

*Original Article/Artículo Original*

## Seasonal water relations in four native plants from northeastern Mexico.

### Relaciones hídricas estacionales en cuatro plantas nativas del noreste de México.

Filio-Hernández E.<sup>2</sup> ; González-Rodríguez H.<sup>2</sup>; Domínguez-Gómez T. G.<sup>1\*</sup>; Ramírez-Lozano R. G.<sup>3†</sup>; Cantú-Silva I.<sup>2</sup>; Alvarado M. Del S.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de El Salto. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Calle Tecnológico 101, Col. La Forestal. C.P. 34942, El Salto, Durango, México.

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

<sup>3</sup>Universidad 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.

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

**Cite this paper/Como citar este artículo:** Filio-Hernández E.; González-Rodríguez H.; Domínguez-Gómez T. G.; Ramírez-Lozano R. G.; Cantú-Silva I.; Alvarado M. Del S. (2019). Seasonal water relations in four native plants from northeastern Mexico. *Revista Bio Ciencias* 6, e605. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e605>



#### 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), *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

#### Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: December 15<sup>th</sup> 2018.

Accepted/Aceptado: July 9<sup>th</sup> 2019.

Available on line/Publicado: August 7<sup>th</sup> 2019.

#### 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

#### \*Corresponding Author:

Domínguez-Gómez, T. G. Instituto Tecnológico de El Salto. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Calle Tecnológico 101, Col. La Forestal. C.P. 34942, El Salto, Durango, México. Phone: +52(443) 202 9486. E-mail: [gustavo\\_dquezg@hotmail.com](mailto:gustavo_dquezg@hotmail.com)

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.

---

## KEY WORDS

---

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

---

## Introduction

Currently, the study of dry and semiarid regions is of great importance, since adverse environmental conditions exist in these regions, such as drought, that limits the growth, production and survival of native trees and shrubs. A constant change of climate throughout years in these areas has fostered the incidence of extreme drought, causing a water deficit in the soil, and, in turn, a water stress in plants (Fleta-Soriano & Munné-Bosch, 2016). Under these conditions, plants experience a decrease in their water potentials in response to the lower water availability in the soil, negatively affecting its physiological and photosynthetic activity (Peña-Rojas *et al.*, 2018) and reflecting a production reduction in biomass (Attia *et al.*, 2015).

In the semiarid region of flatlands in northeastern Mexico, a marked climatic heterogeneity has favored the existence of a huge diversity of plant species (trees and shrubs), deciduous and evergreen, which present diverse growth patterns, as well as distinct foliar longevity and very varied phenology (González-Rodríguez *et al.*, 2016). In this sense, trees and shrubs species coexisting in Tamaulipan thornscrub (TTS) have developed adaptation mechanisms, such as: foliar dimension and longevity; morphology; stomata dimension and density; leaflets abscission; foliar pubescence; thick and waxy cuticle, reduction in osmotic potential and resistance to water flow (González-Rodríguez *et al.*, 2016). These characteristics

diurno, 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.

---

## 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).

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 (MET) 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

have allowed plants to be able to minimize water loss by evapotranspiration (Striker, 2012), allowing them to maintain tissue water status (Donoso et al., 2015). The above mentioned is essential for native trees and shrubs species in northeastern Mexico to present adaptation physiological mechanisms (González-Rodríguez et al., 2016), because of water deficit and high temperatures (Warren et al., 2011), such as the reduction of foliar water potential as water availability decreases in soil until it is maintained over a threshold (Sánchez-Salguero et al., 2015). Therefore, the regulation of foliar water potential is one of the mechanisms that determines plants' ability to survive in this type of regions (Fleta-Soriano & Munné-Bosch, 2016).

Studies performed by González-Rodríguez et al. (2011a, 2011b, 2016 and 2018), have attempted to directly link water potential (water status) presented by native species in response to environmental variables during drought periods in northeastern Mexico, in order to understand their ecophysiological response in presence of water deficit in the soil. In these studies, *Celtis pallida*, *Forestiera angustifolia* and *Parkinsonia texana* have been determined as the most tolerant species to water deficit. Thus, the objective of the present study was to determine the water status of four native plant species (*Cordia boissieri*, *Prosopis laevigata*, *Helietta parvifolia* and *Karwinskia humboldtiana*) and its relation with temperature, relative humidity, vapor pressure deficit, soil water content and precipitation. These species are of forage, forestry, medical and mainly ecological importance in TTS. Obtained results will be essential to determine which native species are more tolerant to drought and to be able to recommend their establishment in forestry plantations, reforestations or conservation works.

## Material and Methods

The present research was performed in the experimental area of the Faculty of Forestry Sciences of the Autonomous University of Nuevo León, located at the coordinates 24°46'43" NL and 99°31'39" WL, which present an elevation of 370 masl. The climate is subtropical (Cfa) and semiarid (BSh), with presence of rains between the months from April to November and a drought period (heat wave) where temperatures can reach 45 °C; generally, average monthly temperature vary from 12.5 °C to 26.0 °C. Accumulated annual precipitation is of 800 mm. The type of soil for 0-40 cm depth is clayey silty, with an apparent density of 0.9 g·cm<sup>-3</sup>, pH of 7.60, an electrical conductivity

(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. (2011a, 2011b, 2016 y 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 y principalmente ecológica en el MET. 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" N y 99°31'39" O, 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<sup>-3</sup> de densidad aparente, 7.60 de pH, 0.14 dS m<sup>-1</sup>

of 0.14 dS·m<sup>-1</sup>, an organic matter content of 6.1 % and a cationic exchange capacity of 46.7 cmol·kg<sup>-1</sup> (Yáñez-Díaz *et al.*, 2017). Soil water retention (kg H<sub>2</sub>O·kg<sup>-1</sup> soil; average ± standard deviation, n=3) at a field capacity (-0.03 MPa) and permanent wilting point (-1.5 MPa) at a 0-50 cm depth is 0.3055 ± 0.009 and 0.1901 ± 0.0033, respectively, as previously documented by González-Rodríguez *et al.* (2004). Predominant vegetation in the study area is the Tamaulipan thornscrub (TTS) (González-Medrano, 2004).

Four species were selected, two trees (*Cordia boissieri* A. DC or Anacahuita (Boraginaceae) and *Prosopis laevigata* Humb & Bonpl. ex Will M.C. Johnst or Mezquite (Fabaceae)) and two shrubs (*Helietta parvifolia* A. Gray ex Hemsl Benth or Barreta (Rutaceae) and *Karwinskia humboldtiana* Schult Zucc or Coyotillo (Rhamnaceae)). Four representative individuals (repetitions) were randomly identified per species, in an established plot of 2,500 m<sup>2</sup>, without diseases or mechanical damages (Krug, 2017). Water potential measurement (Ψ<sub>h</sub>, MPa) for the four species were realized in 15 days-intervals from August 1<sup>st</sup> to October 28<sup>th</sup> of 2016 at 06:00 a.m. (predawn, Ψ<sub>h,am</sub>) and at 2:00 p.m. (midday, Ψ<sub>h,md</sub>). These measurements were realized in the field between 10 and 15 seconds, sampling and cutting a terminal twig (<0.5 cm of diameter) (Krug, 2017), with totally expanded leaves from the medium part of the top of each individual. The duration of the determination of water potential for the four species in both times varied from 10 to 20 minutes depending on sampling season. Water potential was determined using a Scholander pressure chamber (Model 3005, SoilMoisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA), in which highly pure nitrogen gas (N<sub>2</sub>) was used as a pressurization source (Ritchie & Hinckley, 1975).

Temperature (°C), relative humidity (%) and precipitation (mm) for each sampling date were obtained from the meteorological station of the experimental area of the Faculty of Forestry Sciences of UANL. Air temperature and relative humidity variables were used to calculate vapor pressure deficit (VPD, kPa) (Rosenberg *et al.*, 1983). For the gravimetric soil water content (%) in each sampling date, soil samples were randomly extracted inside of the established plot at depth of: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 and 40-50 cm; for it, a Veihmeyer type split barrel (Model 215, Soilmoisture Equipment Corp.) was used. Soil samples were placed in properly

de conductividad eléctrica, 6.1 % de materia orgánica y 46.7 cmol·Kg<sup>-1</sup> de capacidad de intercambio catiónico (Yáñez-Díaz *et al.*, 2017). La retención hídrica (kg H<sub>2</sub>O·kg<sup>-1</sup> 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 (*Helietta parvifolia* A. Gray ex Hemsl Benth o Barreta (Rutaceae) y *Karwinskia humboldtiana* Schult Zucc o Coyotillo (Rhamnaceae)). Las mediciones del potencial hídrico (Ψ<sub>h</sub>, 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<sub>h,am</sub>) y a las 14:00 horas (mediodía, Ψ<sub>h,md</sub>). 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 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<sub>2</sub>) de alta pureza como fuente de presurización (Ritchie & Hinckley, 1975).

La temperatura (°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 en 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

labelled aluminum melting pot, which were transported in a polystyrene ice bucket to prevent samples from absorbing or losing humidity. Gravimetric soil water content was determined by means of drying soil sample in a forced air oven (16EG, Gravity Convection Oven) at 105 °C for 72 hours until reaching a constant weight (Taylor & Ashcroft, 1972). In each sampling date for each depth, four repetitions were used to determine soil water content. In addition, soil samples were taken to determine physico-chemical properties (AOAC, 1997) at a depth of 0-20 and 20-40 cm, to evaluate apparent density ( $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) and some chemical properties such as pH, electrical conductivity ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), organic matter content (%), organic carbon (%) and macro and microelements concentration ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  of soil). Soil physical and chemical determinations are presented in Table 1, realized at the beginning of the study, considering four repetitions.

To detect significant differences in  $\Psi_{\text{H,am}}$  and  $\Psi_{\text{H,md}}$  among species and soil water content at different depths, data were submitted to normality and variance homogeneity tests according to procedures of Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk and Levene (Brown & Forsythe, 1974). Since most of the samplings did not present neither normality nor variance homogeneity, Kruskal-Wallis non parametric test was used ( $P \leq 0.05$ ) to detect significant differences among species and for  $\Psi_{\text{H,am}}$  and  $\Psi_{\text{H,md}}$  during each sampling date. Data of gravimetric soil water content at different depth were submitted to an analysis of variance under an experimental design with a classification criterion to detect ( $P \leq 0.05$ ) significant differences (Ott, 1993). In order to evaluate the relation of  $\Psi_{\text{H,am}}$  and  $\Psi_{\text{H,md}}$  with air temperature, relative humidity, precipitation, gravimetric soil water content and vapor pressure deficit, an analysis of Spearman correlation ( $r_s$ ) was realized. All statistic procedures were realized with SPSS statistic software (Statistical Package for the Social Sciences, version 13.0 para Windows. SPSS Inc., IL, USA).

## Results and Discussion

The wide variability of environmental conditions which occurred in different dates during the sampling period was mainly due to the climatic heterogeneity typical of a semiarid region of northeastern Mexico (González-Rodríguez *et al.*, 2011a). In this sense, a

suelo en una estufa de aire forzado (Modelo 16EG, Gravity Convection Oven) a 105 °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 ( $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) y algunas propiedades químicas como el pH, conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), contenido de materia orgánica (%), carbono orgánico (%) y concentración de macro y microelementos ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  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  $\Psi_{\text{H,am}}$  y en el  $\Psi_{\text{H,md}}$  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 utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ( $p \leq 0.05$ ) para detectar diferencias significativas entre las especies para el  $\Psi_{\text{H,am}}$  y el  $\Psi_{\text{H,md}}$  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  $\Psi_{\text{H,am}}$  y el  $\Psi_{\text{H,md}}$  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

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

temperature and relative humidity were higher before predawn (06:00 h) for the most wet sampling date (September 30<sup>th</sup>) of 20.0 °C and 96 %, respectively, while for the driest sampling date (August 1<sup>st</sup>), temperature was 23.2 °C and relative humidity 80 % (Figure 1). On the other hand, at midday (2:00 p.m.), during the most wet sampling date, registered temperature and relative humidity were 27.6 °C and 73.0 %, respectively. In turn, in the driest period, a temperature of 38.4 °C and a relative humidity of 30.0 % were registered (Figure 1). Precipitation for the wet sampling date was 385.4 mm, which is above the one reported by González-Rodríguez *et al.* (2016). These authors documented 295 mm for the most wet sampling date, while the driest sampling date registered only 0.2 mm (Figure 1), which coincide with what González-Rodríguez *et al.* (2018) reported, whose reported values of 0.4 mm.

Fort soil water content, from the seven realized sampling dates, only tree (August 15<sup>th</sup>, September 2<sup>nd</sup>

%, 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

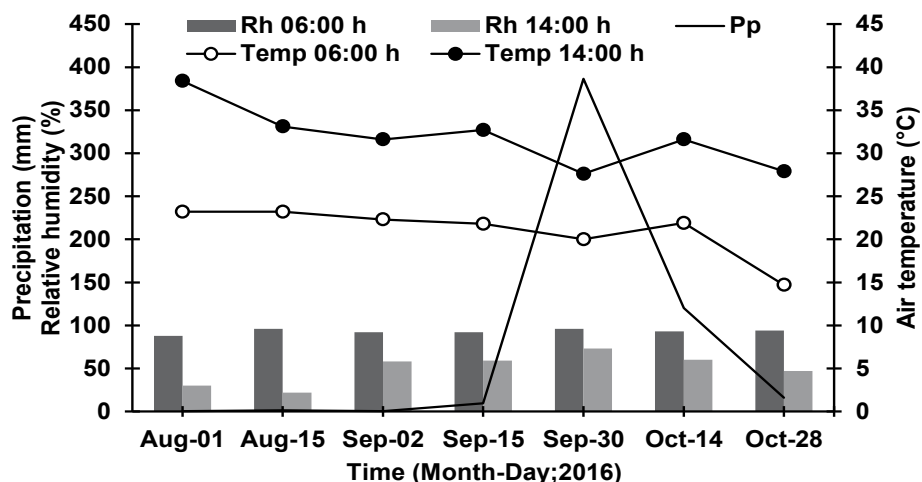


Figure 1. Relative humidity (Rh), air temperature (Temp) at 6:00 h and 14:00 h, and precipitation (Pp) at different sampling dates.

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.

Table 2.

F and p values from the analysis of variance for soil water content at different soil depths, and  $\chi^2$  and p values of the Kruskal-Wallis test corresponding to predawn ( $\Psi_{H,am}$ ) and midday ( $\Psi_{H,md}$ ) 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  $\chi^2$  y de p de la prueba de Kruskal-Wallis para el potencial hídrico antes del amanecer ( $\Psi_{H,am}$ ) y al mediodía ( $\Psi_{H,md}$ ) entre las especies en cada fecha de muestreo.

Time (Month- Day; 2016)	Gravimetric soil water content		$\Psi_{H,am}$		$\Psi_{H,md}$	
	F Value	p Value	$\chi^2$	p Value	$\chi^2$	p 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

and September 30<sup>th</sup>) presented significant differences ( $p \leq 0.05$ ) among the different depth profiles of the soil (Table 2). The highest values in water content were registered on September 30<sup>th</sup> (the most wet sampling date), where profiles of 0-10 cm and 10-20 cm reached values of 31.9 and 24.6 %, respectively (Figure 2), being the most responsive to precipitation events. This response was due to the fact that this profile presents a silty-clay-loam soil counting with a high capacity of water storage (Shaxson and Barber, 2005), in combination with a high organic matter content (high carbon and nitrogen contents) and low electrical conductivity (Yáñez-Díaz *et al.*, 2017), which allow water availability for the superficial radicular system of the four studied species, fostering  $\Psi_H$  recuperation. On the contrary, during the driest sampling date (August 1<sup>st</sup>), profiles of 0-10 cm and 10-20 cm showed a water content of 12 % and 10 %, respectively, which could be influenced by high temperatures, low precipitations and a high evaporative demand (González-Rodríguez *et al.*, 2016), influencing a low water availability in soil for the roots of the studied species, inducing a reduction in  $\Psi_H$ . Water contents are similar to those reported by González-Rodríguez *et al.* (2018) in studies realized in TTS, where these authors

registrados en Sep-30 (fecha más húmeda), donde el perfil 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  $\Psi_H$ . 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 la 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  $\Psi_H$ . Los contenidos de humedad se asemejan a los reportados por González-Rodríguez *et al.* (2018) en estudios realizados en el MET, donde dichos autores reportaron para los perfiles anteriormente mencionados durante la fecha más seca valores de 10 % y 14 %, respectivamente.

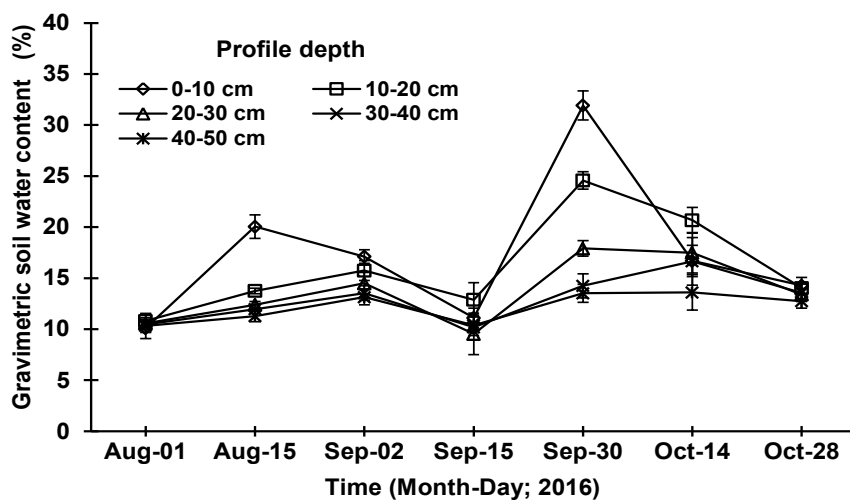


Figure 2. Gravimetric soil water content at five depths (cm) at different sampling dates. Plotted values represent the mean  $\pm$  standard error of mean ( $n=4$ ).

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 ( $n=4$ ).



reported values of 10 % and 14 % for previously mentioned profiles, during the driest date, respectively.

Of the seven realized sampling dates, five of them showed significant differences ( $p \leq 0.05$ ) in water potential at predawn among the studied species (Table 2). Generally,  $\Psi_{H,am}$  ranged from -1.3 MPa (*C. boissieri*) to -5.1 MPa (*H. parvifolia*). During the most wet sampling date (September 30<sup>th</sup>), maximum  $\Psi_{H,am}$  was of -1.4 MPa (*H. parvifolia*) and the minimum of -1.8 MPa (*P. laevigata*) (Figure 3). Regarding the driest sampling date (August 1<sup>st</sup>), the highest  $\Psi_{H,am}$  (-2.1 MPa) and lowest  $\Psi_{H,am}$  (-5.1 MPa) were detected in *P. laevigata* and *H. parvifolia*, respectively (Figure 3).

Regarding  $\Psi_{H,md}$ , significant differences ( $p \leq 0.05$ ) were detected among the evaluated species in two sampling dates (Table 2). In relation to  $\Psi_{H,md}$  behavior, values varied from -1.5 MPa (*P. laevigata*) to -4.0 MPa (*K. humboldtiana*). During the most wet sampling date (September 30<sup>th</sup>),  $\Psi_{H,md}$  varied from -1.7 (*H. parvifolia*) to -2.1 MPa (*C. boissieri*) (Figure 4); during the driest sampling date, maximum was -2.9 MPa and minimum -4.6 MPa for *P. laevigata* and *K. humboldtiana*, respectively (Figure 4).

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  $\Psi_{H,am}$  osciló de -1.3 MPa (*C. boissieri*) a -5.1 MPa (*H. parvifolia*). Durante la fecha más húmeda (Sep-30), el  $\Psi_{H,am}$  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  $\Psi_{H,am}$  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  $\Psi_{H,md}$ , 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  $\Psi_{H,md}$ , los valores fluctuaron de -1.5 MPa (*P. laevigata*) a -4.0 MPa (*K. humboldtiana*). Durante la fecha más húmeda (sep-30), el  $\Psi_{H,md}$  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).

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

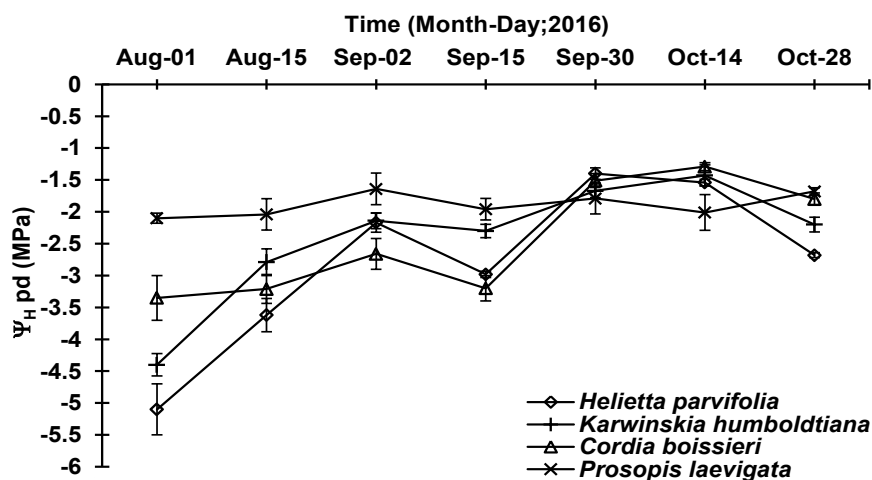


Figure 3. Predawn ( $\Psi_{H,am}$ : 06:00 h) water potential in four native plant species, determined at different sampling dates. Plotted values represent the mean  $\pm$  standard error of mean (n=5).

Figura 3. Potencial hídrico antes del amanecer ( $\Psi_{H,am}$ : 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).

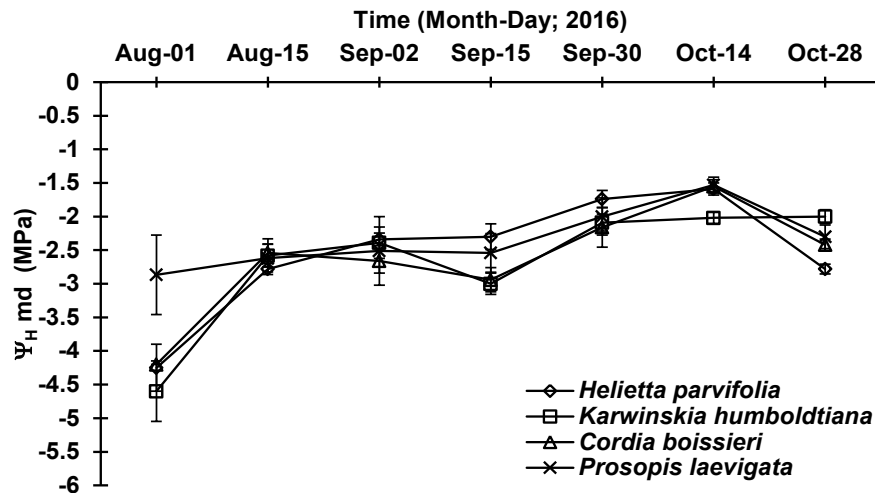


Figure 4. Midday ( $\Psi_{H,md}$ : 14:00 h) water potential in four native plant species, determined at different sampling dates. Plotted values represent the mean  $\pm$  standard error of mean (n=5).

Figura 4. Potencial hídrico al mediodía ( $\Psi_{H,md}$ : 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).

Water potentials during the most wet sampling date for *H. parvifolia* and *C. boissieri* were low in relation with those observed by González-Rodríguez *et al.* (2001) in the same species established in a plantation, which could explain that this difference of  $\Psi_H$ , since there was no competence for water resources among more species (Meinzer *et al.*, 2014).  $\Psi_H$  during drought period indicate that *H. parvifolia*, *K. humboldtiana* and *C. boissieri* were submitted to a water stress, behaving as anisohydric species (Meinzer *et al.*, 2014), avoiding, maybe, the stomatal closure, showing very low water potential in conditions of limited water availability in soil, high value of vapor pressure deficit and low relative humidity in the environment (Urli *et al.*, 2013). As well, the above described may indicate that the previously mentioned species can show a superficial root system that prevents absorbing water from profiles of deep soils (Shao *et al.*, 2008). In this regard, with a low water content in soil, the lowest  $\Psi_H$  (-5.1 MPa) was present in *H. parvifolia*, since its root system is superficial, reaching depth no higher than 40 cm (González-Rodríguez & Cantú-Silva, 2001); in turn, the highest  $\Psi_H$  (-2.1 MPa) was present in *P. laevigata*, since this species presents a deep taproot system, that can reach until 80 m depth, possibly

las mismas especies establecidas en una plantación, lo que pudo haber significado esta diferencia del  $\Psi_H$ , es debido a que no existía competencia por el recurso hídrico en el suelo entre más especies (Meinzer *et al.*, 2014). Los  $\Psi_H$  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 suelos profundos (Shao *et al.*, 2008). En este sentido, con un bajo contenido de humedad en el suelo, el menor  $\Psi_H$  (-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  $\Psi_H$  (-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).

allowing it to absorb water from deeper soil profiles (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014).

$\Psi_H$  at predawn showed differences among species and sampling dates (wet and drier). In this sense,  $\Psi_H$  ranged from -1.3 MPa to -5.1 MPa, respectively. These values were found below those observed by González-Rodríguez *et al.* (2016) in a study of water potentials in native plants from northeastern Mexico, presenting values that varied from -0.30 MPa to -3.94 MPa in the most wettest and driest sampling date, respectively. For the information above explained, it can be inferred that, during the study realized by these authors, environmental conditions were less stressing for the studied species since they present a lower water stress. However, results obtained during the present study were similar to those obtained by González-Rodríguez *et al.* (2011a) where potentials fluctuate from -0.7 MPa to -4.5 MPa. Similar results to the values of potentials for the previously mentioned species have been observed similarly by González-Rodríguez *et al.* (2011b), in tree species such as *Acacia amentacea* Benth. (Leguminosae, shrub with deciduous leaves; microphyllous compounds leaves), *Celtis pallida* Torr. (Ulmaceae; thorny shrub with perennial oval-shaped leaves with smooth edges), *Forestiera angustifolia* Torr. (Oleaceae, shrub with perennial leaves and rigid and dense branches) and *Parkinsonia texana* (A. Gray) S. Watson var. *Macra*. In some sampling dates,  $\Psi_{H,md}$  were detected to be higher than  $\Psi_{H,am}$  (Figures 3 and 4). This behavior was observed in *H. parvifolia*, *K. humboldtiana*, *C. boissieri* (August 15<sup>th</sup>) and in *P. laevigata* (October 14<sup>th</sup>). This is related to the stomatal closure of the leaves to avoid water loss by transpiration (Meinzer *et al.*, 2014), or to an imbalance between soil water potential at predawn and in plant tissue (leaves and xylem) caused by solute accumulation (Donovan *et al.*, 2003), which are typical mechanisms that plants have to face at low soil water contents and extreme environmental conditions (Meinzer *et al.*, 2014). Similar results have been described by González-Rodríguez *et al.* (2016), who reported a similar behavior in *Celtis ehrenbergiana*, *Acacia amentacea*, *Parkinsonia texana* and *Forestiera angustifolia*.

Derived from the Spearman correlation analysis ( $r_s$ ) ( $n = 28$ ), for  $\Psi_{H,am}$  and  $\Psi_{H,md}$  with environmental variables,  $\Psi_{H,am}$  showed a significantly positive correlation with soil water content at four depths (10-20, 20-30, 30-40 and 40-50 cm) and with precipitation (Table 3). In the

Los  $\Psi_H$  antes del amanecer mostraron diferencias entre especies y fecha de muestreo (más húmeda y más seca). En este sentido, los  $\Psi_H$  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 por González-Rodríguez *et al.* (2011b), en especies arbustivas tales como *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  $\Psi_{H,md}$  fueron mayores que el  $\Psi_{H,am}$  (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 enfrentar 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  $\Psi_{H,am}$  y el  $\Psi_{H,md}$  con las variables ambientales, el  $\Psi_{H,am}$  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  $\Psi_{H,md}$ , 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

**Table 3.**  
**Spearman correlation coefficients (n=28) for predawn ( $\Psi_{H,am}$ ) and midday ( $\Psi_{H,md}$ ) water potential in relation with prevailing environmental conditions.**  
**Tabla 3.**  
**Coefficientes de correlación de Spearman (n=28) para el potencial hídrico antes del amanecer ( $\Psi_{H,am}$ ) y al mediodía ( $\Psi_{H,md}$ ) en relación con las variables ambientales prevaletientes.**

Variable	Correlation
<b>Water potential before sunrise <math>\Psi_{H,am}</math></b>	
Gravimetric soil water content	
Depth of 0-10 cm	0.418 <sup>ns</sup>
Depth of 10-20 cm	0.770 <sup>***</sup>
Depth of 20-30 cm	0.729 <sup>***</sup>
Depth of 30-40 cm	0.748 <sup>***</sup>
Depth of 40-50 cm	0.774 <sup>***</sup>
Air temperature	-0.506 <sup>ns</sup>
Relative humidity	0.367 <sup>ns</sup>
Vapor pressure deficit	-0.281 <sup>ns</sup>
Precipitation	0.711 <sup>***</sup>
<b>Water potential at noon <math>\Psi_{H,md}</math></b>	
Gravimetric soil moisturewater content	
Depth of 0-10 cm	0.498 <sup>**</sup>
Depth of 10-20 cm	0.826 <sup>***</sup>
Depth of 20-30 cm	0.764 <sup>***</sup>
Depth of 30-40 cm	0.819 <sup>***</sup>
Depth of 40-50 cm	0.860 <sup>***</sup>
Air temperature	-0.708 <sup>***</sup>
Relative humidity	0.670 <sup>***</sup>
Vapor pressure deficit	-0.820 <sup>***</sup>
Precipitation	-0.781 <sup>***</sup>

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

NS=no significativo  $p \geq 0.05$ ; \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$ .

case of  $\Psi_{H,md}$ , a significantly positive correlation was observed with soil water content at the five depths (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 and 40-50 cm). In turn, air temperature and vapor pressure deficit showed a significantly negative correlation and a significantly positive correlation with relative humidity. Finally,  $\Psi_{H,md}$  showed a negative correlation with precipitation (Table 3). Only  $\Psi_{H,md}$  of the studied species was strongly influenced by vapor pressure

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  $\Psi_{H,md}$  mostró una correlación negativa con la precipitación (Tabla 3). Solo el  $\Psi_{H,md}$  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

deficit which values ranged from 1.0 kPa to 4.7 kPa indicating that, for this measurement point, vapor pressure deficit influences the variation of water potentials in the studied species. The obtained results differ to what observed by González-Rodríguez *et al.* (2011a, 2016) in species from northeastern Mexico such as *Acacia berlandieri*, *Acacia rigidula*, *Eysenhardtia texana*, *Diospyros texana*, *Randia rhagocarpa*, *Bernardia myricaefolia*, *Bumelia celastrina* and *Condalia hookeri*, where a significantly negative relation is reported as  $\Psi_{H,am}$  as for  $\Psi_{H,md}$  with air temperature and vapor pressure deficit.

According to  $\Psi_H$  of the four studied species, *P. laevigata* is an example of a tree species which has adapted to the low water availability, which evidence was that it presents high potentials during the different sampling dates. Therefore, it can be argued that this species, as some other species, presents a reduced leaf area and a high stomatal sensitivity, provoking the closure of its stoma, which are considered as drought evasion strategies allowing to reduce water loss to avoid or reduce tissue desiccation (Jaleel *et al.*, 2009; Luna-Flores *et al.*, 2012); in this way, *P. laevigata* can be considered as an isohydric species, able to tolerate water deficits, while adaptation of *H. parvifolia*, *K. humboldtiana* and *C. boissieri* species to an adverse environment, apparently depends on similar strategies allowing them to face tissue desiccation (Fleta-Soriano & Munné-Bosch, 2016), which could have indicated that water potentials of these species were lower. Finally, it is important to notice that this type of research are necessary, since cases of forest death have been reported due to extreme climatic changes in the environment (Urli *et al.*, 2013), it is therefore necessary to consider the background of species able to resist or tolerate adverse conditions as extreme drought allowing them to grow, survive and reproduce to maintain vegetation cover in dry and semiarid regions, and to maintain ecosystemic services.

## Conclusions

During the driest sampling date, *H. parvifolia*, *K. humboldtiana* and *C. boissieri* presented minor values in their water potentials, indicating that these species were under an adverse water stress, presenting physiological disadvantages in drought period, which can induce, at a great extent, the absence of survival of individuals

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*, *Bumelia celastrina* y *Condalia hookeri*, donde se reporta que existe una relación significativa y negativa tanto del  $\Psi_{H,am}$  como el  $\Psi_{H,md}$  con la temperatura del aire y el déficit de presión de vapor.

De acuerdo con los  $\Psi_H$  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 (Jaleel *et al.*, 2009; Luna-Flores *et al.*, 2012); 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.

from these species, affecting its establishment in the Tamaulipan thornscrub.

High soil water content, as well as environmental variables during the different sampling dates, were responsible for  $\Psi_{\text{H,am}}$  and  $\Psi_{\text{H,md}}$  increase in *H. parvifolia*, *K. humboldtiana* and *C. boissieri*, indicating that these three species are dependent of high soil water contents. With these environmental conditions, these species can be used in activities of urban dasonomy with the help of auxiliary water irrigation, which will allow them to maintain their hydration, favoring their growth and development.

*Prosopis laevigata* seems to be a more resistant species to drought, since its potential at predawn as well as at midday, did not significantly vary in each sampling date, maintaining its potential stable in relation with prevailing environmental variables. This species can be used in activities of reforestation, restoration, habitat for wild fauna or holistic management of grasslands in the management of extensive or intensive cattle raising in dry or semiarid regions.

### Acknowledgements

To Ing. Joel Bravo Garza and Mr. Manuel Hernández Charles for their technical assistance. As well, to the Faculty of Forestry Sciences of UANL to provide facilities and equipment to carry the study out. This research was funded by the National Council of Science and Technology (Proyecto SEP-CONACYT, clave 250732).

### References

- AOAC (Asociación Internacional de Químicos Analíticos). (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>
- Brown, M. B. & 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 Mascaró, 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\[0463:MAMODB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[0463:MAMODB]2.0.CO;2)
- Fleta-Soriano, E. & Munne-Bosch, S. (2016). Stress memory and the inevitable effects of drought: a physiological

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  $\Psi_{\text{H,am}}$  y el  $\Psi_{\text{H,md}}$  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).

- 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<sup>da</sup> 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>
- 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/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=10.1.1.23.1932&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 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. 2<sup>nd</sup> 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. & 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. 2<sup>nd</sup> 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. & 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>
- Taylor, S. A. & Ashcroft, G. L. (1972) Physical Edaphology. The physics of irrigated and non-irrigated soils. W.H. Freeman. San Francisco, CA, USA. 533 pp.
- Uri, M., Porté, A. J., Cochard, H., Guengant, Y., Burrell, 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., Pötzelberger, 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 CO<sub>2</sub>. *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>