron cuatro especies, dos arbóreas (*Cordia boissieri* A. DC o Anacahuita (Boraginaceae) y *Prosopis laevigata* Humb & Bonpl. ex Will M.C. Johnst o Mezquite (Fabaceae)) y dos arbustivas (*Heliopsis parvifolia* A. Gray ex Hemsl Benth o Barreta (Rutaceae) y *Karwinskia humboldtiana* Schult Zucc o Coyotillo (Rhamnaceae)). Las mediciones del potencial hídrico (Ψ_H , MPa) para las cuatro especies, se realizaron en intervalos de 15 días del 1 de agosto al 28 de octubre del 2016 a las 06:00 horas (antes del amanecer, Ψ_{Ham}) y a las 14:00 horas (mediodía, Ψ_{Hmd}). Dichas mediciones se efectuaron en campo entre 10 y 15 segundos, muestreando y cortando una ramilla terminal (<0.5 cm de diámetro) (Krug, 2017), con hojas totalmente expandidas de la parte media de la copa de cada individuo. La duración de la determinación del potencial hídrico para las cuatro especies en los dos diferentes horarios varió de 10 a 20 minutos

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

dependiendo la época de muestreo. El potencial hídrico se determinó usando la cámara de presión de Scholander (Modelo 3005, SoilMoisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, EE.UU), en la cual fue utilizado gas nitrógeno (N_2) de alta pureza como fuente de presurización (Ritchie & Hinckley, 1975).

La temperatura ($^{\circ}C$), humedad relativa (%) y precipitación (mm) para cada fecha de muestreo, se obtuvieron de la estación meteorológica del área experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL. Las variables temperatura del aire y la humedad relativa se utilizaron para calcular el déficit de presión de vapor (DPV, kPa) (Rosenberg *et al.*, 1983). Para el contenido gravimétrico de humedad en el suelo (%) en cada fecha de muestreo, se extrajeron muestras de suelo al azar dentro de la parcela establecida a profundidades de: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 y 40-50 cm; para ello, se utilizó una barreta tipo Veihmeyer (Modelo 215, Soilmoisture Equipment Corp.). Las muestras de suelo fueron depositadas en crisoles de aluminio debidamente etiquetados, los cuales fueron trasladados en una hielera de poliestireno para evitar que las muestras absorbieran o perdieran humedad. El contenido gravimétrico de humedad en el suelo se determinó mediante el secado de la muestra del suelo en una estufa de aire forzado (Modelo 16EG, Gravity Convection Oven) a $105^{\circ}C$ por 72 horas hasta alcanzar peso constante (Taylor & Ashcroft, 1972). En cada fecha de muestreo para cada profundidad, se utilizaron cuatro repeticiones para determinar el contenido de humedad en el suelo. Adicionalmente, se tomaron muestras de suelos para la determinación de las propiedades fisicoquímicas (AOAC, 1997) a una profundidad de 0-20 y 20-40 cm, para evaluar la densidad aparente ($Mg \cdot m^{-3}$) y algunas propiedades químicas como el pH, conductividad eléctrica ($\mu S \cdot cm^{-1}$), contenido de materia orgánica (%), carbono orgánico (%) y concentración de macro y microelementos ($mg \cdot kg^{-1}$ de suelo). En la Tabla 1, se presentan las determinaciones físicas y químicas del suelo, realizadas al inicio del estudio, considerando cuatro repeticiones.

Para detectar diferencias significativas en el Ψ_{Ham} y en el Ψ_{Hmd} entre las especies y el contenido de humedad del suelo a diferentes profundidades, los datos se sometieron a pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas de acuerdo con los procedimientos de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk y Levene (Brown & Forsythe, 1974). Dado que la mayoría de los muestreos no mostraron normalidad ni homogeneidad de varianzas, se

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($p \leq 0.05$) para detectar diferencias significativas entre las especies para el Ψ_{HAM} y el Ψ_{Hmd} durante cada fecha de muestreo. Los datos del contenido gravimétrico de humedad en el suelo a diferentes profundidades, fueron sometidos a un análisis de varianza bajo un diseño experimental con un criterio de clasificación para detectar ($p \leq 0.05$) diferencias significativas (Ott, 1993). Para evaluar la relación del Ψ_{HAM} y el Ψ_{Hmd} con la temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, contenido gravimétrico de humedad en el suelo y déficit de presión de vapor, se efectuó el análisis de correlación de Spearman (r_s). Todos los procedimientos estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, version 13.0 para Windows. SPSS Inc., IL, USA).

Resultados y Discusión

La amplia variabilidad de las condiciones ambientales que se presentaron durante el periodo de muestreo en diferentes fechas durante el periodo se debió principalmente a la heterogeneidad climática típica de la región semiárida de la parte noreste de México (González-Rodríguez *et al.*, 2011a). En este sentido, se presentó una temperatura y una humedad relativa antes del amanecer (06:00 h) para la fecha más húmeda (Sep-30) de 20.0°C y 96 %, respectivamente, mientras para la fecha más seca (Ago-01), la temperatura fue de 23.2°C y humedad relativa de 80 % (Figura 1). Por otro lado, al mediodía (14:00 h), durante la fecha más húmeda, la temperatura y humedad relativa registradas fueron de 27.6°C y 73.0 %, respectivamente. En cambio, en el periodo más seco, se registró una temperatura de 38.4°C y una humedad relativa de 30.0 % (Figura 1). La precipitación para la fecha húmeda fue de 385.4 mm, la cual se encuentra por encima de la reportada por González-Rodríguez *et al.* (2016). Dichos autores registraron para la fecha de muestreo más húmeda 295 mm, mientras que la fecha más seca registraron solo 0.2 mm (Figura 1), la cual se coincide con lo registrado por González-Rodríguez *et al.* (2018), los cuales reportan valores de 0.4 mm.

Para el contenido de humedad en el suelo, de las siete fechas de muestreo realizadas, sólo tres (Ago-15, Sep-02 y Sep-30) presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los diferentes perfiles de profundidad del suelo (Tabla 2). Los valores más altos en el contenido de humedad fueron registrados en Sep-30 (fecha más húmeda), donde el perfil

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

de 0-10 cm y 10-20 cm alcanzaron valores de 31.9 % y 24.6 %, respectivamente (Figura 2), siendo los más responsivos a los eventos de precipitación. Esta respuesta se debió a que este perfil tiene un suelo franco-arcilloso-limoso que cuenta con una capacidad alta de almacenamiento de agua (Shaxson & Barber, 2005), en combinación con un alto contenido de materia orgánica (altos contenidos de carbono y nitrógeno) y baja conductividad eléctrica (Yáñez-Díaz *et al.*, 2017), el cual permitió la disponibilidad de agua para el sistema radicular superficial de las cuatro especies estudiadas, propiciando la recuperación del Ψ_H . Por el contrario, durante la fecha más seca (Ago-01), los perfiles de 0-10 cm y 10-20 cm mostraron un contenido de humedad de 12 % y 10 %, respectivamente, lo que pudo estar influenciado por las altas temperaturas, baja precipitación pluvial y una alta demanda evaporativa (González-Rodríguez *et al.*, 2016), lo que influyó en una baja disponibilidad de agua en el suelo para las raíces de las especies estudiadas, lo que indució una disminución del Ψ_H . Los contenidos de humedad se asemejan a los reportados por González-Rodríguez *et al.* (2018) en estudios realizados en el TTS, donde dichos autores reportaron para los perfiles anteriormente mencionados durante la fecha más seca valores de 10 % y 14 %, respectivamente.

De las siete fechas de muestreo realizadas, cinco de ellas mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el potencial hídrico antes del amanecer entre las especies estudiadas (Tabla 2). En general, el Ψ_{Ham} osciló de -1.3 MPa (*C. boissieri*) a -5.1 MPa (*H. parvifolia*). Durante la fecha más húmeda (Sep-30), el Ψ_{Ham} máximo fue de -1.4 MPa (*H. parvifolia*) y el mínimo de -1.8 MPa (*P. laevigata*) (Figura 3). En relación con la fecha más seca (ago-01), el Ψ_{Ham} más alto (-2.1 MPa) y más bajo (-5.1 MPa) fueron detectados en *P. laevigata* y *H. parvifolia*, respectivamente (Figura 3).

Con respecto al Ψ_{Hmd} , diferencias significativas ($p \leq 0.05$) fueron detectadas entre las especies evaluadas en dos fechas de muestreo (Tabla 2). En relación con el comportamiento del Ψ_{Hmd} , los valores fluctuaron de -1.5 MPa (*P. laevigata*) a -4.0 MPa (*K. humboldtiana*). Durante la fecha más húmeda (sep-30), el Ψ_{Hmd} varió de -1.7 (*H. parvifolia*) a -2.1 MPa (*C. boissieri*) (Figura 4); durante la fecha más seca, el máximo fue de -2.9 MPa y el mínimo de -4.6 MPa para *P. laevigata* y *K. humboldtiana*, respectivamente (Figura 4).

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

Los potenciales hídricos durante la fecha de muestreo más húmeda para *H. parvifolia* y *C. boissieri* fueron bajos en relación con los observados por González-Rodríguez *et al.* (2001) en las mismas especies establecidas en una plantación, lo que pudo haber significado esta diferencia del Ψ_H , es debido a que no existía competencia por el recurso hídrico en el suelo entre más especies (Meinzer *et al.*, 2014). Los Ψ_H durante la época de sequía indicaron que *H. parvifolia*, *K. humboldtiana* y *C. boissieri* se encontraban sometidas a un estrés hídrico, comportándose como especies anisohídricas (Meinzer *et al.*, 2014), evitando, tal vez, el cierre estomático, mostrando potenciales hídricos muy bajos en condiciones de limitada disponibilidad de agua en el suelo, altos valores de déficit de presión de vapor y baja humedad relativa en el ambiente (Urli *et al.*, 2013). Así mismo, lo anterior puede indicar que las especies anteriormente mencionadas pueden mostrar un sistema radicular superficial que impida absorber agua de perfiles de suelo profundos (Shao *et al.*, 2008). En este sentido, con un bajo contenido de humedad en el suelo, el menor Ψ_H (-5.1 MPa), se presentó en *H. parvifolia*, debido a que su sistema radicular es superficial, alcanzando profundidades no mayores a 40 cm (González-Rodríguez & Cantú-Silva, 2001); en cambio, el mayor Ψ_H (-2.1 MPa), se presentó en *P. laevigata* debido a que esta especie presenta una sistema de raíz pivotante y profunda, que puede alcanzar hasta 80 m de profundidad, que le permitió posiblemente, absorber agua de perfiles de suelo más profundos (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014).

Los Ψ_H antes del amanecer mostraron diferencias entre especies y fecha de muestreo (más húmeda y más seca). En este sentido, los Ψ_H fluctuaron de -1.3 MPa a -5.1 MPa, respectivamente. Estos valores se encontraron por debajo de los observados por González-Rodríguez *et al.* (2016) en un estudio de potenciales hídricos en plantas nativas del noreste de México, presentando valores que fluctuaron de -0.30 MPa a -3.94 MPa en la fecha de muestreo más húmeda y más seca, respectivamente. Por lo anterior, se puede inferir que, durante el estudio realizado por dichos autores, las condiciones ambientales fueron menos estresantes para las especies estudiadas ya que presentaron un menor estrés hídrico. Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio se asemejan a los obtenidos por González-Rodríguez *et al.* (2011a) donde los potenciales fluctuaron de -0.7 MPa a -4.5 MPa. Resultados similares a los valores de los potenciales para las especies antes mencionadas han sido observados de igual manera

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

por González-Rodríguez *et al.* (2011b), en especies arbustivas tales *Acacia amentacea* Benth. (Leguminosae, arbusto de hoja caduca; hojas compuestas micrófilas), *Celtis pallida* Torr. (Ulmaceae; arbusto espinoso de hoja perenne, ovalada y de bordes lisos), *Forestiera angustifolia* Torr. (Oleaceae, arbusto de hoja perenne con ramas rígidas y densas) y *Parkinsonia texana* (A. Gray) S. Watson var. *Macra*. En algunas fechas de muestreo se detectaron que los Ψ_{Hmd} fueron mayores que el Ψ_{Ham} (Figura 3 y 4). Dicho comportamiento se observó en *H. parvifolia*, *K. humboldtiana*, *C. boissieri* (ago-15) y en *P. laevigata* (oct-14). Lo anterior está relacionado con el cierre estomático de las hojas para evitar la pérdida de agua por transpiración (Meinzer *et al.*, 2014), o por un desajuste entre el potencial hídrico del suelo antes del amanecer y el del tejido vegetal (hojas y xilema) causado por la acumulación de solutos (Donovan *et al.*, 2003), las cuales son mecanismos típicos que tienen las plantas que enfrentan a bajos contenidos de humedad en el suelo y condiciones ambientales extremas (Meinzer *et al.*, 2014). Resultados similares han sido descritos por González-Rodríguez *et al.* (2016), quienes reportan un comportamiento similar en *Celtis ehrenbergiana*, *Acacia amentacea*, *Parkinsonia texana* y *Forestiera angustifolia*.

Derivado del análisis de correlación de Spearman (r_s) ($n=28$), para el Ψ_{Ham} y el Ψ_{Hmd} con las variables ambientales, el Ψ_{Ham} mostró una correlación significativa positiva con los contenidos de humedad del suelo en cuatro profundidades (10-20, 20-30, 30-40 y 40-50 cm) y con la precipitación (Tabla 3). En el caso del Ψ_{Hmd} , se apreció una correlación significativa y positiva con el contenido de humedad del suelo en las cinco profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 y 40-50 cm). En cambio, la temperatura del aire y el déficit de presión de vapor, mostró una correlación significativa negativa y una correlación positiva y significativa con la humedad relativa. Por último, el Ψ_{Hmd} mostró una correlación negativa con la precipitación (Tabla 3). Solo el Ψ_{Hmd} de las especies estudiadas, estuvo fuertemente influenciado por el déficit de presión de vapor cuyos valores fluctuaron de 1.0 kPa a 4.7 kPa. Indicando que, para esta hora de medición, el déficit de presión de vapor influyó en la variación de los potenciales hídricos en las especies estudiadas. Los resultados obtenidos difieren a lo observado por González-Rodríguez *et al.* (2011a, 2016) en especies del noreste de México como *Acacia berlandieri*, *Acacia rigidula*, *Eysenhardtia texana*, *Diospyros texana*, *Randia rhagocarpa* y *Bernardia myricaefolia*,

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

Bumelia celastrina y *Condalia hookeri*, donde se reporta que existe una relación significativa y negativa tanto del Ψ_{Ham} como el Ψ_{Hmd} con la temperatura del aire y el déficit de presión de vapor.

De acuerdo con los Ψ_H de las cuatro especies estudiadas, *P. laevigata* es ejemplo de una especie arbórea que se ha adaptado a la baja disponibilidad de agua en el suelo, cuya evidencia fue que presentó potenciales altos durante las diferentes fechas de muestreo. Por tanto, se puede argumentar que esta especie, como algunas otras especies, presenta una reducida área foliar y una sensibilidad estomática alta, lo que provoca el cierre de sus estomas, las cuales se consideran estrategias de evasión a la sequía que les permite reducir la pérdida de agua para evitar o reducir la desecación de sus tejidos (Luna-Flores *et al.*, 2012; Jaleel *et al.*, 2009); de esta manera, *P. laevigata* puede ser considerada como especie isohídrica, capaz de ser tolerante al déficit hídrico, mientras que la adaptación de las especies *H. parvifolia*, *K. humboldtiana* y *C. boissieri*, con el medio adverso, aparentemente dependen de estrategias similares que les permite hacer frente a la desecación de sus tejidos (Fleta-Soriano & Munné-Bosch, 2016), lo que pudo haber significado que los potenciales hídricos de estas especies fueran más bajos. Por último, es importante resaltar que este tipo de investigaciones son necesarias debido a que se han reportado casos de muertes de bosques debido a los cambios climáticos extremos en el ambiente (Urli *et al.*, 2013), por lo que es necesario contar con antecedentes de especies capaces de resistir o tolerar condiciones adversas como las sequías extremas que les permita crecer, sobrevivir y reproducirse para mantener la cobertura vegetal de las regiones áridas y semiáridas, y mantener los servicios ecosistémicos.

Conclusiones

Durante la fecha de muestreo más seca, *H. parvifolia*, *K. humboldtiana* y *C. boissieri* presentaron valores en sus potenciales hídricos menores, indicando que estas especies se encontraban bajo un estrés hídrico adverso, teniendo desventaja fisiológica en momentos de sequía, lo que puede inducir, en gran medida, el no presentar sobrevivencia de individuos de estas especies, impactando en su establecimiento dentro del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

El alto contenido de humedad en el suelo, al igual que las variables ambientales durante las diferentes fechas de muestreo, fueron responsables del incremento del Ψ_{Ham} y el Ψ_{Hmd} de *H. parvifolia*, *K. humboldtiana* y *C. boissieri*, indicando que estas especies son dependientes de altos contenidos de humedad en el suelo. Con estas condiciones ambientales, estas especies pueden ser utilizadas en actividades de dasonomía urbana con ayuda de riegos de auxilio, que les permita mantenerse hidratadas favoreciendo su crecimiento y desarrollo.

Prosopis laevigata parece ser una especie más resistente a la sequía ya que sus potenciales antes del amanecer como al mediodía, no variaron significativamente en cada fecha de muestreo, manteniendo su potencial estable en relación con las variables ambientales prevalecientes. Esta especie puede ser utilizada en actividades de reforestación, restauración, hábitat para fauna silvestre o manejo holístico de pastizales dentro del manejo de la ganadería extensiva o intensiva dentro de las regiones áridas y semiáridas.

Agradecimientos

Al Ing. Joel Bravo Garza y al Sr. Manuel Hernández Charles por la asistencia técnica. Así mismo, a la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL por haber proporcionado las instalaciones y equipo para llevar a cabo el estudio. Esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Proyecto SEP-CONACYT, clave 250732).

Referencias

- AOAC. (1997). Official methods of analysis, sixteenth edition. Washington, DC. Association of Official Analytical Chemists.
- Attia, Z., Domec, J. C., Oren, R., Way, D. A. and Moshelion, M. (2015). Growth and physiological responses of isohydric and anisohydric poplars to drought. *Journal of Experimental Botany*, 66(14): 4373-4381. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv195>

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

- Brown, M. B. and Forsythe, A. B. (1974). Robust tests for the equality of variances. *Journal of the American Statistical Association*, 69(343): 364-367. <https://doi.org/10.1080/01621459.1974.10482955>
- Donoso, S., Peña-Rojas, K., Pacheco, C., Durán, S., Santelices, R. and Mascaro, C. (2015). The physiological and growth response of *Acacia caven* under water stress and the application of different levels of biosolids. *Ciencia e Investigación Agraria*, 42(2): 273-283. <https://new.rcia.uc.cl/index.php/rcia/article/view/1516>
- Donovan, L. A., Richards, J. H., and Linton, M. J. (2003). Magnitude and mechanism of disequilibrium between predawn plant and soil water potentials. *Ecology*, 84(02): 463-470. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2003\)084\[0463:MAMODBJ2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[0463:MAMODBJ2.0.CO;2)
- Fleta-Soriano, E. and Munne-Bosch, S. (2016). Stress memory and the inevitable effects of drought: a physiological perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7: 143. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00143>
- González-Medrano, F. (2004). Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2^{da} ed. México, D.F. 82 pp. <http://files.bajateraignota.webnode.mx/200000062-e6ba2e7b42/Las%20comunidades%20vegetales%20de%20M%C3%A9xico,%20Francisco%20Medrano.pdf>
- González-Rodríguez, H. & Cantú-Silva, I. (2001). Adaptación a la sequía de plantas arbustivas del matorral espinoso tamaulipeco. *CIENCIA UANL*, 5(4): 454-461. <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=40240411>
- González-Rodríguez, H., Cantú Silva, I., Gómez Meza, M. V., and Ramírez Lozano, R. G. (2004). Plant water relations of thornscrub shrub species, northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments*, 58(4): 483-503. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2003.12.001>
- González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I., Ramírez-Lozano, R. G., Gomez-Meza, M. V., Sarquís-Ramírez, J. I., Coria-Gil, N., Cervantes-Montoya, J. R. and Maiti, R. K. (2011a). Xylem water potentials of native shrubs from northeastern Mexico. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Plant Soil Science*, 61(3): 214-219. <https://doi.org/10.1080/09064711003693211>

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

- González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I., Ramírez-Lozano, R. G., Gómez-Meza, M. V., Pando-Moreno, M. and López-Hernández J. M. (2011b). Potencial hídrico xilemático de cuatro especies arbustivas nativas del noreste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17: 97-109. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.080>
- González-Rodríguez, H., Dueñas Tijerina, H., Cantú Silva, I., Cotera Correa, M., Ramírez Lozano, R. and López Hernández, J. (2018). Relaciones hídricas en arbustos nativos del noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50): 122-139. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.229>
- González-Rodríguez, H., Himmelsbach, W., Sarquís-Ramírez, J. I., Cantú-Silva, I., Ramírez-Lozano, R. G. and López-Hernández, J. M. (2016). Seasonal water relations in four co-existing native shrub species from Northeastern Mexico. *Arid Land Research and Management*, 30(4): 375-388. <https://doi.org/10.1080/15324982.2015.1133726>
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(1): 100-105. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.323.1932&rep=rep1&type=pdf>
- Krug, J. H. (2017). Adaptation of *Colophospermum mopane* to extra-seasonal drought conditions: site-vegetation relations in dry-deciduous forests of Zambezi region (Namibia). *Forest Ecosystems*, 4(1): 25. <https://doi.org/10.1186/s40663-017-0112-0>
- Luna-Flores, W., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J. M. and Pinzón-López, L. L. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*, 30(4): 343-353. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57325814006>
- Meinzer, F. C., Woodruff, D. R., Marias, D. E., McCulloh, K. A. and Sevanto, S. (2014). Dynamics of leaf water relations components in co-occurring iso- and anisohydric

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

- conifer species. *Plant, Cell and Environment*, 37(11): 2577-2586.
<https://doi.org/10.1111/pce.12327>
- Ott, L. (1993). An introduction to statistical methods and data análisis. 2nd Edn. Duxbury Press. Boston, MA, USA. 173 pp.
- Peña-Rojas, K., Donoso, S., Gangas, R., Durán, S. and Ilabaca, D. (2018). Efectos de la sequía en las relaciones hídricas, crecimiento y distribución de biomasa en plantas de *Peumus boldus* Molina (Monimiaceae) cultivadas en vivero. *Interciencia*, 43(1): 36-42. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/150443>
- Ritchie, G. A. and Hinckley, T. M. (1975). The pressure chamber as an instrument for ecological research. *Advances in Ecological Research*, 9: 165-254.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60290-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60290-1)
- Rodríguez-Sauceda, E. N., Rojo Martínez, G. E., Ramírez Valverde, B., Martínez Ruiz, R., Cong Hermida, M. D. L. C., Medina Torres, S. M. and Piña Ruiz, H. H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 10(3): 173-193.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46131111013>
- Rosenberg, N. J., Blad, B. L. and Verma, S. B. (1983). Microclimate; the biological environment. 2nd ed. John Wiley and Sons. New York, NY, USA, 495 pp.
- Sánchez-Salguero, R., Ortiz, C., Covelo, F., Ochoa, V., Garcia-Ruiz, R., Seco, J., Carreira J. A., Merino J.A. and Linares, J. (2015). Regulation of water use in the southernmost European fir (*Abies pinsapo* Boiss.): Drought avoidance matters. *Forests*, 6(6): 2241-2260. <https://doi.org/10.3390/f6062241>
- Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel C. A. and Zhao, C. X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3): 215-225.
<https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.01.002>
- Shaxson, F. and Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal, el significado de la porosidad del suelo. Boletín de Suelo de la FAO. Roma, Italia. 105 p. <http://www.fao.org/3/a-y4690s.pdf>
- Striker, G. G. (2012). Time is on our side: the importance of considering a recovery period when assessing flooding tolerance in plants. *Ecological Research*, 27(5): 983-987.
<https://doi.org/10.1007/s11284-012-0978-9>

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

- Taylor, S. A. and Ashcroft, G. L. (1972) Physical Edaphology. The physics of irrigated and non-irrigated soils. W.H. Freeman. San Francisco, CA, USA. 533 pp.
- Urli, M., Porté, A. J., Cochard, H., Guengant, Y., Burlett, R. and Delzon, S. (2013). Xylem embolism threshold for catastrophic hydraulic failure in angiosperm trees. *Tree Physiology*, 33(7): 672-683. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpt030>
- Warren, J. M., Pötzelsberger, E., Wullschlegel, S. D., Thornton, P. E., Hasenauer, H. and Norby, R. J. (2011). Ecohydrologic impact of reduced stomatal conductance in forests exposed to elevated CO₂. *Ecohydrology*, 4(2): 196-210. <https://doi.org/10.1002/eco.173>
- Yáñez-Díaz, M. I., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., Marmolejo-Monsiváis, J. G., Jurado, E. and Gómez-Meza, M. V. (2017). Respiración del suelo en cuatro sistemas de uso de la tierra. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(42): 123-149. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i42.22>

ARTICULO EN PENSAMIENTO

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

Table 1. Physical and chemical properties of soil determined at 0-20 cm and 20-40 cm depth in the study site.

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del suelo realizadas a la profundidad de 0-20 y 20-40 cm, en el sitio de estudio.

Item	Profile depth	
	0-20 cm	20-40 cm
Sand (g kg ⁻¹)	250.75	91.50
Silt (g kg ⁻¹)	500.00	520.00
Clay (g kg ⁻¹)	250.25	389.50
Bulk density (Mg m ⁻³)	0.93	1.10
pH (CaCl ₂ ; 0.01 M)	6.75	7.02
EC (μS cm ⁻¹)	128.51	103.03
Organic matter (%)	6.79	3.22
C (%)	3.94	1.87
N (%)	0.43	0.18
Ca (mg kg ⁻¹ dry soil)	7981.99	7811.06
K (mg kg ⁻¹ dry soil)	213.03	102.54
Mg (mg kg ⁻¹ dry soil)	271.00	134.35
P (mg kg ⁻¹ dry soil)	4.74	2.63
Cu (mg kg ⁻¹ dry soil)	0.36	0.74
Zn (mg kg ⁻¹ dry soil)	1.36	0.58
Fe (mg kg ⁻¹ dry soil)	3.59	4.88
Mn (mg kg ⁻¹ dry soil)	10.60	26.54

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

Table 2. *F* and *p* values from the analysis of variance for soil water content at different soil depths, and χ^2 and *p* values of the Kruskal-Wallis test corresponding to predawn (Ψ_{Ham}) and midday (Ψ_{Hmd}) water potential among studied species at different sampling dates.

Tabla 2. Valores *F* y *p* de los resultados del análisis de la varianza para el contenido de humedad en el suelo entre las diferentes profundidades y valor de χ^2 y de *p* de la prueba de Kruskal-Wallis para el potencial hídrico antes del amanecer (Ψ_{Ham}) y al mediodía (Ψ_{Hmd}) entre las especies en cada fecha de muestreo.

Time (Month- Day; 2016)	Gravimetric soil water content		Ψ_{Ham}		Ψ_{Hmd}	
	<i>F</i> Value	<i>p</i> Value	χ^2	<i>p</i> Value	χ^2	<i>p</i> Value
Aug-01	0.127	0.970	9.315	0.025	3.240	0.356
Aug-15	32.019	<0.001	10.331	0.016	5.735	0.125
Sep-02	3.694	0.028	8.237	0.041	2.769	0.429
Sep-15	0.842	0.520	14.462	0.002	6.883	0.076
Sep-30	54.695	<0.001	2.888	0.409	2.222	0.528
Oct-14	1.943	0.155	6.429	0.093	9.629	0.022
Oct-28	0.716	0.594	15.448	0.001	12.122	0.007

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

Table 3. Spearman correlation coefficients (n=28) for predawn (Ψ_{HAM}) and midday (Ψ_{HMD}) water potential in relation with prevailing environmental conditions.

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Spearman (n=28) para el potencial hídrico antes del amanecer (Ψ_{HAM}) y al mediodía (Ψ_{HMD}) en relación con las variables ambientales prevalecientes.

Variable	Correlation
Water potential before sunrise Ψ_{HAM}	
Gravimetric soil water content	
Depth of 0-10 cm	0.418 ^{ns}
Depth of 10-20 cm	0.770 ^{***}
Depth of 20-30 cm	0.729 ^{***}
Depth of 30-40 cm	0.748 ^{***}
Depth of 40-50 cm	0.774 ^{***}
Air temperature	-0.506 ^{ns}
Relative humidity	0.367 ^{ns}
Vapor pressure deficit	-0.281 ^{ns}
Precipitation	0.711 ^{***}
Water potential at noon Ψ_{HMD}	
Gravimetric soil moisturewater content	
Depth of 0-10 cm	0.498 ^{**}
Depth of 10-20 cm	0.826 ^{***}
Depth of 20-30 cm	0.764 ^{***}
Depth of 30-40 cm	0.819 ^{***}
Depth of 40-50 cm	0.860 ^{***}
Air temperature	-0.708 ^{***}
Relative humidity	0.670 ^{***}
Vapor pressure deficit	-0.820 ^{***}
Precipitation	-0.781 ^{***}

NS=not significant $p \geq 0.05$; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

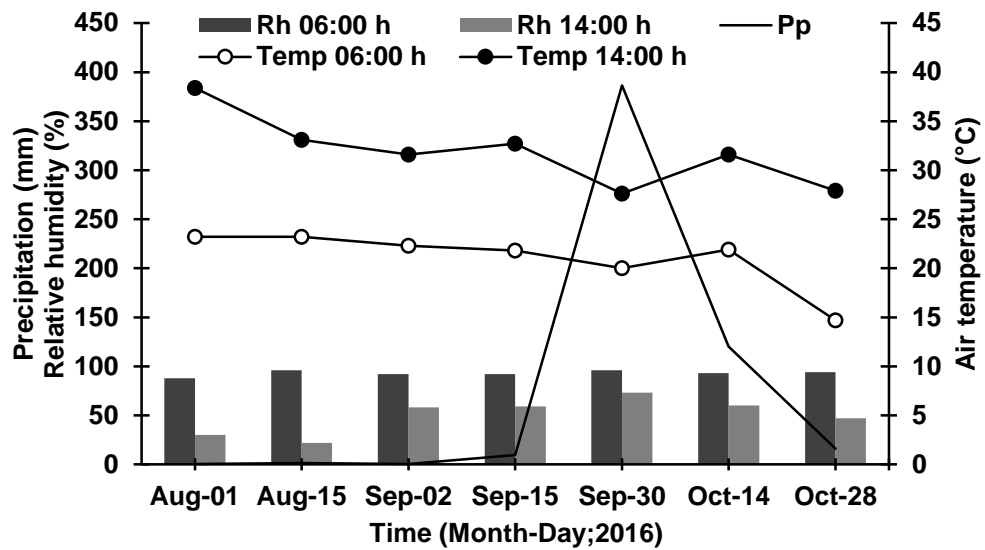


Figure 1. Relative humidity (Rh), air temperature (Temp) at 6:00 h and 14:00 h, and precipitation (Pp) at different sampling dates.

Figura 1. Humedad relativa (HR), temperatura del aire (TEMP) a las 06:00 h y 14:00 h, y precipitación (PP) en diferentes fechas de muestreo.

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

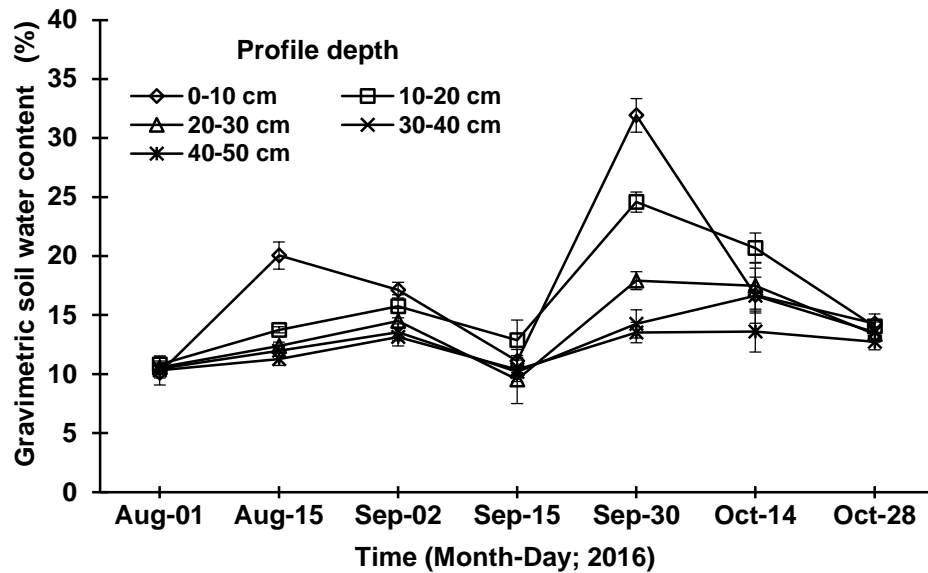


Figure 2. Gravimetric soil water content at five depths (cm) at different sampling dates. Plotted values represent the mean \pm standard error of mean (n=4).

Figura 2. Contenido gravimétrico de la humedad en el suelo en cinco profundidades (cm) en diferentes fechas de muestreo. Los valores graficados representan la media \pm error estándar de la media (n=4).

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

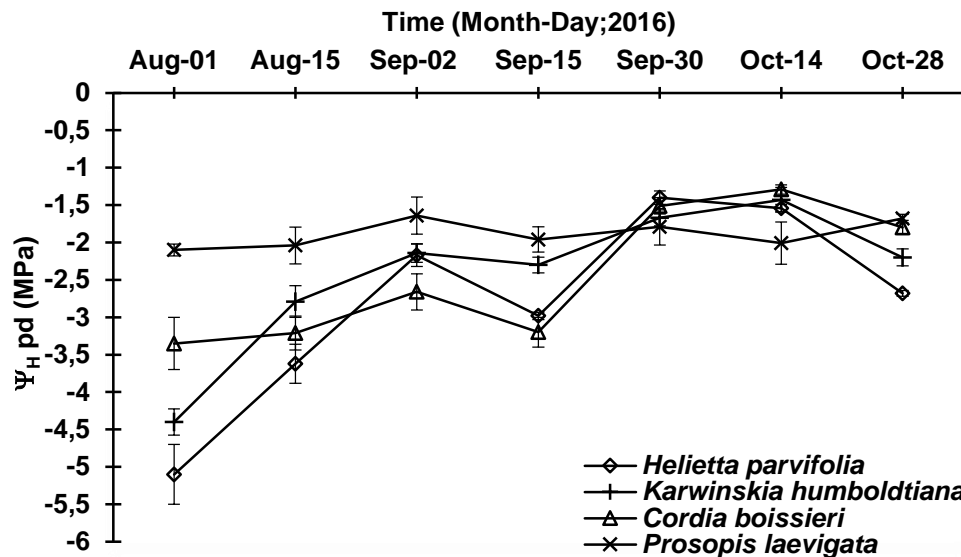


Figure 3. Predawn (Ψ_{HAM} : 06:00 h) water potential in four native plant species, determined at different sampling dates. Plotted values represent the mean \pm standard error of mean (n=5).

Figura 3. Potencial hídrico antes del amanecer (Ψ_{HAM} : 06:00 h) en cuatro especies de plantas nativas determinado en diferentes fechas de muestreo. Los valores graficados representan la media \pm error estándar de la media (n=5).

Relaciones hídricas en plantas/Water relations in plants

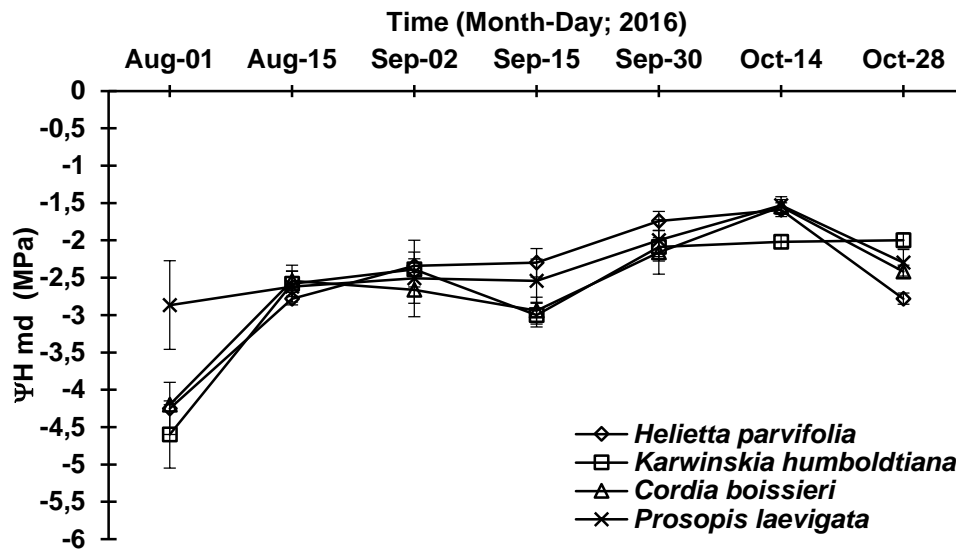


Figure 4. Midday (Ψ_{Hmd} : 14:00 h) water potential in four native plant species, determined at different sampling dates. Plotted values represent the mean \pm standard error of mean (n=5).

Figura 4. Potencial hídrico al mediodía (Ψ_{Hmd} : 14:00 h) en cuatro especies de plantas nativas determinado en diferentes fechas de muestreo. Los valores graficados representan la media \pm error estándar de la media (n=5).