



CIENCIA XVUANL  
ANIVERSARIO

## Aclimatación de tres especies arbóreas al estrés hídrico y su papel como indicadores de sitio en bosques de la Sierra Madre Oriental

WIBKE HIMMELSBACH\*, EDUARDO JAVIER TREVIÑO GARZA\*, HUMBERTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ\*,  
MARCO AURELIO GONZÁLEZ TAGLE\*



Los bosques mixtos de pino-encino están expuestos a extremas condiciones climáticas de altas temperaturas y baja precipitación pluvial distribuida irregularmente en el transcurso del año. Además, el cambio climático caracterizado por la frecuencia aumentada de sequías (aumento de temperatura promedio global por 0.14-0.58°C/década),<sup>1</sup> en combinación con un alto potencial de evaporación que contribuye a la acumulación de sales en el suelo, son los principales factores limitantes para el crecimiento, ya que afectan muchos de los procesos fisiológicos de las plantas.<sup>2-4</sup>

Los efectos del cambio climático y la intervención inadecuada de la población humana están dificultando adicionalmente las condiciones para el crecimiento de las plantas en muchas partes de la Sierra Madre Oriental.<sup>5</sup> No se conoce a ciencia cierta la respuesta de los bosques a estos cambios, pero dichos cambios tienen el potencial de modificar altamente la distribución y productividad de las especies arbóreas.<sup>5,9-11</sup>

El presente artículo está basado en la investigación "Caracterización de bosques mixtos de pino-encino en la Sierra Madre Oriental en México considerando el factor limitante hídrico", galardonada con el Premio de Investigación UANL 2012, en la categoría de Ciencias de la Tierra y Agropecuarias, otorgado en sesión solemne del Consejo Universitario, en septiembre de 2012.

Entonces, es importante entender la respuesta fisiológica de las especies a factores como el estrés hídrico, el exceso de sales y su gama de tolerancia bajo condiciones ambientales difíciles. De tal manera que se puedan explicar las diferencias entre las especies, con respecto a su distribución y sobrevivencia. Aunado a lo anterior, dicho conocimiento nos permitirá realizar la mejor selección de especies aptas para la restauración ecológica y reforestación de áreas degradadas.<sup>3,4,12,13</sup>

Al medir los potenciales hídricos ( $\Psi_w$ ) y osmóticos ( $\Psi_s$ ), es posible valorar el estado hídrico de una planta<sup>14</sup> y de esta manera su bienestar. En general, las especies se dejan clasificar en dos categorías, dependiendo del tipo de regulación de su estado hídrico, nombrado regulación isohídrica y no-iso-hídrica.<sup>4,15</sup>

De ahí se realizó un estudio con el objetivo de identificar, en primer lugar, el tipo de aclimatación al déficit de agua y la gama de tolerancia a altas concentraciones de sales en el suelo de tres especies arbóreas dominantes en la región de la Sierra Madre Oriental.

Además se propone determinar el efecto de dos pendientes diferentes en el estado hídrico de las es-

\*Universidad Autónoma de Nuevo León, FCF.  
wlbk.sierramadre@gmail.com

pecies y sus estrategias para evitar los daños causados por sequía.

### Hipótesis

El estado hídrico de una planta refleja las condiciones ambientales de su sitio. Las plantas poseen diferentes estrategias para superar periodos de sequía o escasez de agua.

### MATERIALES Y MÉTODOS

La colecta de los datos comprendió el periodo de enero-septiembre de 2006, incluyendo diferentes estaciones.

Dos sitios, uno con exposición al norte y otro al sur, fueron seleccionados en bosques de pino-encino, dentro del Bosque Escuela (BE) de la Universidad Autónoma de Nuevo León en la Sierra Madre Oriental, a 15 km al suroeste de Iturbide, Nuevo León, México (24° 42' 23" N y 99° 51' 39" W; 1250-1900 msnm). El BE, con una extensión de 1035 hectáreas, se presentó como área ideal, debido a su estado de protección durante aproximadamente 20 años.

La precipitación total y la temperatura promedio anual son de 639 mm y 13.9°C, respectivamente. La mayor parte de la precipitación (80%) ocurre de mayo a octubre.<sup>16</sup>

Los suelos en el BE son delgados y muestran una gran variación en cuanto a colores y fertilidad, aparentemente relacionada con pendiente, exposición, vegetación y geología.

#### *Mediciones de los potenciales hídricos*

En cada exposición se tomaron cinco individuos jóvenes de tres diferentes especies: *Pinus pseudostrobus*, *Quercus canbyi* y *Juniperus flaccida*. En estos árboles jóvenes se realizaron las mediciones de los potencia-

les hídricos ( $\Psi_w$ ) y osmóticos ( $\Psi_s$ ). El  $\Psi_w$  se midió dos veces por mes, y el  $\Psi_s$  se determinó una sola vez en ese lapso.

El  $\Psi_w$  se midió dos veces por día, a las 6:00 horas ( $\Psi_{wpd}$ ) y a las 12:00 horas ( $\Psi_{wmd}$ ), con una bomba de presión tipo Scholander.<sup>17</sup> Los potenciales osmóticos ( $\Psi_{spd}$  y  $\Psi_{smd}$ ) se determinaron con el osmómetro crioscópico (Wescor HR 33T), basado en la medición del punto de congelación.<sup>18</sup>

#### *Medio ambiente*

Datos microclimáticos, como temperatura del aire (°C), humedad relativa del aire (%) y precipitación (mm) se midieron simultáneamente en cada sitio. El déficit de vapor de presión (DVP) se calculó mediante los datos de temperatura y de la humedad relativa.

La humedad relativa del suelo se calculó en cada sitio y fecha de muestreo, en las siguientes profundidades: 0-10 cm, 20-30 cm, 40-50 cm y 60-70 cm.

#### *Análisis estadístico*

La suposición de normalidad se examinó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov para todos los datos.

Las diferencias entre las dos pendientes (sitios N y S), las especies arbóreas y las fechas de muestreo (enero hasta agosto de 2006) fueron examinadas con un análisis de varianza de tres factores (ANOVA de tres factores), considerando pendiente y especie como factores entre los tratamientos y la fecha de muestreo (FM) como factor dentro de los tratamientos.<sup>19</sup> Se hicieron análisis separados para los datos del amanecer y del mediodía. La distribución normal de los datos y homogeneidad de la varianza fueron comprobadas antes del ANOVA.

Diferencias entre las condiciones meteorológicas en cada sitio, se compararon con un ANOVA de un

factor después de comprobar la distribución normal y homogeneidad de varianza de los datos.<sup>19,20</sup> Las diferencias (FM) significativas entre los  $\bar{x}_{spd}$  y  $\bar{x}_{smd}$  de diferentes temporadas se comprobaron con la prueba de Wilcoxon, comparando los datos de una fecha de muestreo relativamente seco (abr-5) y una húmeda (ago-16/17).

Los coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los potenciales hídricos y osmóticos se cuantificaron con un análisis de correlación de Spearman, debido a que se rechazó la hipótesis nula de la distribución normal de los datos ( $p < 0.05$ ). Para este análisis se consideraron datos reales de cada especie de los dos sitios a una escala temporal.<sup>19,20</sup>

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Condiciones ambientales durante el periodo de investigación*

La figura 1 muestra las condiciones ambientales durante el estudio. En general, se disminuyó la disponibilidad de agua en el suelo con el incremento en la temperatura y el déficit de presión de vapor. Sin embargo, especialmente en la profundidad de suelo superior (0-10 cm), se presenta un aumento de agua disponible en el suelo después del inicio de las precipitaciones en mayo. La comparación estadística de los dos sitios no reveló ninguna diferencia significativa en las variables meteorológicas (ANOVA:  $p > 0.18$ ). No obstante, la comparación estadística del contenido de agua en el suelo resultó significativamente diferente, con una disponibilidad de agua mayor en el sitio norte que en el sur (tabla I). Las diferencias entre distintas profundidades de suelo no fueron estadísticamente significativas.

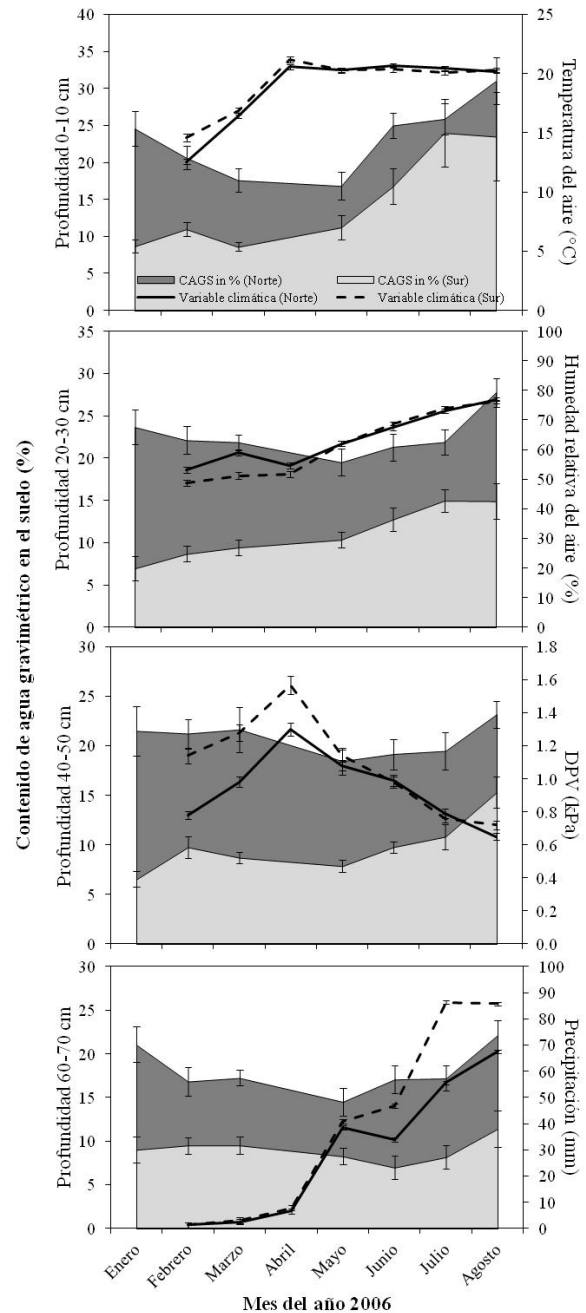


Fig. 1. Variación estacional de la temperatura promedio del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad relativa del aire (%), déficit de presión de vapor (DPV; kPa), precipitación actual (mm) y humedad del suelo (%) a cuatro profundidades ( $n=5$ ), durante el estudio desde febrero hasta agosto de 2006; las barras representan errores estándar.

Variaciones estacionales del potencial hídrico y osmótico

El ANOVA factorial reveló diferencias significativas en los  $\Psi_w$  y  $\Psi_s$  entre las dos exposiciones, tres especies y fechas de muestreo (tabla I). La última variable tuvo mayor influencia en los potenciales seguido por “especie” y “exposición”. En general, todas las especies mostraron valores altos al amanecer y bajos al mediodía, los cuales declinaron progresivamente con el incremento de la sequía y pérdida de agua en el suelo (figuras 2 y 3). Fluctuaciones estacionales y diarias de los  $\Psi_w$  y  $\Psi_s$  fueron más altos en la especie *J. flaccida* y *Q. canbyi* que en *P. Pseudostrobus*, la cual mantuvo valores más equilibrados durante condiciones secas (figuras 2 y 3).

Los potenciales  $\Psi_w$  y  $\Psi_s$  de *J. flaccida* y *Q. canbyi* presentaron una correlación con el contenido de agua gravimétrico en el suelo (tabla II), mientras que los  $\Phi_s$  de *P. pseudostrobus* mostraron muy poca correlación con las variables ambientales.

Debido a ello, *P. pseudostrobus* fue identificado como especie isohídrica, ya que muchas veces regula su estado hídrico a través de sus estomas.<sup>15</sup>

Especies no-isohídricas en comparación, permiten que los valores del mediodía ( $\Psi_{wmd}$ ) bajen notablemente en el transcurso del día y año, respondiendo de esta manera a sequías.<sup>15</sup> Entonces, *J. flaccida* presentó fluctuaciones típicas de especies no-isohídricas (figura 2). *Q. canbyi*, en comparación, no se deja clasificar tan obviamente (figura 2). De acuerdo con la bibliografía, esta especie se maneja generalmente como una especie que posee una regulación isohídrica;<sup>21,22</sup> sin embargo, en el estudio presentó un comportamiento más bien no-isohídrica.<sup>4</sup>

CONCLUSIONES

La regulación del estado hídrico durante periodos de sequía fue muy diferente en las tres especies nativas al igual que sus potenciales hídricos y osmóticos en el transcurso de ocho meses en la Sierra Madre Oriental. Mientras que la especie *P. pseudostrobus* mostró un comportamiento típico para plantas isohídricas; *J. flaccida* y *Q. canbyi* regularon su estado hídrico de manera no-isohídrica. Una regulación

Tabla I. Resultados de la ANOVA de tres factores: especie (entre tratamientos), exposición (Exp: entre tratamientos) y fecha de muestreo (FM: dentro de los tratamientos), grados de libertad (df) y coeficiente de determinación ( $r^2$ ).

Fuente de variación	df	$\Psi_{wpd}$		$\Psi_{wmd}$		$\Psi_{spd}$		$\Psi_{smd}$		Humedad del suelo			
		F	SS <sub>v</sub> /SST <sub>c</sub>	F	SS <sub>v</sub> /SST <sub>c</sub>	df	F	SS <sub>v</sub> /SST <sub>c</sub>	F	SS <sub>v</sub> /SST <sub>c</sub>	df	F	SS <sub>v</sub> /SST <sub>c</sub>
Especie	2	137.9	13.8***	76.7	14.7***	2	9.3	6.5***	11.3	7.3***	2	1.9	1.8 <sup>NS</sup>
Exposición	1	210.4	10.5***	164.1	15.7***	1	14.9	5.2***	3.0	1.0 <sup>NS</sup>	1	86.7	38.3*
Exp*Especie <sup>a</sup>	2	6.8	0.7**	6.9	1.3**	2	2.3	1.6 <sup>NS</sup>	2.9	1.9 <sup>NS</sup>	2	9.1	0.9***
FM	11	144.3	38.4***	77.8	30.7***	6	14.9	22.2***	9.9	17.2***	10	4.5	13.9**
Especie*FM	22	22.7	12.1***	16.9	13.3***	12	3.4	10.2***	2.1	7.3*	20	6.1	5.9***
Exp*FM	11	39.8	10.6***	19.4	7.7***	6	4.0	5.9***	4.8	8.4***	10	6.3	3.3***
Exp*Especie*FM	22	12.0	6.4***	6.1	4.8***	12	1.5	4.3 <sup>NS</sup>	2.1	7.4*	20	0.3	0.9 <sup>NS</sup>
Total	359					209							
ANOVA $r^2$ (adj.)			0.913		0.871			0.483		0.393			0.555

Los valores F, la proporción de la varianza explicada (SS<sub>v</sub>/SST<sub>c</sub>) y el nivel de significancia (NS, p>0.05; \* p<0.05; \*\* p<0.01; \*\*\* p<0.001) para los factores y la interacción

<sup>a</sup> En el ANOVA de la humedad del suelo, el factor “especie” es reemplazado por “profundidad del suelo”.

Tabla II. Valores del coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ) de tres especies arbóreas para potenciales hídricos ( $\Phi_{\text{wpd}}$  y  $\Phi_{\text{wmd}}$ ) y osmóticos ( $\Phi_{\text{spd}}$  y  $\Phi_{\text{smd}}$ ); en relación con el contenido de agua gravimétrico en el suelo (CAGS) a cuatro profundidades, la temperatura del aire, humedad relativa del aire (HR) y déficit de presión de vapor (DPV) y la suma mensual de precipitación.

Variable ambiental	Potenciales hídricos ( $\Psi_{\text{wpd}}$ y $\Psi_{\text{wmd}}$ )						Potenciales osmóticos ( $\Psi_{\text{spd}}$ y $\Psi_{\text{smd}}$ )					
	<i>J. flaccida</i>		<i>P. pseudostrubus</i>		<i>Q. canbyi</i>		<i>J. flaccida</i>		<i>P. pseudostrubus</i>		<i>Q. canbyi</i>	
	AM	MD	AM	MD	AM	MD	AM	MD	AM	MD	AM	MD
CAGS: 0-10 cm	0.79***	0.86***	0.53***	0.36***	0.71***	0.76***	0.70***	0.43***	0.10	-0.01	0.66***	0.44***
CAGS: 20-30 cm	0.48***	0.66***	0.44***	0.50***	0.53***	0.71***	0.54***	0.34*	0.09	-0.15	0.39**	0.45***
CAGS: 40-50 cm	0.40***	0.57***	0.38***	0.40***	0.45***	0.62***	0.52***	0.33*	0.06	-0.12	0.34*	0.44***
CAGS: 60-70 cm	0.21*	0.42***	0.35***	0.50***	0.25*	0.48***	0.50***	0.18	0.12	-0.12	0.31*	0.42**
Temperatura	0.39***	0.27**	0.02	0.09	0.21*	0.25**	0.23*	-0.05	0.11	-0.27*	0.22	-0.12
HR	0.76***	0.66***	0.24*	0.15	0.56***	0.54***	0.56***	0.43***	0.23	0.10	0.57***	0.37**
DPV	-0.72***	-0.81***	-0.51***	-0.26**	-0.66***	-0.68***	-0.66***	-0.56***	-0.23	-0.10	-0.61***	-0.55***
Precipitación	0.53***	0.32***	-0.04	-0.06	0.30**	0.25**	0.23	0.35**	0.20	0.21	0.35**	0.13

Nivel de significancia (NS,  $p > 0.05$ ; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ ) para cada variable.

AM = Amanecer; MD = Mediodía

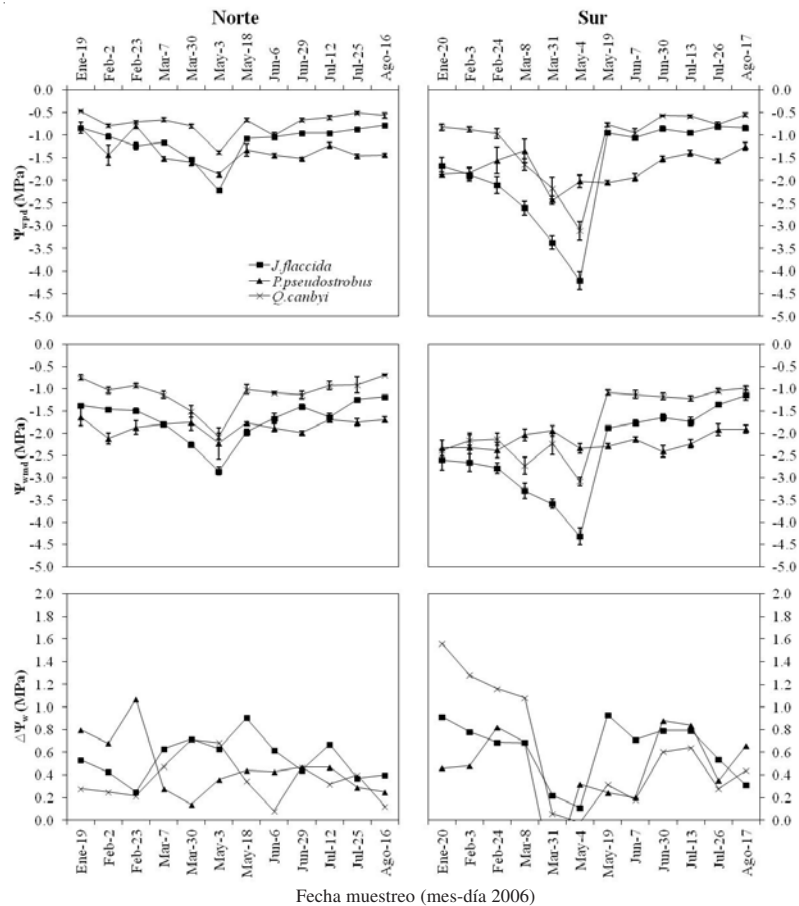


Fig. 2. Variación estacional de los potenciales hídricos ( $\Phi_{\text{wpd}}$  y  $\Phi_{\text{wmd}}$ ), así como la diferencia entre el potencial del amanecer y del mediodía ( $\Delta\Phi_{\text{w}}$ ) para tres especies medidas en dos exposiciones (norte y sur); valores promedios ( $n=5$ ), las barras representan errores estándar.

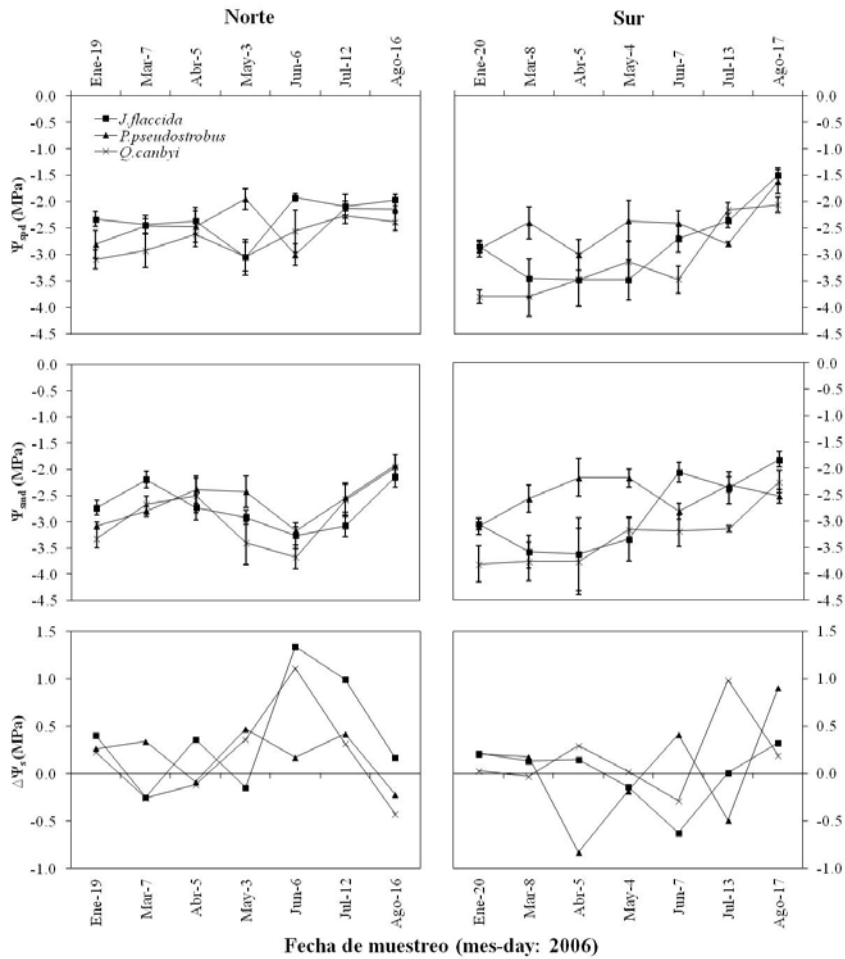


Fig. 3. Variación estacional de los potenciales osmóticos ( $\phi_{pd}$  y  $\phi_{smd}$ ), así como la diferencia entre el potencial del amanecer y del mediodía ( $\Delta\phi_s$ ) de tres especies medidas en dos exposiciones (Norte y Sur); valores promedio ( $n=5$ ), barras representan errores estándar.

isohídrica tiene ventajas durante severas sequías de poca duración, mientras que las plantas no-isohídricas poseen ventajas durante largas sequías de poca intensidad.<sup>23</sup> En la práctica, significa que árboles isohídricos se recomiendan para reforestaciones en áreas donde se esperan sequías severas, pero de corta duración; y árboles no-isohídricos en áreas propensas a sequías largas de menor intensidad.<sup>4</sup> Sin embargo, para hacer conclusiones precisas sobre el desarrollo de los bosques en la Sierra Madre Oriental, se requieren estudios a largo plazo, incluyendo variables fisiológicas adicionales, como la conduc-

ción de estomas, actividad fotosintética y asimilación de carbono, así como inventarios forestales detallados, monitoreo de la distribución espacial y sobrevivencia de los árboles y de su regeneración.

## RESUMEN

La disponibilidad de agua y el exceso de sales son factores limitantes en los bosques mixtos de pino-encino. Con la intención de caracterizar la adaptación de especies nativas a los factores antes mencionados, los potenciales hídricos ( $\phi_w$ ) y osmóticos ( $\phi_s$ )

de *Juniperus flaccida*, *Pinus pseudostrobus* y *Quercus canbyi* fueron medidos bajo condiciones naturales húmedas y secas en dos diferentes exposiciones. Los resultados mostraron que las especies poseen diferentes estrategias para superar sequías. *P. pseudostrobus* fue identificado como especie isohídrica, mientras que *J. flaccida* y *Q. canbyi* regularon su estado hídrico de manera no-isohídrica. El tipo de estrategia para superar sequías podría ser un factor crítico para la supervivencia de las plantas en el contexto del cambio climático. Sin embargo, para conclusiones precisas sobre las ventajas y desventajas de cada tipo, se requieren investigaciones adicionales a largo tiempo.

**Palabras clave:** Estrés hídrico, Disponibilidad de agua, Cambios ambientales.

## ABSTRACT

The adaptation to water stress of five plant species (*Acacia rigidula*, *Arbutus xalapensis*, *Juniperus flaccida*, *Pinus pseudostrobus*, *Quercus canbyi*) was studied using two aspects, measuring plant water ( $\Psi_w$ ) and osmotic potentials ( $\Psi_s$ ). The statistical analysis proved the importance of soil-water availability. In the case of  $\Psi_s$ , climatic variables were significantly related to most of the potentials. The influence of environmental variables in leaf water potentials was stronger at the southern aspect, and in the species *Q. canbyi* and *J. flaccida*. Due to their dynamic reaction to environmental changes, the species seemed to have different strategies of adaptation to water stress.

**Keywords:** Water stress, Water availability, Environmental changes.

## REFERENCIAS

- Meehl, G.A., Washington, W.M., Collins, W.D., Arblaster, J.M., Hu, A., Buja, L.E., Strand, W.G. y H. Teng (2005). How much more global warming and sea level rise? Science 307 (5716), 1769-1772.
- Mitlöhner, R. (1998). Pflanzeninterne Potentiale als Indikatoren für den tropischen Standort. Shaker Verlag, Aachen.
- González-E.M., Jurado, E., González-E.S., Aguirre Calderón, O., Jiménez Pérez, J. y J. Návar (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. CiENCiA UANL 6: 377-385.
- Himmelsbach, W., Treviño-Garza, E.J., González-Rodríguez, H., González-Tagle, M.A., Gómez-Meza, M.V., Aguirre Calderón, O.A., Estrada-Castillón, A.E. y R. Mitlöhner (2012). Acclimation of three co-occurring tree species to water stress and their role as site indicators in mixed pine-oak forests in the Sierra Madre Oriental, Mexico. Eur J Forest Res 131: 355-367.
- González Tagle, M.A., Himmelsbach, W., Jiménez Pérez, J. y B. Müller-Using (2005). Reconstruction of fire history in pine-oak forests in the Sierra Madre Oriental, México. Forstarchiv 76 (4): 138-143.
- Domínguez, P.A. y J.J. Návar (2000). Einfluss der Pflanzenqualität von *Pinus pseudostrobus* Lindl. auf Überlebensrate und Wuchsleistung bei Aufforstungen in der östlichen Sierra Madre Mexikos. Forstarch 71: 10-13.
- Cantú, I. y H. González (2002). Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pino-encino en el noreste de México. Cienc UANL 5: 72-77.
- Ricker, M., Gutiérrez García, G. Y D.C. Daly (2007). Modeling long-term tree growth curves in response to warming climate: test cases from a subtropical mountain forest and a tropical rainforest in Mexico. Can J For Res 37: 977-989.
- Ramírez-Marcial, N., González-Espinosa, M. y G. Williams-Linera (2001). Anthropogenic disturbance and tree diversity in Montane Rain Forests in Chiapas, Mexico. For Ecol Manag 154: 311-326.
- Jurado, E., Jiménez, J. y E. Treviño (1998). Biodiversidad en peligro. CiENCiA UANL 1: 43-47.
- Kramer, P.J. y J.S. Boyer (1995). Water relations of plants

- and soils. Academic Press, San Diego, CA, pp. 489.
12. McDowell, N., Pockman, W.T., Allen, C.D., Breshears, D.D., Cobb, N., Kolb, T., Plaut, J., Sperry, J., West, A., Williams, D.G. y E.A. Yezzer (2008). Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytol* 178: 719-739.
  13. Cantú Silva, I. y H. González Rodríguez (2002). Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pino-encino en el noreste de México. *CIENCIAUANL* 5 (1), 72-77.
  14. Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D. y E.A. Hemmingsen (1965). Sap pressure in vascular plants. *Sci* 148: 339-346.
  15. Wilson, J.R., Fisher, M.J., Schulze, E.D., Dolby, G.R. y M.M. Ludlow (1979). Comparison between pressure-volume and dewpoint-hygrometry techniques for determining the water relations characteristics of grass and legume leaves. *Oecol (Berl.)* 41: 77-88.
  16. Zar, J.H. (1999). *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall Inc, New Jersey.
  17. [20] Crawley, M.J. (2007). *The R book*. John Wiley, New York.
  18. [Kolb, T.E. y J.E. Stone (2000). Differences in leaf gas exchange and water relations among species and tree sizes in an Arizona pine-oak forest. *Tree Physiol* 20: 1-12.
  19. Otieno, D.O., Schmid, M.W., Adiku, A. y J. Tenhunen (2005) Physiological and morphological response to water stress in two Acacia species from contrasting habits. *Tree Physiol* 25: 361-371.
  20. Breshears, D.D., Myers, O.B., Meyer, C.W., Barnes, F.J., Zou, C.B., Allen, C.D., McDowell, N.G. y W.T. Pockman (2009). Tree die-off in response to global change-type drought: mortality insights from a decade of plant water potential measurements. *Front Ecol Environ* 7: 185-189.

*Recibido: 1 de septiembre de 2012*

*Aceptado: 1 de septiembre de 2012*