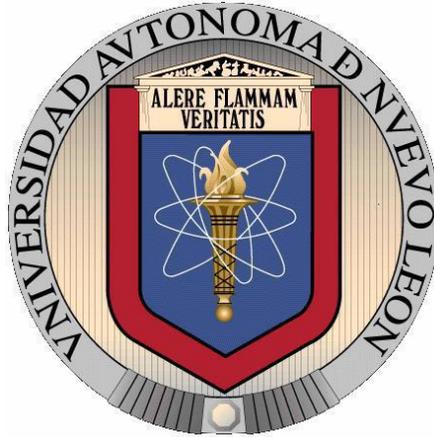


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



TESIS

**RESPUESTA AL ESTRÉS HÍDRICO EN ALGUNAS ESPECIES
CONSIDERADAS MADERABLES DEL MATORRAL ESPINOSO
TAMAULIPECO**

POR

LIC. CECILIA ISABEL GUEVARA PÉREZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

NOVIEMBRE, 2015

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



TESIS

**RESPUESTA AL ESTRÉS HÍDRICO EN ALGUNAS ESPECIES
CONSIDERADAS MADERABLES DEL MATORRAL ESPINOSO
TAMAULIPECO**

POR

LIC. CECILIA ISABEL GUEVARA PÉREZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**

**RESPUESTA AL ESTRÉS HÍDRICO EN ALGUNAS ESPECIES
CONSIDERADAS MADERABLES DEL MATORRAL ESPINOSO
TAMAULIPECO**

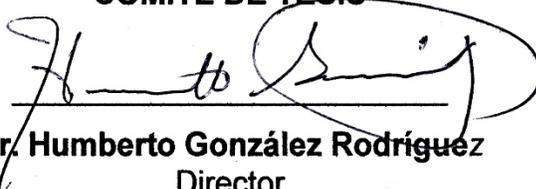
TESIS DE MAESTRÍA

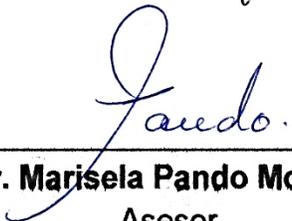
Para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

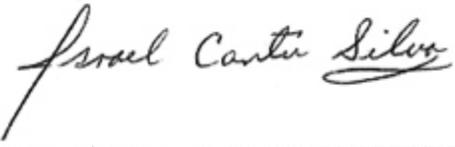
Por:

Lic. Cecilia Isabel Guevara Pérez

COMITÉ DE TESIS


Dr. Humberto González Rodríguez
Director


Dr. Marisela Pando Moreno
Asesor


Dr. Israel Cantú Silva
Asesor

Agradecimientos

Gracias a CONACYT por haberme otorgado la beca y tener la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y terminarlos firmemente.

Agradezco al Dr. Humberto González Rodríguez por dirigir mi tesis siempre estar al pendiente de lo que necesite en mi investigación y mi estancia en la facultad.

Agradezco a la Dra. Marisela Pando Moreno por siempre tener sus sabios consejos para mejorar mi trabajo de tesis y el tiempo prestado.

Al Dr. Israel Cantú Silva por estar presente en mi comité, su tiempo para las revisiones de este trabajo.

Al Dr. Juan Manuel Hernández por apoyarme en el inicio de la investigación.

Al Sr. Manuel Charles por su apoyo constante durante las salidas a campo para realizar este trabajo.

A la Sra. Elsa González por su apoyo durante la estancia en el laboratorio y facilitarme el uso de las instalaciones.

Al Sr. Joel Garza por el apoyo durante el ciclo de muestreo de salidas a campo.

Agradezco a MC. Inés Yáñez por facilitarme las estancias en el laboratorio de suelos y su apoyo para realizar los estudios de suelo para mi trabajo de tesis.

A mis amigas y compañeras de casa y de escuela Indira y Sindi por el apoyo entre nosotras.

A Perlita y Jonathan por compañeros y amigos que también me apoyaron en muestreos de mi trabajo de investigación.

A la Facultad de Ciencias Forestales de UANL por permitirme realizar mi trabajo de tesis en su sitio experimental y abrirme sus puertas para realizar mis estudios de posgrado.

Dedicatoria

A mis papas la Sra. Flor Pérez y el Sr. José Guevara por apoyarme y estar presente en mis estudios de posgrado hasta el último momento e inspirarme seguir adelante cada día, a mis hermanos por estar conmigo y apoyarme para la culminación de este proyecto. A Frida Cecilia por entrar a mi vida e impulsarme a concluir en este proceso y seguir adelante.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
SUMMARY	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. OBJETIVOS.....	5
1.1.1. Objetivo general	5
1.1.2. Objetivos específicos.....	5
1.2. Hipótesis.....	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. El matorral espinoso tamaulipeco.....	6
2.2. El agua en el suelo.....	7
2.2.1. Contenido de agua en el suelo	8
2.2.2. Movimiento del agua en el suelo	8
2.2.3. Importancia del agua en el desarrollo de las plantas.....	10
2.2.4. Respuesta de las plantas frente al estrés	11
2.2.5. Estrategias de las plantas frente al déficit hídrico.....	12
2.3. Relaciones hídricas	16
2.3.1. Relaciones hídricas en el noreste de México	17
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1. Características del área de estudio.....	21
3.1.1. Ubicación	21
3.1.2. Suelo.....	21
3.1.3. Vegetación del área de estudio	22
3.1.4. Material vegetal.....	23
3.2. Descripción de las especies estudiadas	24
3.2.1. <i>Condalia hookeri</i> Schlecht.....	24
3.2.2. <i>Dyospiros texana</i> Scheele.....	25
3.2.3. <i>Prosopis laevigata</i> (Wild.) M. C. Johnst.	26
3.2.4. <i>Zanthoxylum fagara</i> (L) Sarg.....	27
3.3. Metodología.....	28
3.3.1. Medición del potencial hídrico del xilema (Ψ).....	28
3.3.2. Variables ambientales.....	28
3.3.3. Caracterización física y química del suelo.....	29

3.3.4.	Análisis estadísticos	31
4.	RESULTADOS	32
4.1	. Ambiente Físico	32
4.1.1.	Temperatura	32
4.1.2.	Humedad relativa	32
4.1.3.	Precipitación	32
4.1.4.	Contenido gravimétrico de humedad en el suelo	33
4.2.	Relaciones Hídricas	37
4.2.1.	Variación estacional del potencial hídrico xilemático	37
4.2.2.	Variación diurna del potencial hídrico xilemático	38
4.3.	Relaciones potencial hídrico – Variables ambientales	42
4.3.1.	Relaciones estacionales	42
4.3.2.	Relaciones diurnas	44
5.	DISCUSIÓN	45
6.	CONCLUSIONES	49
7.	LITERATURA CITADA	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Mecanismo de respuesta al estrés hídrico. RWC, Contenido Hídrico Relativo; SLW, Peso Específico Foliar; Ψ , Potencial Hídrico.....	14
Cuadro 2. Especies de plantas seleccionadas para la medición del potencial hídrico (Ψ).....	23
Cuadro 3. Determinaciones analíticas y métodos utilizados en el análisis de suelo.....	30
Cuadro 4. Propiedades físicas y químicas para el suelo del sitio de estudio.....	30
Cuadro 5. Cuadrado Medio del Error (CME), Valores F y P en clasificación para las 12 fechas de muestreo del contenido gravimétrico de la humedad en el suelo.....	36
Cuadro 6. Prueba de Kruskal-Wallis con clasificación para el Ψ_{pd} y Ψ_{md} en cada fecha de muestreo para detectar diferencias significativas en el potencial hídrico entre las especies.....	40
Cuadro 7. Coeficiente de correlación de Spearman para valores del potencial hídrico xilemático entre el Ψ_{pd} y Ψ_{md} con relación a las variables ambientales.....	43
Cuadro 8. Coeficiente de correlación de Spearman (n=56) para valores del potencial hídrico xilemático diurno en cuatro especies nativas con relación a las variables ambientales.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Instrumentos utilizados para medir el potencial hídrico: psicrómetros de termopares (a) y bomba de presión tipo “Scholander” (b).	16
Figura 2. Ubicación del sitio de estudio en Linares, Nuevo León, México.....	22
Figura 3. <i>Condalia hookeri</i> Schlecht.....	24
Figura 4. <i>Dyospiros texana</i> Scheele.	25
Figura 5. <i>Prosopis laevigata</i> (Wild.) M. C. Johnst.....	26
Figura 6. <i>Zanthoxylum fagara</i> (L) Sarg.....	27
Figura 7. Temperatura del aire, absoluta mínima, media mínima, media, media máxima y absoluta máxima registrada en el sitio de estudio.....	33
Figura 8. Humedad relativa absoluta mínima, media mínima, media, media máxima y absoluta máxima registrada en el sitio de estudio.....	34
Figura 9. Precipitación mensual en milímetros registrada durante el ciclo experimental.....	34
Figura 10. Contenido gravimétrico de humedad del suelo a cinco profundidades (cm) en las diferentes fechas de muestreo en el ciclo de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=4) + error estándar.	35
Figura 11. Potencial hídrico xilemático en cuatro especies nativas obtenidos al preamanecer (a) y al mediodía (b) en las 12 fechas de muestreo. Cada valor graficado representa la media (n=5) + error estándar.	39
Figura 12. Potencial hídrico xilemático diurno en las cuatro especies nativas y las condiciones ambientales (humedad relativa, temperatura del aire y déficit de presión de vapor en dos fechas de muestreo May-31 (a) y Sep-17 (b). Cada valor graficado en los potenciales hídricos representa la media (n=5) + error estándar.	41

RESUMEN

El déficit hídrico es un factor limitante para la vegetación del noreste de México. El presente estudio tuvo como objetivo relacionar el contenido de humedad del suelo y componentes de la demanda evaporativa con el estado hídrico xilemático en cuatro especies arbóreas nativas del matorral espinoso tamaulipeco: *Diospyros texana*, *Zanthoxylum fagara*, *Condalia hookeri* y *Prosopis laevigata* cuyo valor de importancia es considerado maderable. El estudio se realizó bajo condiciones de campo en la comunidad vegetal denominada Matorral Espinoso Tamaulipeco. El potencial xilemático al pre-amanecer como al mediodía se determinó a intervalos de 15 días entre Abril y Septiembre de 2014. Los resultados indicaron diferencias significativas entre las especies en el potencial hídrico tanto al pre-amanecer como al mediodía, y estas respuestas dependen de los contenidos de humedad en el suelo como de la cantidad de precipitación registrada. En una base diurna, los potenciales hídricos están relacionados a los componentes de demanda evaporativa. Las especies que mostraron una tendencia a evitar la deshidratación a bajos contenidos de humedad fueron *Z. fagara*, *C. hookeri* y *P. laevigata*, mientras que la especie *D. texana*, parece ser más susceptible a los cambios de humedad en el suelo.

SUMMARY

The water deficit is a constraint to vegetation factor northeastern Mexico. This study aimed to relate the content of soil moisture and evaporative demand components with the stem water to four native tree species Tamaulipas thorn scrub: *Diospyros texana*, *Zanthoxylum fagara*, *Condalia hookeri* and *Prosopis laevigata* whose value is significant considered timber. The study was conducted under field conditions in the plant community called Tamaulipeco thorny scrub. The potential xylem the pre-dawn and noon was determined at intervals of 15 days between April and September 2014. The results indicated significant differences between species in both water potential pre-dawn and midday, and these responses depend on the contents of soil moisture and the amount of precipitation registarda. In a diurnal basis, water potentials are related to the components of evaporative demand Species that tended to avoid dehydration at low humidity were contents *Z. fagara*, *C. hookeri* and *P.laevigata*, while the species *D. Texana*, appear to be more susceptible to changes in soil moisture.

1. INTRODUCCIÓN

En el estado de Nuevo León, la distribución del clima y suelo no son uniformes debido a que la precipitación y temperatura tienen una distribución irregular. Esta irregular distribución del clima y suelo ha ocasionado que a lo largo del tiempo se formen varios tipos de comunidades vegetales, siendo el matorral espinoso tamaulipeco el principal tipo de vegetación en el noreste de México, compuesto de arbustos y árboles diversos, densos y espinosos, que se distinguen por un amplio rango de grupos taxonómicos mostrando diferencias en patrones de crecimiento, diversidad en la longevidad foliar, dinámicas de crecimiento y desarrollo fenológico (Ramírez et al., 2010).

Estos cambios en la temperatura hacen que el noreste del país muestre una gran susceptibilidad ante el fenómeno de cambio climático, al ser afectado por diversos procesos que conllevan a la desertificación, particularmente en las zonas áridas, a consecuencia de la posición geográfica en que se encuentran estas zonas, el relieve, la inclinación del terreno, clima, características edafológicas, y posiblemente debido a las condiciones socioeconómicas. Entre las variaciones climáticas, la sequía es la de mayor relevancia; ésta se considera como una deficiencia constante de la precipitación que afecta amplias zonas de una determinada región y da lugar a un periodo de clima anormalmente seco y lo suficientemente prolongado como para que la escasez de agua de pauta a un preocupante desequilibrio hídrico, dado que la disponibilidad de agua es el factor limitante que controla el crecimiento, la supervivencia y distribución de plantas en los climas secos (Kramer, 1983; López, 2010).

Debido a esto, las plantas nativas del matorral han desarrollado diversas características morfológicas y fisiológicas apropiadas para la adaptación a factores ambientales adversos, particularmente al estrés por sequía y altas temperaturas. Tales características incluyen: dimensión y orientación foliar,

morfología, dimensión y densidad de estomas, abscisión de folíolos, pubescencia foliar, cutícula gruesa y cerosa, disminución en el potencial osmótico en forma activa y pasiva, y resistencia al flujo de agua (López, 2010).

En México, en un esfuerzo por revertir el deterioro de los diferentes ecosistemas, el gobierno creó en 1995 el programa nacional de reforestación (PRONARE) con el propósito de incrementar la cobertura vegetal del país (Niembro, 2001), de los cuales hasta el año 2000 de las 484 especies utilizadas en PRONARE para reforestación solo el 31.4% corresponde a los árboles y arbustos nativos (9.7% coníferas y 21.7% correspondía a latifoliadas de clima templado y tropical), el resto, 68.6% representaba palmas y cicadáceas que resultaban extraños a los lugares de reforestación (SEMARNAP, 1999).

Aunque se ha demostrado variación genética de los mecanismos fisiológicos para evitar la deshidratación del tejido vegetal en plantas cultivadas, a la fecha son limitados los estudios disponibles sobre las relaciones hídricas y adaptaciones a la sequía en plantas arbustivas de la región Noreste de México. Por tanto, esta región proporciona una oportunidad para investigar la fisiología de las especies arbustivas nativas y sus respuestas a las variaciones en la disponibilidad de recursos, específicamente, el contenido hídrico del suelo (González et al., 2001).

Actualmente, está documentada poca información sobre estudios de respuesta al estrés. Por tanto, el presente trabajo se enfoca en especies sobre su ambiente natural y patrones que puedan determinar su estado hídrico. Los resultados obtenidos pueden servir en un futuro para fines de reforestación en sitios que lo requieran, proporcionar cobertura a otras especies o bien fauna silvestre. Aquellas especies nativas que se encuentren adaptadas, muestren éxito y sobrevivencia, son de mayor ayuda e importante en el ecosistema terrestre como lo es el matorral.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Caracterizar el potencial hídrico diurno y estacional de cuatro especies consideradas maderables del matorral espinoso tamaulipeco, del noreste de Nuevo León, México.

1.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el potencial hídrico xilemático diurno en cuatro especies de plantas maderables.
- Asociar los potenciales hídricos a los componentes de demanda evaporativa atmosférica.
- Describir la relación de los potenciales hídricos a los contenidos de humedad en el suelo.

1.2. Hipótesis

El comportamiento del potencial hídrico no varía entre las especies vegetales, tomadas de una manera diurna y estacional.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El matorral espinoso tamaulipeco

El matorral espinoso tamaulipeco está localizado en la provincia fisiográfica conocida como planicie costera del golfo. Cubre aproximadamente 200,000 km² del noreste de México y sur de Texas, desde Llera de Canales y los límites sureños de la Sierra Azul de Tamaulipas hasta el altiplano Edwards en Texas, EE.UU. y de las faldas de la Sierra Madre Oriental hasta la costa del Golfo de México. Constituye una vegetación natural única que comprende aproximadamente el 80% de la superficie de los estados de Nuevo León y Tamaulipas (Alanís, 2006).

En dicha región, el clima que predomina es caliente y seco. La mayor parte del año es muy cálido con temperaturas por arriba de los 40°C en verano y 0°C o menores en invierno. La temperatura promedio anual es de 21°C. El régimen de lluvias es muy amplio, varía desde los 200 mm hasta los 900 mm. El promedio histórico del rango de precipitación en la Planicie Costera del Golfo es de 350 a 500 mm. Los suelos son de origen aluvial y arcilloso, se clasifican como castañosos o chestnut (xerosoles), grises o sierozem (xerosoles) y suelos negros o chernozem (regosoles). Los suelos castañosos o chestnut son los más comunes en la Planicie Costera del Golfo, tienen textura franco-arenosa (Merla, 1990).

2.2. El agua en el suelo

Los principales factores intrínsecos de las plantas que afectan la absorción del agua desde el suelo es el potencial hídrico del tejido foliar, su tasa de transpiración y la extensión y eficacia de su sistema radical. Sin embargo, también influyen factores ambientales tales como temperatura, humedad del aire, velocidad del viento, y otros factores propios del suelo, como textura, capacidad de retención hídrica, densidad aparente que tienen relación con el potencial hídrico del tejido foliar (Donoso, 1992).

En el suelo todos los procesos ecológicos son importantes pero el agua que se encuentra en el suelo, en específico aquella que las raíces son capaces de utilizar, es la que posee mayor importancia (Donoso, 1992). Pizarro (1996), establece que el agua es el principal componente de las plantas; en algunos casos, los órganos o estructuras vegetales representan más del 90% en peso. El agua actúa como disolvente, medio de transporte de gases, minerales y otras sustancias esenciales para la vida vegetal y es asimismo un reactivo en procesos fundamentales como la fotosíntesis.

La capacidad del suelo para almacenar agua depende, dentro de sus propiedades físicas, básicamente de características como la textura, estructura, densidad aparente, pedregosidad, porosidad, entre otras (Simpfendorfer, 2001). Parte de agua del suelo que puede ser absorbida a un flujo adecuado para permitir el crecimiento normal de las plantas es el Intervalo de Humedad Disponible (IHD) (Artigao et al., 1984), la cual se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\text{IHD} = \text{CC} - \text{PMP}$$

Donde:

IHD = Intervalo de Humedad Disponible (%)

CC = Capacidad de Campo

PMP = Punto de Marchites Permanente

2.2.1. Contenido de agua en el suelo

Desde el punto de vista agronómico, el contenido útil de agua en los suelos está determinado por los límites situados entre la capacidad de campo, límite superior, y el punto de marchitamiento permanente, límite inferior, que define la cantidad de agua disponible para las plantas. Esos límites corresponden normalmente a un potencial de agua de -0.03 MPa para la capacidad de campo y -1.5 MPa para el punto de marchitamiento permanente (Artigao et al., 1984).

La importancia del potencial hídrico desde el punto de vista teórico es que define el estado energético del agua en el suelo. Pero poco informativo como valor absoluto para la cantidad de agua en un determinado perfil, ya que dependen otras características del suelo principalmente la textura (los suelos arenosos tienen una capacidad de almacenamiento de agua menor a los suelos arcillosos), por lo que un mismo valor de potencial hídrico puede corresponder a muy diferentes volúmenes de agua disponible para las plantas en diferentes tipos de suelo. La importancia de determinar el contenido de agua de los suelos, ya sea en términos de peso o volumen y el estado energético en el que se encuentra el agua (potencial hídrico) generó la necesidad de desarrollar métodos que pudieran cuantificar su disponibilidad para las plantas (Artigao et al., 1984).

2.2.2. Movimiento del agua en el suelo

El agua se mueve por diferencia de potenciales entre los puntos que se produce ese movimiento, de tal manera que siempre fluye de menor a mayor potencial (Artigao et al., 1984). Las fuerzas que originan este movimiento son por gravedad, osmosis y capilaridad. Estos movimientos se dividen en flujo saturado ocurre cuando es por gravedad a succiones menores de 0.03 MPa y flujo no saturado ocurre cuando el agua tiene succiones mayores a 0.03 de MPa donde actúan otras fuerzas a parte de la gravitacional (Donahue et al., 1987).

El régimen de circulación del agua en el suelo depende de la velocidad de infiltración definida como el volumen de agua que entra en el perfil por unidad de tiempo. Si la intensidad de aplicación de agua es menor que la velocidad de infiltración, el suelo no se satura, dando origen a lo que se define como flujo no saturado. En este caso, el agua se va desplazando a través de los poros, aumentando la profundidad de humedecimiento, sin ocupar toda la porosidad disponible. Ese tipo de flujo está condicionado por los potenciales matricial y gravitacional (Honorato, 1994).

Cuando la intensidad de lluvia es superior a la velocidad de infiltración se produce el flujo saturado. La primera consecuencia es la formación de una lámina de agua en la superficie que ir disminuyendo a medida que penetra en el perfil, hasta llegar a la saturación. Su movimiento está condicionado por los potenciales de presión y gravitacional, ya que el potencial matricial está en condiciones de saturación (Honorato, 1994).

La textura del suelo es otra característica importante en la determinación de la velocidad de infiltración. Suelos arcillosos presentan valores inferiores a 5 mm h^{-1} , mientras que en los arenosos ese valor puede ser superior a 30 mm h^{-1} . La infiltración es más intensa en los suelos forestales en relación a los suelos cultivados, para una misma textura. Eso se explica por el hecho de que el excesivo laboreo aplicado a los cultivos lleva a la destrucción de los macroporos, principal mecanismo de movimiento del agua. Los canales producidos por la infiltración en los suelos forestales, así como las galerías resultantes del trabajo de los anélidos como la de la especie *Lumbricus terrestris* (Shaxson et al., 2005).

La redistribución es el movimiento del agua dentro del perfil después de haber cesado la aportación de la misma y está determinada por las diferencias de potencial hídrico. Cuando esas diferencias se anulan, el movimiento de redistribución cesa. En suelos que presentan una capa freática poco profunda, el potencial hídrico de la superficie es generalmente inferior al de la capa freática, lo que produce el ascenso capilar del agua. Cuando la cantidad de

agua que se aplica al suelo penetra por debajo de la zona en que se localizan las raíces o a mayor profundidad de la que se considera, se produce lo que se conoce como agua de drenaje. El drenaje ocurre cuando el potencial gravitacional del perfil inferior es mayor que el potencial matricial (Shaxson et al., 2005).

2.2.3. Importancia del agua en el desarrollo de las plantas

El agua es el componente predominante de los organismos y por tal razón, interviene en la regulación de los procesos biológicos. Es importante para las plantas por el papel crucial que cumple en los procesos fisiológicos y por la gran cantidad que requieren (Steudle, 2000; Andreev, 2001). El agua comprende del 80 al 90% de la biomasa de tejidos vegetales. Está presente en varias formas: como constituyente del protoplasma, como agua de hidratación asociada con iones, disolviendo sustancias orgánicas y macromoléculas, llenando espacios entre estructuras finas del protoplasma y la pared celular almacenada en las vacuolas y finalmente como agua intersticial, que actúa como medio transportador en los espacios intercelulares y en los tejidos de conducción del xilema y el floema (Larcher, 2003; Zyalalov, 2004).

A nivel de la planta, el agua es el medio que transporta carbohidratos, nutrientes y fitohormonas indispensables para el metabolismo vegetal. En condiciones de alta concentración de solutos, las células ejercen presión de turgencia contra las paredes celulares, lo que soporta el crecimiento celular. Cuando las células pierden turgencia, no llevan a cabo el alargamiento y expansión y si esto ocurre por periodos largos de tiempo la planta se deshidrata y muere (Zyalalov, 2004).

El uso eficiente de agua por las plantas terrestres favorece el balance energético de la hoja, ya que el agua evaporada desde las células del mesófilo enfría las superficies foliares. El flujo del proceso de transpiración también

favorece el transporte de nutrientes inorgánicos procedentes del suelo y el transporte de solutos orgánicos, aminoácidos y fitohormonas desde la raíz a las hojas, aunque se destaca que el transporte por el xilema también ocurre en ausencia de transpiración (Steudle, 2000; Larcher, 2003; Zyalalov, 2004).

2.2.4. Respuesta de las plantas frente al estrés

Las plantas están continuamente expuestas a estímulos ambientales que influyen en su desarrollo y crecimiento y determinan su productividad. El déficit de agua es el factor ambiental más común que produce estrés, así como un factor limitante para la productividad. El déficit de agua es el factor ambiental más común que produce estrés, así como un factor limitante para la productividad en las plantas. Sin embargo, las plantas sufren estrés hídrico no solo en la sequía y altas concentraciones de salinidad, sino también en condiciones de bajas temperaturas (Shinozaki et al., 1997).

El estudio de las respuestas de las plantas frente al estrés es un aspecto fundamental de la fisiología ambiental o eco fisiología vegetal, la cual tiene como objetivo conocer como las plantas funcionan en sus ambientes naturales y cuáles son los patrones que determinan su distribución, supervivencia y crecimiento (Kramer et al., 1995; Lambers et al., 1998). Cuando una planta está sometida a condiciones significativamente diferentes de las óptimas para la vida se dice que está sometida a estrés o está bajo tensión; si bien las diferentes especies o variedades difieren en sus requerimientos óptimos y por tanto en su susceptibilidad a un determinado estrés (Hsiao, 1973; Levitt, 1980).

El conocimiento de los mecanismos de resistencia al estrés permite comprender los procesos evolutivos implicados en la adaptación de las plantas a un ambiente adverso y predecir hasta cierto punto la respuesta vegetal a los incrementos de la adversidad asociada en muchos casos al cambio global. Además, pueden ser aplicados para mejorar las características de las plantas tanto en su fase de cultivo como en la selección de variedades que se ajusten a

unos requerimientos ambientales determinados o simplemente, en mejorar la productividad de una especie (Kozlowski et al., 1991; Nilsen et al., 1996).

2.2.5. Estrategias de las plantas frente al déficit hídrico

La disponibilidad hídrica está considerada como el principal factor que afecta la actividad de las plantas en ecosistemas áridos y semiáridos (Di Castri et al., 1981; Blondel et al., 1999). Las plantas muestran ante el estrés hídrico respuestas que tienden a evitarlo o bien mecanismos o adaptaciones que permiten tolerarlo y ambas estrategias coexisten en cualquier tipo de sistemas. El estudio de las respuestas de las plantas al estrés permite conocer como éstas funcionan en sus ambientes naturales y cuáles son los patrones que determinan su distribución, supervivencia y crecimiento (Kramer y Boyer, 1995; Lambers et al., 1998; Ackerly et al., 2002).

La sobrevivencia ante el estrés hídrico durante un periodo corto es importante para todas las plantas y hay tres respuestas: escapar, evitarlo o tolerarlo. Mientras todas las estrategias de tolerancia conllevan una limitación mayor o menor del crecimiento, solo la estrategia de ahorro de agua conlleva a un crecimiento limitado con el caso de la evitación del estrés. Este tipo de estrategia no considerado por muchos autores como de auténtica resistencia al déficit hídrico; es la estrategia elusiva de escape de la sequía, es aquella donde las plantas completan su ciclo vital antes de la llegada del estrés hídrico y por tanto, el periodo desfavorable lo pasan en forma de semilla. En las otras dos estrategias, las plantas soportan el periodo desfavorable en estado vegetativo activo (Levitt, 1980).

Las plantas pueden escapar a la sequía a través de la germinación cuando llega la lluvia, creciendo rápidamente, floreciendo y produciendo semillas antes que el suministro de agua se haya agotado. Esta estrategia es usada por plantas como cactus y agaves. Las plantas anuales, por tanto, escapan a las temporadas secas como semillas, las cuales son órganos muy tolerantes a la

deseccación. Una pequeña fenología asociada con la falta de sensibilidad al fotoperiodo y plasticidad del desarrollo que permite la floración en cualquier etapa del desarrollo de la planta, contribuyen al escape de la sequía (Levitt, 1980).

En la estrategia evitadora del estrés hídrico, las plantas previenen o minimizan la penetración del estrés en sus tejidos, ya que estos son muy sensibles a la deshidratación. Las especies que siguen esta estrategia o bien maximizan la absorción de agua (sistemas radicales profundos) o bien minimizan las pérdidas de agua (cierre de estomas rápido y sensible a ligeros descensos del contenido hídrico de los tejidos o al potencial hídrico, valores en general bajos de conductancia estomática, hojas pequeñas, bajas tasas de transpiración), por lo que dentro de esta estrategia se detectan dos mecanismos evitadores, los cuales se ilustran en el Cuadro 1: uno por derroche de agua, el cual permite mantener hidratados los tejidos en plena sequía siempre que el ascenso al agua del suelo y su distribución interna por el xilema no sea limitante y otro por ahorro de agua (Levitt, 1980; Kozlowski et al., 1991).

El grado de tolerancia varía de una planta a otra, del punto mínimo al punto más elevado. Las plantas que toleran la deshidratación, tienen la habilidad de sobrevivir en un estado mínimo de agua en sus tejidos, como las plantas de resurrección *Craterostigma plantagineum*, una dicotiledónea originaria del Sur de África (Gaff, 1989; Bartels et al., 2001). Además, el ajuste osmótico puede aumentar la tolerancia a la deshidratación, disminuyendo el potencial hídrico en hojas, en el cual el contenido relativo de agua crítico es alcanzado (Flower y Ludlow, 1986).

Cuadro 1. Mecanismo de respuesta al estrés hídrico. RWC, Contenido Hídrico Relativo; SLW, Peso Específico Foliar; Ψ , Potencial Hídrico.

	Rasgo	Estrategia
Hojas	Mantenimiento de Ψ alto	Evitadora
	Mantenimiento de Ψ bajo	Tolerante
	Cierre de estomas a RWC alto	Evitadora
	Cierre de estomas a RWC bajo	Tolerante
	Fuerte cierre de estomas al mediodía	Evitadora
	Baja absorción de la radiación	Evitadora
	Alta capacitancia foliar	Evitadora
	Baja conductancia cuticular	Evitadora
	Alto SLW	Evitadora
	Poca cantidad de hojas	Evitadora
Abscisión foliar durante el estrés	Evitadora	
Raíces	Raíces profundas	Evitadora
	Gran densidad de raíces	Evitadora
	Alta superficie de absorción en relación con baja superficie transpirante	Evitadora
	Raíces suberificadas	Evitadora
	Alta relación biomasa radical/biomasa aérea	Evitadora
	Sistema radical dual	Evitadora
	Alto peso específico radical	Evitadora
	Alta conductividad hidráulica	Evitadora
	Tejidos sensibles a deshidratación (RWC letal >50%)	Evitadora
	Tejidos resistentes a deshidratación (RWC letal <25%)	Tolerante
Resistente a la cavitación del xilema	Tolerante	
Pequeño tamaño celular	Tolerante	
Ajuste osmótico	Tolerante	

Anatomía/Metabolismo	Alta elasticidad de pared celular	Tolerante
	Capacidad de rebrote	Tolerante
	Resistencia a la disfuncionalidad de membrana celular	Tolerante
	Acumulación de sustancias osmoprotectoras (prolina, betaína)	Tolerante
	Sistemas antioxidantes	Tolerante
	Estabilidad de pigmentos fotosintéticos	Tolerante
	Alta foto-inhibición	Tolerante

2.3. Relaciones hídricas

Las relaciones hídricas de las plantas tienen una base físico química bien firme, dado que el estado hídrico se puede describir cuantitativamente mediante la medición del potencial hídrico. Entre más hidratado este el tejido vegetal, más alto es su valor y se acerca a cero. Los valores del potencial hídrico son negativos y se reportan en unidades de presión (Megapascal, MPa). La instrumentación utilizada para la medida del potencial hídrico es: a) Psicrometría (psicrómetros de termopares) y b) Bomba de presión tipo “Scholander” (Valladares et al., 2004).



Figura 1. Instrumentos utilizados para medir el potencial hídrico: psicrómetros de termopares (a) y bomba de presión tipo “Scholander” (b).

En el supuesto que la planta se desarrolla en condiciones de muy baja transpiración, con el sistema radical en un medio bien aireado, húmedo y caluroso, frecuentemente aparecerán gotitas de agua en los ápices y márgenes de las hojas.

Han surgido controversias en las propuestas de acuerdo a numerosos estudios llevados a cabo con diferentes especies de plantas, en condiciones ambientales heterogéneas, estaciones de crecimiento y procesos fisiológicos determinados (Valladares et al., 2004). A medida que el contenido de humedad

decrece, el déficit hídrico se incrementa a tal grado que afecta los procesos fisiológicos y la planta entra en un estrés hídrico. A nivel fisiológico y celular tal como ha sido planteado (Salisbury et al., 1994), el crecimiento celular depende de la absorción del agua por las células, el cual es uno de los procesos que se ven afectado por el estrés hídrico, lo que conlleva a una reducción en el rendimiento vegetal, como la fotosíntesis, síntesis de proteínas y paredes celulares.

2.3.1. Relaciones hídricas en el noreste de México

Estudios realizados por (González et al., 2001), sobre las respuestas adaptativas de las plantas arbustivas encontraron que los valores del potencial hídrico al preamanecer entre los periodos más húmedos y secos fluctuaron entre -0.5 y -7.3 MPa, respectivamente, investigando diez especies. La capacidad de regular el agua (osmoregulacion) fue observada en seis especies arbustivas. Este valor osciló entre -1.11 y -2.65 MPa. En ese mismo estudio, los autores indican que los patrones estacionales de los potenciales hídricos pueden ser explicados por la disponibilidad hídrica en el suelo en un rango de 65 al 87%. Los resultados señalan que las respuestas de las especies arbustivas para evitar el estrés por sequía están relacionadas con sus potenciales hídricos y osmóticos y con la respuesta de la interacción ante variables ambientales, específicamente la disponibilidad de agua en el suelo.

González et al. (2014), realizaron un estudio del comportamiento del potencial hídrico en seis especies arbustivas nativas del noreste de México, donde observaron que todas las especies mostraron la típica forma de variación diurna para para el potencial hídrico. Esto es, que el potencial hídrico mantuvo valores máximos al preamanecer y alcanzar los valores mínimos al mediodía y posteriormente se recupera por la tarde. Sobre una base diurna y con un adecuado contenido de humedad en el suelo (>0.20 kg agua kg^{-1} de suelo), los valores del potencial diurno difieren entre especies de arbustivas y fueron negativamente y significativamente correlacionadas con la temperatura del aire

y déficit de presión de vapor. En cambio, para la humedad relativa se detectó una relación significativa y positiva. Con respecto a una base estacional, durante el periodo más húmedo (contenido de humedad en el suelo >0.20 kg agua kg^{-1} de suelo), los valores más altos en el potencial hídrico al preamanecer (-0.10 MPa) y al mediodía (-1.15 MPa) fueron observados en *Randia rhagocarpa*, mientras que los valores más bajos (-0.26 y -2.73 MPa, respectivamente) fueron detectados en *Acacia amentacea*. Por otro lado, durante el periodo más seco (contenido de humedad en el suelo <0.15 kg agua kg^{-1} de suelo), los valores del potencial hídrico al preamanecer y al mediodía fueron muy bajos (-7.3 MPa) mostrando las especies arbustivas un severo déficit hídrico. El contenido de humedad en el suelo a diferentes profundidades, la humedad relativa y la precipitación fueron significativamente correlacionadas para ambos tanto con el potencial hídrico al preamanecer como al potencial hídrico al mediodía. El promedio del contenido de humedad en el suelo en el perfil de 0-50 cm explica entre un 70% y 80% de la variación del potencial hídrico al preamanecer. Adicionalmente, en dicho estudio se observó que un contenido gravimétrico de la humedad del suelo superior al 0.15 kg agua kg^{-1} de suelo, los valores del potencial hídrico al preamanecer son altos y constantes; por debajo de este umbral, los valores del potencial disminuyen gradualmente. Entre las seis especies de arbustos estudiadas, la especie *Acacia amentacea* es la más tolerante a la sequía, ya que durante dicho periodo la especie tiende a mantener valores del potencial hídrico al pre amanecer significativamente más altos en relación a *Bernardia myricaefolia*. El resto de las especies mostraron un comportamiento intermedio. Se concluye que la habilidad de las especies arbustivas bajo estrés de sequía depende de absorción de agua y como controla la pérdida de agua a través del flujo transpiracional.

González et al. (2008), estudiaron el comportamiento del potencial hídrico en especies arbustivas del noreste de México, encontrando durante el periodo más húmedo potenciales hídricos al pre amanecer de -0.72 (*Cordia boissieri*) a -1.30 MPa (*Bumelia celastrina*). En cambio, durante el periodo seco, el potencial hídrico fluctuó de -2.90 MPa (*B. celastrina*) a -6.10 MPa (*Diospyros texana*). Por

el contrario, los potenciales hídricos al mediodía, en el periodo húmedo los valores registrados oscilaron de -3.6 MPa a -6.0 MPa (*B. celastrina*). Los valores diurnos del potencial hídrico fueron correlacionados negativamente con la temperatura del aire y el déficit de presión de vapor, en cambio, se relacionó positivamente con la humedad relativa. En dicho estudio, la capacidad de las especies para enfrentar el estrés por sequía depende de la forma en cómo se adquiere el agua y la manera de controlar en menor grado la pérdida de esta a través de la transpiración.

Uvalle (2008), en un estudio realizado con diez especies nativas del noreste de México, en épocas de sequía y de humedad en dos sitios de estudio con un patrón climático similar, encontró los valores más bajos en el potencial hídrico al mediodía para las especies *Zanthoxylum fagara* (-7.0 MPa) bajo la condición de sequía. Los valores más altos fue detectado en *Lantana macropoda* (-0.30 MPa) bajo condiciones de humedad favorable. Adicionalmente, Uvalle (2008) observó valores altos en la potencial hídrico al permanecer para las especies *Forestiera angustifolia* y *L. macropoda* ambas con -0.55 MPa. Por lo que concluyó, que los valores de los potenciales hídricos al permanecer y al mediodía están relacionados a las diferencias en los contenidos de humedad disponibles en el suelo y probablemente a los componentes de la demanda evaporativa atmosférica.

En otro estudio, González *et al.*, (2010), reportaron que el comportamiento del potencial hídrico al permanecer durante la época húmeda oscilaron de -0.29 MPa (*Celits pallida* y *Castela texana*) a -0.37 MPa (*Forestiera angustifolia* y *Zanthoxylum fagara*) y para el periodo seco, los valores fluctuaron de -3.28 MPa (*F. angustifolia*) a -4.50 MPa (*Z. fagara*). En lo que respecta a los potenciales al mediodía, *E. texana* registró los valores más altos (-1.14 MPa) y bajos (-4.20 MPa) tanto para el periodo húmedo como para el seco, respectivamente. Dichos autores señalan que la temperatura del aire y el déficit de presión de vapor influyen negativamente con los valores del potencial hídrico en todas estas especies, contrariamente, el aumento de este se debe en gran término al

incremento en la humedad relativa. En el mencionado estudio, se concluyó que las especies *F. angustifolia* y *C. pallida* fueron las que mantuvieron los valores más altos tanto para los potenciales hídricos al permanecer como al mediodía bajo condiciones de estrés hídrico, siendo consideradas estas especies aptas para la sequía. En cambio, las especies *Z. fagara* y *E. texana* adquirieron los valores más bajos siendo las menos aptas para la sequía.

González et al. (2011), determinaron el potencial hídrico xilemático de especies arbustivas nativas tales como *Celtis pallida*, *Acacia amantacea*, *Forestiera angustifolia*, y *Parkinsonia texana* encontrando fluctuaciones para el periodo más húmedo al pre-amanecer de -0.30 (*C. pallida*) a -0.90 MPa (*P. texana*); en cambio, en el periodo más seco el potencial hídrico al pre amanecer fluctuó de -2.18 (*P. texana*) a -3.94 MPa (*F. angustifolia*). Al mediodía, *P. texana* y *F. angustifolia* mostraron el mayor (-1.14 MPa) y menor (-3.38 MPa) valor, respectivamente. En dicho estudio se observó que el contenido promedio de humedad en el suelo en el perfil de profundidad de 0-50 cm explica que entre el 82 y 33% de la variación del potencial hídrico al pre-amanecer. El potencial hídrico del mediodía, los contenidos de humedad del suelo a diferentes profundidades y la humedad relativa se correlacionaron significativamente y positivamente con el potencial hídrico al pre-amanecer; en cambio, la temperatura del aire y el déficit de presión de vapor se correlacionaron negativamente. Dado que *A. amantacea* y *P. texana* mantuvieron altos valores en el potencial hídrico al pre-amanecer y al mediodía bajo condiciones de estrés hídrico, estas especies fueron consideradas como tolerantes a la sequía.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características del área de estudio

3.1.1. Ubicación

El estudio se desarrolló de abril a septiembre 2014 en el Campus de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Las coordenadas geográficas del sitio experimental son 24°47'N; 99°32'O, con una elevación de 350 m snm, el cual se ilustra en la Figura 2. La vegetación predominante en el sitio de estudio es el Matorral Espinoso Tamaulipeco o Matorral Subtropical Espinoso. El clima característico de la región se clasifica semicálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual oscila entre los 16 a 24°C, con una precipitación media anual de 500 mm (INEGI, 2009). La precipitación media anual es de 805 mm con distribución bimodal.

3.1.2. Suelo

El suelo que comúnmente se encuentran en el sitio son vertisoles profundos con una coloración gris-oscuro; son arcillo-limosos con altos contenidos de montmorillonita, los cuales se expanden y contraen en relación a los cambios de contenido de humedad en el suelo. (COTECOCA-SARH, 1973; SPP-INEGI, 1986).

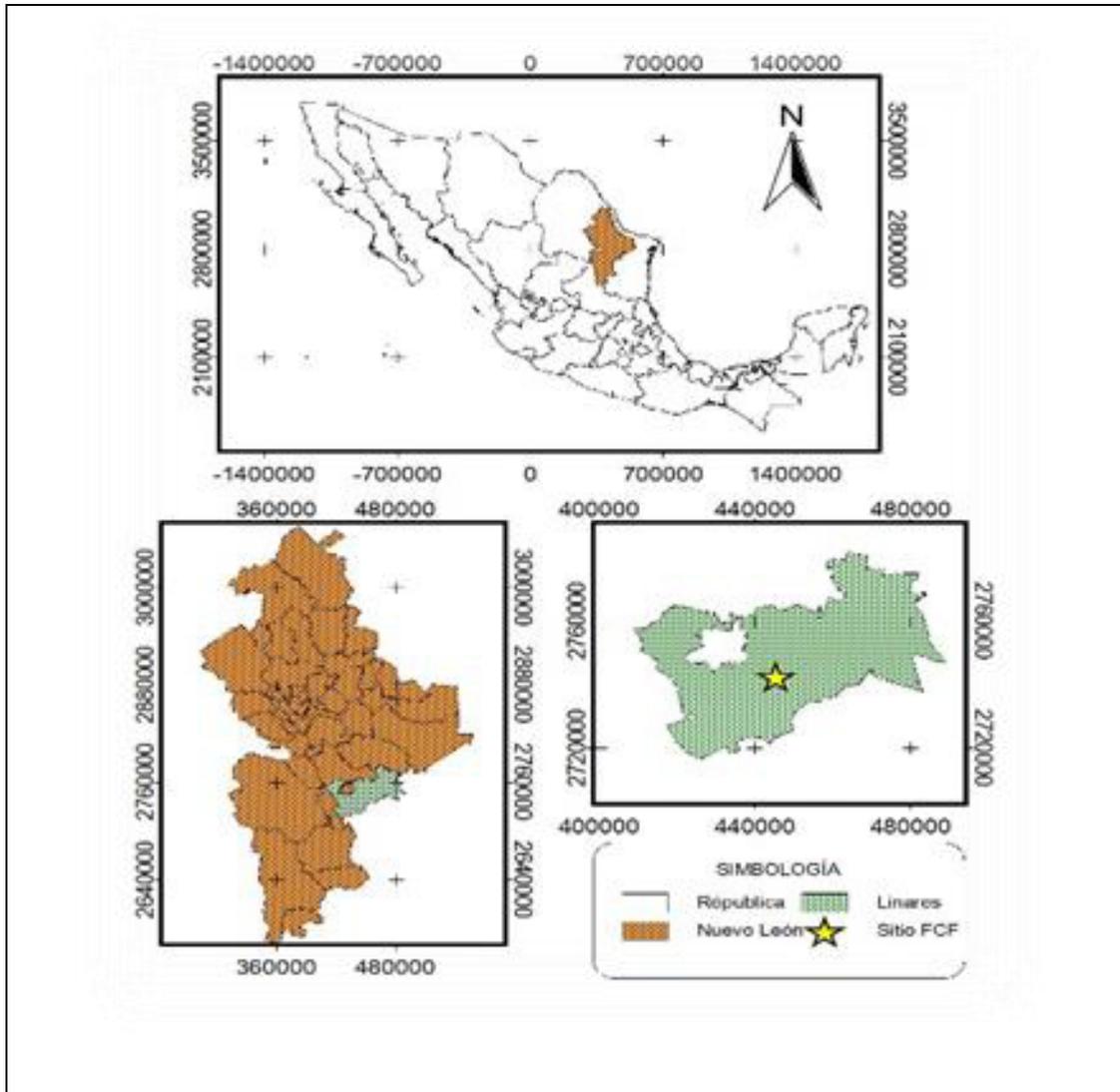


Figura 2. Ubicación del sitio de estudio en Linares, Nuevo León, México.

3.1.3. Vegetación del área de estudio

El principal tipo de vegetación que se encuentra en el sitio de estudio, es conocido como matorral espinoso tamaulipeco (MET), el cual se compone de arbustos, zacatales y árboles diversos, densos y espinosos, los cuales se distinguen por tener un amplio rango taxonómico, presentando patrones de crecimiento diferente, diversidad en desarrollos fenológicos, dinámicas de crecimiento y longevidad foliar (Alanís et al., 1996).

3.1.4. Material vegetal

De acuerdo a su importancia ecológica y uso como plantas maderables del MET, se seleccionaron cuatro especies nativas en una parcela de 50 x 50 m sin disturbio; los nombres de las plantas se presentan en el Cuadro 2. Aleatoriamente se eligieron cinco plantas de cada especie seleccionada.

Cuadro 2. Especies de plantas seleccionadas para la medición del potencial hídrico (Ψ).

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Condalia hookeri</i>	Brasil	Rhamnaceae
<i>Dyospiros texana</i>	Chapote	Ebenaceae
<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite	Fabaceae
<i>Zanthoxylum fagara</i>	Colima	Rutaceae

3.2. Descripción de las especies estudiadas

3.2.1. *Condalia hookeri* Schlecht.

Arbusto espinoso de 1 a 6 m de alto; tallos muy ramificados, rígidos, de color grisáceo café; hojas alternas o en fascículos de 2 a 5 estipulas persistentes, de dos o menos, de 1 mm de largo, peciolo cortos, laminas obovadas de 4 a 7 mm de largo por 1 a 3 mm de ancho, ápice agudo o redondeado mucronado, borde entero, base cuneada, haz glabrado, con pequeñas vesículas, envés ligeramente pubescente, con nervaduras poco manifiestas, flores axilares, pétalos ausentes; estambres alternos a los sépalos, las anteras de alrededor de 0.2 mm de largo; fruto inicialmente alargado, de 5 a 6 mm de largo, esférico y negro en la madurez, comestible; semillas 1 o 2 (Rzedowski *et al.*, 2005).



Figura 3. *Condalia hookeri* Schlecht.

3.2.2. *Dyospiros texana* Scheele.

Arbusto o árbol pequeño algunas veces hasta 16 m altura, tronco de 6 dm espesor, la madera compacta casi negro; corteza lisa, gris rojizo, las capas exteriores de pelado para dejar los troncos y tallos parecidos a los de crespón-mirto; hojas casi sésiles, coriáceas, ampliamente ovadas, de unos 5 cm largo, pubescentes por debajo; corola blanca, seríceo, de 8-12 mm largo; fruto negro cuando está maduro, de 2 cm diámetro, la pulpa jugosa negro dulce y comestible; semillas 3-8.



Figura 4. *Dyospiros texana* Scheele.

3.2.3. *Prosopis laevigata* (Wild.) M. C. Johnst.

Árbol de 2 a 5 m de altura; aunque generalmente menor; tronco de 2 a 17 cm de diámetro, corteza gruesa de color café negruzco, algo fisurada; copa ancha, ramas glabras, armadas de espinas estipulares de 1 a 3 cm de largo; hojas pecioladas con 1 a 3 pares de pinnas, cada una con 10 a 20 pares de folíolos sésiles, oblongos a lineares de 5 a 10 mm de largo por 1 a 2 mm de ancho, ápice obtuso, margen entero, glabros, ligeramente pubescentes, flores dispuestas en espiga densa de 5 a 8 cm de largo, flores blanco amarillentas sésiles; pétalos agudos, estambres de 2 a 4 mm de largo, legumbre linear de 7 a 15 cm de largo por 8 a 10 mm de ancho, comprimida glabra, de color café amarillento con partes rojizas, constreñida entre las semillas; estas oblongas de 8 a 10 mm de largo, color blanco amarillento.



Figura 5. *Prosopis laevigata* (Wild.) M. C. Johnst.

3.2.4. *Zanthoxylum fagara* (L) Sarg.

Arbusto o pequeño árbol que alcanza un tamaño de 2 a 12 m de alto, a veces decumbente, troncos y ramas armadas con acúleos. Las hojas alternas e imparipinnadas, de 4 a 9 cm de largo, ápice obtuso, base truncada, margen crenulado. Las inflorescencias son terminales y axilares, de 1 a 3 cm de largo. Semillas de 3 a 4 mm de largo (Rzedowski *et al.*, 2005).



Figura 6. *Zanthoxylum fagara* (L) Sarg.

3.3. Metodología

3.3.1. Medición del potencial hídrico del xilema (Ψ)

La determinación de los potenciales hídricos del xilema para las cuatro especies, se realizó a intervalos de quince días del 1 de abril al 17 de septiembre; 2014. En cada fecha de muestreo, se tomaron ramillas terminales de cinco individuos (repeticiones), representativos y permanentemente etiquetados por especie. Fueron seleccionados aleatoriamente dentro de la parcela experimental; misma de donde se tomaron ramillas terminales para realizar mediciones a las 06:00 hrs (pre-amanecer) y 14:00 hrs (mediodía). Durante el ciclo de muestreo en dos eventos se lluvia se llevó a cabo un muestreo diurno (cada dos horas) iniciando a las 06:00 hrs y concluyendo a las 18:00 hrs.

Esta evaluación hídrica se realiza midiendo la tensión del agua en el xilema (Taiz y Zeiger, 1991), el cual es aproximadamente al potencial hídrico foliar (Ψ), usando la cámara de presión Scholander (Modelo 3005, Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbará, CA, EE.UU.) con un umbral de medición de - 6.5 MPa y usando gas nitrógeno (N_2) como fuente de presurización (Richie y Hinckley, 1975).

3.3.2. Variables ambientales

Variables ambientales tales como: temperatura del aire ($^{\circ}C$), humedad relativa (%) y precipitación (mm) se obtuvieron en base horaria a partir de un mes antes (marzo) del periodo de estudio, de abril a septiembre del 2014, de la estación meteorológica de la Facultad de Ciencias Forestales, usando sensores automatizados Davis Vantage PRO2. El déficit de presión de vapor atmosférico (DPV, kPa) fue derivado a partir de los datos de temperatura y humedad relativa (Rosenberg et al., 1983). El contenido gravimétrico de humedad del suelo (%; base seca) se obtuvo en cada fecha de muestreo, y se determinó en muestras extraídas a diferentes perfiles de profundidad (cm) siendo estas de 0-10, 10-20,

20-30, 30-40 y 40-50, utilizando una barreta de diseño “Veihmeyer” (Modelo 215, Soilmoisture Equipment Corp.). Este contenido se determinó mediante el secado de la muestra del suelo en una estufa de aire forzado a 105° C por 24 horas hasta alcanzar peso constante (Taylor y Aschroft, 1972) considerando cuatro repeticiones por profundidad.

3.3.3. Caracterización física y química del suelo

Para llevar a cabo la caracterización de algunas propiedades físicas y químicas en el sitio de estudio, se realizó un muestreo en Abril 15 del 2014, a dos profundidades (0-20 cm y 20-40). Se realizaron tres repeticiones al azar dentro de la parcela experimental. La determinación de densidad aparente (DA; Mg m^{-3}) se realizó por el método gravimétrico utilizando cilindros metálicos de 98.7 cm^{-3} , en las tres paredes intactas del sitio en donde se obtuvo la muestra del suelo. Las muestras fueron corregidas por pedregosidad cuando fue necesario. Para el resto de los análisis físicos y químicos, las muestras de suelo fueron colocadas en bolsas de plástico etiquetadas y trasladadas al Laboratorio de Suelos y Nutrición Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Se colocaron las muestras al aire libre para secado, después se molieron con un mazo de madera y se tamizaron a 2 mm. El suelo fino extraído fue utilizado para determinar: pH, conductividad eléctrica (CE; $\mu\text{S cm}^{-1}$), materia orgánica (MO; %) y textura (g kg^{-1} suelo). Los análisis se realizaron de acuerdo al manual de suelos descritos por Woerner (1989), Cuadro 3. Para obtener el contenido de humedad en el suelo se hizo un muestreo cada fecha de muestreo durante el periodo experimental, se tomó a cinco profundidades y cuatro repeticiones para cada una; las muestras se pesaron para registrar su peso húmedo para posteriormente colocarlas en una estufa a 105°C durante 72 horas hasta alcanzar peso constante, para registrar su peso seco y realizar los cálculos pertinentes (Cuadro 10).

Cuadro 3. Determinaciones analíticas y métodos utilizados en el análisis de suelo.

Determinación	Método
Materia orgánica	Método de combustión y titulación según Walkley-Back (Woerner, 1989)
Reacción del suelo (pH)	Potenciómetro en suspensión suelo-agua Relación 1:2:5 (p/v) (Woerner, 1989)
Conductividad eléctrica	Determinación en suspensión suelo-agua Relación 1:5 (p/v) (Woerner, 1989)
Análisis granulométrico	Método de Hidrómetro Bouyoucos (Gee y Bauder, 1986)
Densidad aparente	Método del cilindro (Blake y Hartge, 1986)

Los resultados obtenidos de la caracterización físico-química del suelo por profundidad para el sitio de estudio se presentan en el Cuadro 4. La clase textural determinada para la profundidad (0-20 cm) correspondió a Franco Arcilloso Limoso, mientras que para la profundidad (20-40 cm) la clase textural fue Franco Arcilloso Limoso.

Cuadro 4. Propiedades físicas y químicas para el suelo del sitio de estudio.

Perfil de profundidad del suelo (cm)	Densidad aparente (Mg m ⁻³)	Arena	Limo (%)	Arcilla	pH	Conductividad eléctrica (μS cm ⁻¹)	Materia orgánica (%)
0-20	0.81	53.6	318	628.4	7.39	78.24	3.82
20-40	0.81	46.6	358	595.3	7.46	70.81	3.39

3.3.4. Análisis estadísticos

Los datos de los potenciales hídricos al preamanecer (Ψ_{pd}) y del mediodía (Ψ_{md}) fueron sometidos a un análisis de Kruskal Wallis para comparar las diferencias de los Ψ entre las especies, ya que no mostraron homogeneidad de varianzas ni distribución normal. Los datos del contenido gravimétrico de humedad en el suelo a diferentes perfiles de profundidad (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 y 40-50 cm), se sometieron a un análisis de varianza con un criterio de clasificación (Steel y Torrie, 1980) y la prueba de comparación de medias fue mediante el procedimiento de de Tukey $p < 0.05$ (Steel y Torrie, 1980).

Se realizó correlación de Spearman para valores del potencial hídrico xilemático estacional y diurno entre el Ψ_{pd} y Ψ_{md} de las diferentes especies nativas con relación a las variables ambientales (temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, déficit de presión de vapor, y contenido gravimétrico de humedad en suelo). Los procedimientos estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SPSS (por sus siglas en inglés Statistical Package for the Social Sciences, versión 13.0 para Windows. SPSS Inc., Chicado, IL, USA).

4. RESULTADOS

4.1. Ambiente Físico

4.1.1. Temperatura

El comportamiento de la temperatura que se presentó durante el periodo experimental en el sitio de estudio se ilustra en la Figura 7. Las temperaturas máximas fluctuaron de 34.9°C (Julio) a 36.3°C (Agosto), las temperaturas mínimas extremas oscilaron de 12.4°C (Marzo) a 15.7°C (Junio). La temperatura media mensual varió de 17.5°C (Marzo) a 28.2°C (Agosto).

4.1.2. Humedad relativa

En la relación a la humedad relativa registrada durante el periodo experimental, esta variable ambiental se denota en la Figura 8. Los registros de humedad relativa máxima fueron de 99 a 98% durante todo el periodo de estudio, en relación a la humedad relativa mínima varió entre 39.0% (Agosto) a 63.5% (Septiembre) y para la humedad relativa media fluctuó de 69.7% (Marzo) a 84.1% (Septiembre).

4.1.3. Precipitación

Con respecto a la precipitación (Figura 9), se registró una lluvia acumulada de 526.10 mm durante el periodo de estudio (Marzo-Septiembre). La mayor precipitación se observó en el mes de Septiembre (96.98 mm) representando el 18.43% del total de la precipitación registrada durante el periodo experimental. Por otro parte, la menor precipitación se registró durante el mes de Agosto (3.27 mm), correspondiente al 0.62% del total de la precipitación registrada en el periodo experimental.

4.1.4. Contenido gravimétrico de humedad en el suelo

Para el contenido gravimétrico de humedad en el suelo, se realizó un ANOVA para los doce muestreos realizados (Abr-01, Abr-15, May-03, May-16, May-31, Jun-13, Jun-27, Jul-15, Ago-04, Ago-14, Sep-09 y Sep-17) y mostró diferencia significativa ($p < 0.05$) el 15 de abril, 16-31 de mayo, 4 de agosto y 17 de septiembre. El contenido gravimétrico de humedad en el suelo para los cinco perfiles de profundidad se ilustra en la (Figura 10). Los valores del contenido gravimétrico de humedad en el suelo a diferentes perfiles de profundidad, para las 12 fechas de muestreo, mostraron que el contenido máximo se registró en Sep 17 perfil 20-30 cm y en May 31 perfil 10-20 cm con 0.25 kg kg^{-1} , el contenido mínimo en May 03 perfil 40-50 cm con 0.10 kg kg^{-1} , se presentan en la Figura 3 Los resultados indican que los contenidos de humedad en el suelo variaron y obedecieron un patrón conforme a la incidencia o ausencia de precipitación.

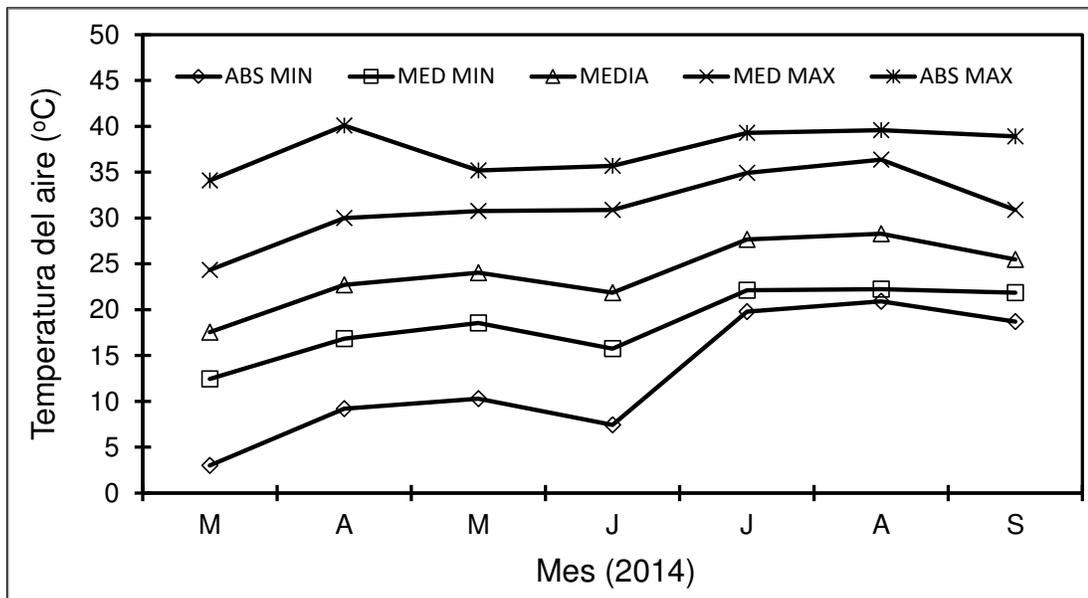


Figura 7. Temperatura del aire, absoluta mínima, media mínima, media, media máxima y absoluta máxima registrada en el sitio de estudio.

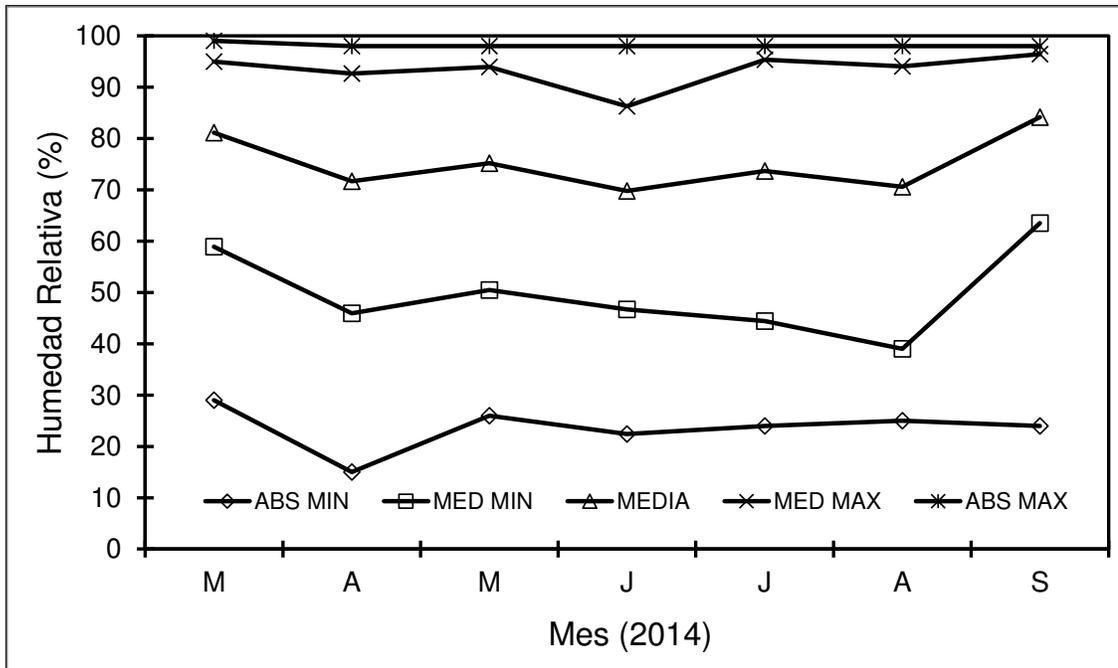


Figura 8. Humedad relativa absoluta mínima, media mínima, media, media máxima y absoluta máxima registrada en el sitio de estudio.

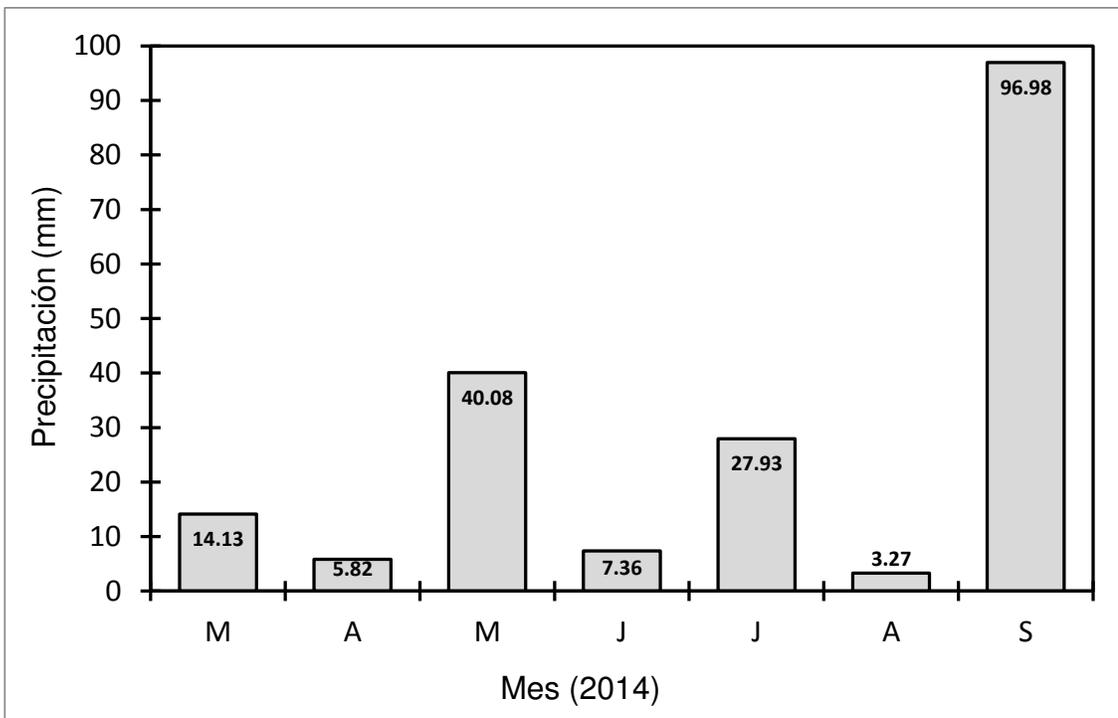


Figura 9. Precipitación mensual en milímetros registrada durante el ciclo experimental.

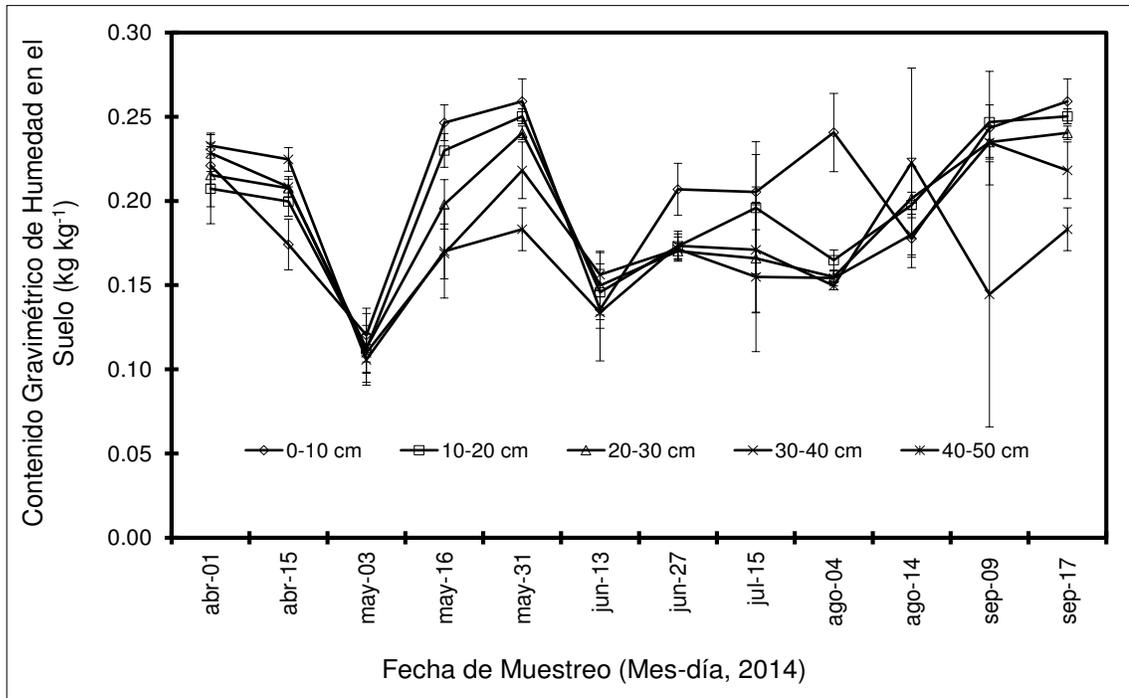


Figura 10. Contenido gravimétrico de humedad del suelo a cinco profundidades (cm) en las diferentes fechas de muestreo en el ciclo de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=4) \pm error estándar.

Cuadro 5. Cuadrado Medio del Error (CME), Valores F y P en clasificación para las 12 fechas de muestreo del contenido gravimétrico de la humedad en el suelo.

Fecha de muestreo (Mes-Día; 2014)	Variable		
	Contenido de humedad del suelo		
	CME	Valor <i>F</i>	Valor <i>P</i>
Abr-01	0.001	0.475	0.754
Abr-15	<0.001	4.086	0.02
May-03	0.001	0.117	0.974
May-16	0.001	4.389	0.015
May-31	0.001	7.013	0.002
Jun-13	0.001	0.261	0.898
Jun-27	<0.001	2.773	0.066
Jul-15	0.005	0.349	0.841
Ago-04	<0.001	11.863	<0.001
Ago-14	0.001	0.475	0.754
Sep-09	<0.001	4.086	0.02
Sep-17	0.001	0.117	0.974

4.2. Relaciones Hídricas

4.2.1. Variación estacional del potencial hídrico xilemático

El desarrollo estacional del potencial hídrico al preamanecer (Ψ_{pd} ; 06:00 hrs) y al mediodía (Ψ_{md} ; 14:00) en las cuatro especies se muestra en la Figura 11. En relación a los análisis estadísticos de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, se encontraron en 5 de 12 muestreos realizados, diferencias estadísticas entre las especies nativas ($p < 0.05$; tres para el Ψ_{pd} en las fechas 01-Abr, 15-Abr y 17-Sep 0.02 y dos para el Ψ_{md} 15-Jul y 14-Ago; las cuales se indican, respectivamente, en el Cuadro 6. Durante el periodo de investigación, en general el potencial hídrico al preamanecer osciló de -0.34 MPa (*Z. fagara*) a -2.29 MPa (*D. texana*) ilustrándose dicho patrón en la Figura 11a mientras que el potencial hídrico al mediodía fluctuó de -1.2 MPa (*C. hookeri*) a -2.64 MPa (*D. texana*). Con respecto al patrón estacional del potencial hídrico al preamanecer durante el periodo más húmedo (Sep. Figura 11a), se observaron valores que fluctuaron de -0.34 MPa (*Z. fagara*) a -0.75 MPa (*P. laevigata*) mientras que al mediodía (Figura 11b) los valores oscilaron de -1.14 MPa (*Z. fagara*) a -1.91 MPa (*D. texana*). Por el contrario, durante el periodo más seco (Ago), el máximo valor en el potencial hídrico al pre-amanecer varió de -0.73 MPa (*Z. fagara*) a -1.63 MPa (*D. texana*), mientras que al mediodía, los valores fluctuaron de -1.50 MPa (*P. laevigata*) a -2.64 MPa (*D. texana*).

4.2.2. Variación diurna del potencial hídrico xilemático

Con el fin de caracterizar el curso diurno del potencial hídrico que presentó cada especie en las dos fechas de muestreo (31-May y 17-Sep), respectivamente, se muestra en la Figura 12 (a y b). El seguimiento del potencial hídrico diurno en su fase (06:00, 08:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00) muestra una tendencia diurna típica, donde se registra el potencial hídrico con valor máximo a las 06:00 hrs y un descenso gradual hasta alcanzar valores mínimos a las 14:00 hrs y una recuperación a valores máximos a las 18:00 hrs. Lo que respecta las variables ambientales en la fecha de 31-May (06:00 hrs) a mayor humedad relativa (95%), menor temperatura (21.1°C) y menor déficit de presión de vapor (0.125 kPa). Los valores de los potenciales hídricos se mantuvieron por debajo de (-0.5 MPa) en las cuatro especies nativas. En cambio, a las 16:00 hrs, al alcanzar una baja humedad relativa (38%), mayor temperatura (34.3°C) y el déficit de presión de vapor elevado (3.35 kPa), las especies tienden a disminuir sus potenciales alcanzando valores de -2.3 MPa. Posteriormente, a las 18:00 hrs las especies mostraron una recuperación ante el incremento de humedad relativa (47%), descenso en la temperatura (32.8°C) y el déficit de presión de vapor bajó (2.63 kPa). El 17-Sep (06:00 hrs) con humedad relativa (97%), menor temperatura (21.4 °C) y menor déficit de presión de vapor (0.07 kPa) los valores de los potenciales hídricos se mantuvieron por debajo de (-0.5 MPa) en las cuatro especies nativas. A partir de las 14:00 hrs se alcanzó una baja humedad relativa (66%), mayor temperatura (30.3°C) y el déficit de presión de vapor elevado (1.467 kPa), las especies disminuyeron sus potenciales alcanzando valores de -1.82 MPa. Posterior a las 18:00 hrs, las especies mostraron una recuperación, la humedad relativa se mantuvo (66%), la temperatura descendió (30.1°C), el déficit de presión de vapor se ha reducido (1.451 kPa) y los potenciales hídricos alcanzaron valores de -1.10 MPa. Sin embargo la respuesta de cada especie es diferente a su interacción en los cambios durante el día.

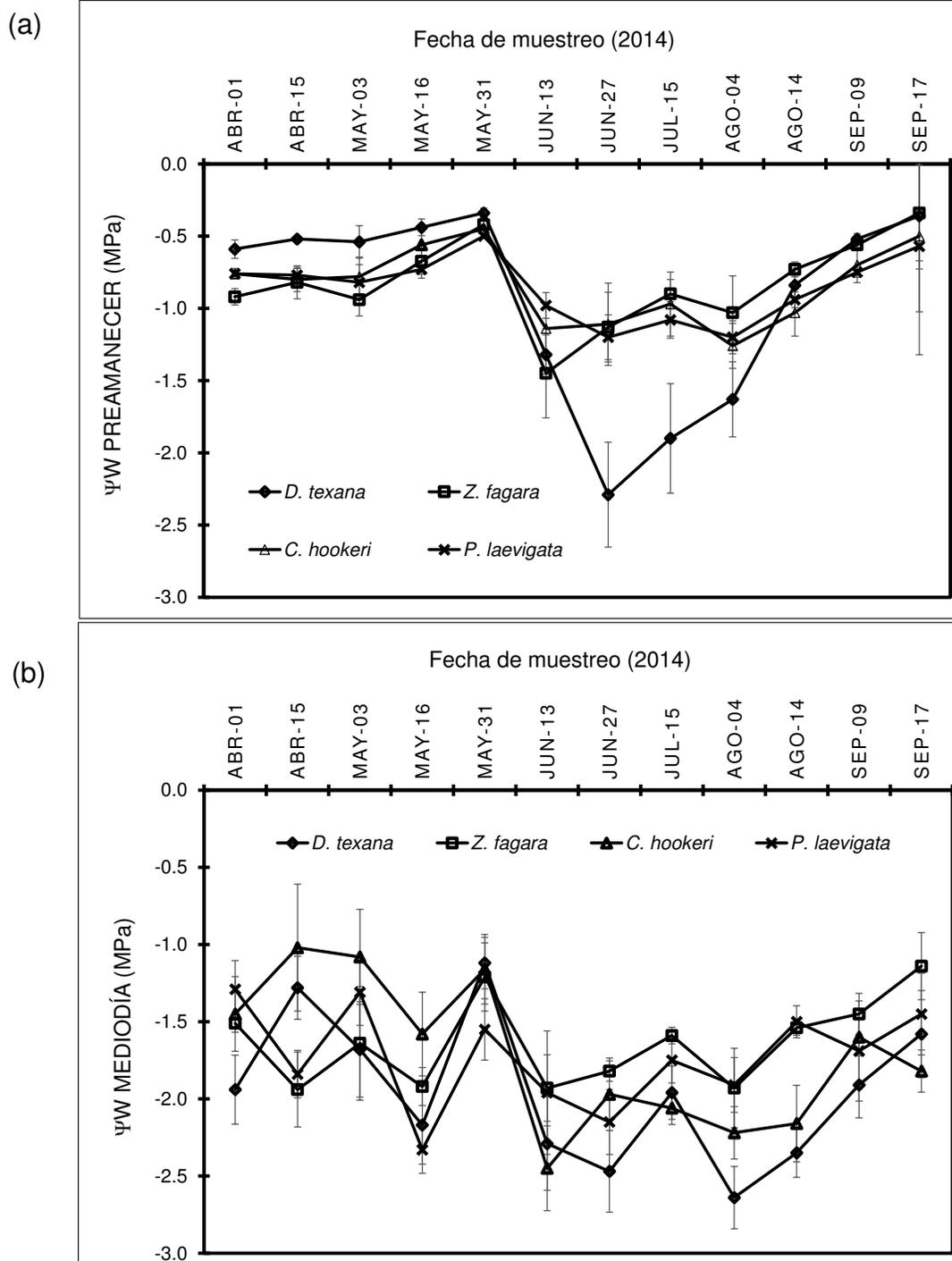


Figura 11. Potencial hídrico xilemático en cuatro especies nativas obtenidos al preamanecer (a) y al mediodía (b) en las 12 fechas de muestreo. Cada valor graficado representa la media ($n=5$) \pm error estándar.

Cuadro 6. Prueba de Kruskal-Wallis con clasificación para el Ψ_{pd} y Ψ_{md} en cada fecha de muestreo para detectar diferencias significativas en el potencial hídrico entre las especies.

Muestreo 2014	Ψ_{pd}		Ψ_{md}	
	χ^2	Valor P	χ^2	Valor P
01-abr	10.889	0.012	3.76	0.289
15-abr	10.371	0.016	6.154	0.104
03-may	5.539	0.136	2.796	0.424
16-may	5.817	0.121	5.627	0.131
31-may	6.340	0.096	3.125	0.373
13-jun	2.482	0.478	2.167	0.538
27-jun	6.894	0.075	5.565	0.135
15-jul	6.412	0.093	8.123	0.044
04-ago	3.274	0.351	5.965	0.113
14-ago	3.479	0.324	10.655	0.014
09-sep	7.145	0.067	3.326	0.344
17-sep	9.867	0.020	4.268	0.234

($p \leq 0.05$)

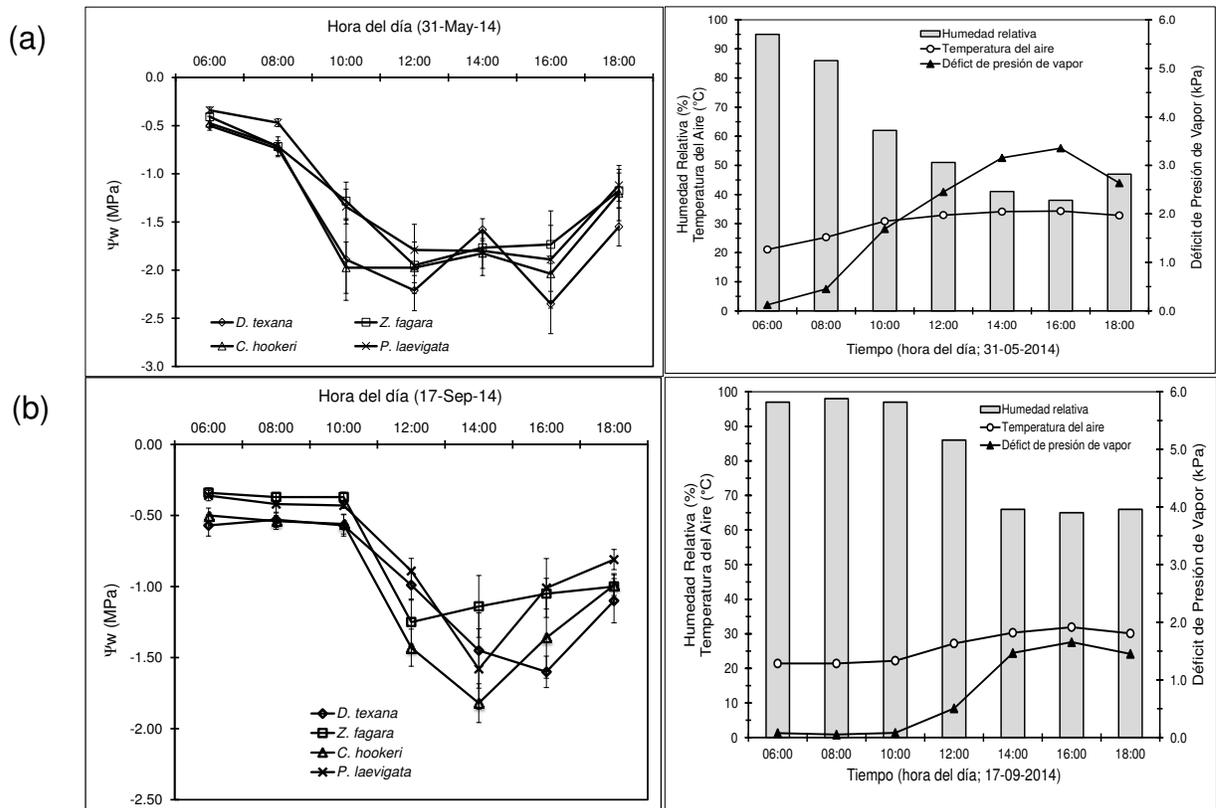


Figura 12. Potencial hídrico xilemático diurno en las cuatro especies nativas y las condiciones ambientales (humedad relativa, temperatura del aire y déficit de presión de vapor en dos fechas de muestreo May-31 (a) y Sep-17 (b). Cada valor graficado en los potenciales hídricos representa la media ($n=5$) \pm error estándar.

4.3. Relaciones potencial hídrico – Variables ambientales

4.3.1. Relaciones estacionales

De acuerdo con el análisis de correlación de Spearman para relacionar el potencial hídrico estacional (preamanecer y al mediodía) de las cuatro especies nativas con las variables ambientales (contenido de humedad del suelo a diferentes profundidades, temperatura del aire, humedad relativa y precipitación) se observó lo siguiente: el potencial hídrico al pre-amanecer mostró una relación positiva y significativa ($p < 0.05$) con el contenido de humedad del suelo a diferentes perfiles de profundidad del suelo (Cuadro 7). Los valores fluctuaron de 0.585 a 0.900. No obstante, no se detectó correlación alguna entre los potenciales hídricos al mediodía con respecto a la temperatura y humedad relativa, pero sí con la precipitación, particularmente en las especies *Z. fagara* y *C. hookeri*. En relación al potencial hídrico al mediodía, este solo se correlacionó, en general con los contenidos de humedad para las profundidades 10-20, 20-30 y 30-40 cm, y con la precipitación para la especie *Z. fagara*. La correlación entre el potencial hídrico al mediodía registró en el contenido de humedad en el suelo el perfil de profundidad 0-10 cm con las especies nativas no significativo; el perfil 10-20 cm *Z. fagara* $p \leq 0.05$, para 20-30 cm *D. texana* y la misma significancia para el perfil 30-40 y 40-50 cm *Z. fagara*, misma especie con la que tuvo correlación la precipitación, cuyas correlaciones se ilustran en el Cuadro 5.

Cuadro 7. Coeficiente de correlación de Spearman para valores del potencial hídrico xilemático entre el Ψ_{pd} y Ψ_{md} con relación a las variables ambientales.

Variable ambiental	Especie nativa			
	<i>D. texana</i>	<i>Z. fagara</i>	<i>C. hookeri</i>	<i>P. laevigata</i>
Potencial hídrico al preamanecer				
Contenido de humedad del suelo				
• Profundidad 0-10 cm	0.537 ^{NS}	0.683*	0.634*	0.600*
• Profundidad 10-20 cm	0.758**	0.900**	0.830**	0.842**
• Profundidad 20-30 cm	0.680*	0.818**	0.734**	0.764**
• Profundidad 30-40 cm	0.516 ^{NS}	0.613*	0.585*	0.642*
• Profundidad 40-50 cm	0.179 ^{NS}	0.340 ^{NS}	0.235 ^{NS}	0.260 ^{NS}
Temperatura del aire	-0.226 ^{NS}	0.165 ^{NS}	-0.221 ^{NS}	-0.200 ^{NS}
Humedad relativa	0.027 ^{NS}	0.275 ^{NS}	0.068 ^{NS}	0.091 ^{NS}
Precipitación	0.419 ^{NS}	0.637*	0.694*	0.498 ^{NS}
Potencial hídrico al mediodía				
Contenido de humedad del suelo				
• Profundidad 0-10 cm	0.203 ^{NS}	0.572 ^{NS}	0.07 ^{NS}	-0.007 ^{NS}
• Profundidad 10-20 cm	0.560 ^{NS}	0.660*	0.364 ^{NS}	0.217 ^{NS}
• Profundidad 20-30 cm	0.580*	0.683*	0.385 ^{NS}	0.343 ^{NS}
• Profundidad 30-40 cm	0.462 ^{NS}	0.607*	0.322 ^{NS}	0.343 ^{NS}
• Profundidad 40-50 cm	0.245 ^{NS}	0.249 ^{NS}	0.280 ^{NS}	0.308 ^{NS}
Temperatura del aire	-0.343 ^{NS}	0.375 ^{NS}	-0.531 ^{NS}	0.049 ^{NS}
Humedad relativa	-0.119 ^{NS}	0.363 ^{NS}	-0.413 ^{NS}	0.133 ^{NS}
Precipitación	0.455 ^{NS}	0.667*	0.263 ^{NS}	0.214 ^{NS}

NS=no significativo $p \leq 0.05$; * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$

4.3.2. Relaciones diurnas

Los resultados estadísticos obtenidos del análisis de correlación de Spearman (n=56) entre el potencial hídrico xilemático diurno determinado en las cuatro especies nativas con respecto a la temperatura del aire, humedad relativa y el déficit de presión de vapor para las dos fechas se muestra en el Cuadro 6. Los valores del potencial hídrico se correlacionaron negativamente y significativamente ($p < 0.01$) con la temperatura del aire y déficit de presión de vapor. En cambio, los potenciales hídricos diurnos se correlacionaron positivamente con la humedad relativa. Este patrón de la magnitud de correlación y significancia se observó en las cuatro especies evaluadas. .

Cuadro 8. Coeficiente de correlación de Spearman (n=56) para valores del potencial hídrico xilemático diurno en cuatro especies nativas con relación a las variables ambientales.

Especie vegetal	Variable ambiental			Numero de observaciones
	Temperatura del aire	Humedad relativa	Déficit de presión de vapor	
<i>D. texana</i>	-0.789**	0.679**	-0.679**	14
<i>Z. fagara</i>	-0.907**	0.789**	-0.807**	14
<i>C. hookeri</i>	-0.883**	0.825**	-0.825**	14
<i>P. laevigata</i>	-0.792**	0.728**	-0.770**	14
Global	-0.892**	0.860**	-0.873**	56

$p > 0.05$; * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$

5. DISCUSIÓN

Sobre una base estacional o diaria, el comportamiento del potencial hídrico en las cuatro especies estudiadas indicó que las cuatro especies enfrentaron un déficit hídrico y esta respuesta varió entre ellas tanto en periodos secos como en épocas húmedas. El mayor estrés hídrico se mostró en los meses que hubo menor disponibilidad de humedad en el suelo, los cuales correspondió para los muestreos realizados entre Junio-13 y Agosto-04. Este resultado se debe, en parte a la precipitación registrada entre dicho periodo de estudio, a las diferencias y tendencias en los contenidos de humedad de agua en el suelo entre los diferentes perfiles de profundidad evaluados, siendo el perfil 40-50 el que mostró menores contenidos de humedad, así como también, las respuestas pueden ser atribuidas a las diferencias que puedan existir entre profundidades del sistema radicular de las especies evaluadas. El ambiente físico que prevaleció durante el periodo de estudio en términos de temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, el déficit de presión atmosférica, la cantidad y duración de los eventos de lluvia así como los contenidos de humedad del suelo, la escorrentía y tasas de infiltración del agua en el suelo, y los procesos de transpiración de las especies influyen, entre otras características, en el estado hídrico de la planta, como ha sido previamente documentado (González et al., 2000).

En cuanto a los potenciales hídricos tanto al preamanecer como al mediodía, fluctuaron entre -0.3 y -2.2 MPa. Estos valores es tan por encima de los observados por González y Cantú (2001) donde reportaron en su estudio potenciales hídricos en las plantas arbustivas evaluadas valores en el rango de -0.5 y -7.3 MPa en periodos húmedos y secos, respectivamente, lo cual sugiere, que la investigación desarrollada por dichos autores las especies de plantas enfrentaron un severo déficit hídrico tanto edáfico como atmosférico, el cual tuvo sus implicaciones en el estado hídrico de las plantas Sin embargo, los resultados del presente estudio son similares a los documentados por López (2013), donde observó potenciales hídricos al preamanecer y mediodía en el

intervalo de -0.4 a -4.0 MPa. Los patrones de los potenciales hídricos estacionales al pre-amanecer y mediodía, durante el periodo de estudio, respondieron en gran parte a las fluctuaciones en la temperatura del aire, precipitación y contenido de humedad del suelo; tal como ha sido previamente establecido (González et al., 2001; 2010; 2011; Uvalle, 2008).

En relación a los potenciales hídricos diurnos en ambas fechas de muestreo, estos mostraron y mantuvieron un patrón similar y típico a los cambios diurnos de la humedad relativa, temperatura del aire y al déficit de presión de vapor, asumiendo que los cambios de humedad en el suelo en un día específico no cambia sustancialmente. Los valores del potencial hídrico diurno en una condición de bajo contenido de humedad ($< 0.20 \text{ kg kg}^{-1}$ suelo) en los perfiles por debajo de los 30 cm de profundidad de suelo y alta ($> 2.0 \text{ kPa}$) demanda evaporativa atmosférica, fluctuaron de -0.34 MPa a -2.35 MPa (May-31), mientras que en una condición de alta humedad del suelo ($> 0.22 \text{ kg kg}^{-1}$ suelo) y baja demanda evaporativa ($< 1.8 \text{ kPa}$) variaron de -0.36 MPa a -1.82 MPa (Sep-17). El comportamiento del estado hídrico diurno en las cuatro especies se relaciona con los eventos de lluvia registrados durante ese mes. Estos resultados coinciden con los observados por González et al. (2010), y López (2010) donde reportan el mayor registro de precipitación en el mes de septiembre. La tendencia del contenido de humedad del suelo tanto estacional como en profundidad del perfil de suelo estudiado concuerdan con investigaciones previas (González et al., 2004; González et al., 2011), lo cual se relaciona en gran medida al régimen pluviométrico del sitio de estudio y por consiguiente a las capacidades de retención hídrica del tipo de suelo como se ha reportado en investigaciones anteriores (González et al., 2004; 2010).

Bajo condiciones de estrés hídrico (Figura 11), las especies *C. hookeri*, *Z. fagara* y *P. laevigata* presentaron valores en sus potenciales hídricos al pre-amanecer entre los muestreos correspondientes de Jun-27 a Ago-04, con respecto a los observados por *D. texana*. Tal vez, estas especies tienen la capacidad de reducir la tasa de transpiración conforme disminuye la

disponibilidad de agua del suelo (Wan y Sosebee, 1991). Las estrategias de las plantas para hacer frente a estrés hídrico pueden estar relacionadas a un profundo y profuso sistema radicular, baja densidad anatómica, sobre todo en la región abaxial de la hoja, abscisión foliar, deposición de cera epicuticular foliar, entre otras variables morfológicas y anatómicas foliares y procesos fisiológicos (González et al., 2011). En cambio, para la especie *D. texana* posiblemente no tiene la capacidad de controlar la pérdida de agua a través del proceso transpiracional, o bien tiene un sistema radicular superficial y por consiguiente es más susceptible a los cambios de humedad en las capas superiores del suelo, aunque otros procesos fisiológicos y bioquímicos están involucrados (Gowing et al., 1993; Trejo et al, 1993; Montagu y Woo, 1999). Lo anteriormente permite hipotetizar que las especies *Z. fagara*, *C. hookeri* y *P. laevigata* muestran que se han adaptado a una baja disponibilidad de agua en el suelo, ya que tienden a evitar la deshidratación del tejido, mientras que la adaptación de *D. texana* puede depender en cambio a las estrategias que permiten a hacer frente a los mecanismos de desecación internos y, en consecuencia, mostrar valores de potencial hídrico menores, lo que sugiere que esta especie podría ser más susceptible a la sequía, ya sea porque no pueden ejercer solamente un control limitado sobre agua que se pierde a través de flujo de transpiración, o porque tienen una raíz sistema menos profundo que el de *Z. fagara*, *C. hookeri* y *P. laevigata*. González et al. (2010) de acuerdo a los resultados observados en *Z. fagara* donde sugieren que esta especie es menos apta para tolerar la sequía por adquirir un valor bajo ante la baja disponibilidad hídrica. Deduciendo así que hay unas especies que son capaces controlar su pérdida de agua durante el día a través del flujo transpiración. Esta plasticidad de adaptación fisiológica esta intrínsecamente relacionado con la distribución biogeográfica y su variación ambiental (Adhikari y White 2014). También estas observaciones pueden indicar diferencias entre las especies para controlar la mecánica hidráulica a través del xilema, para un uso eficiente de agua así como las tasas de absorción de agua bajo condiciones desfavorables de humedad en el suelo. Además, se ha documentado que las fuertes relaciones entre la conductancia

de la de la hoja y la resistencia hidráulica son consistentes con el papel de los estomas en la regulación del estado hídrico de la planta (Tognetti et al., 2000). También, este resultado puede deberse a lo que sugerido por González et al. (2000 y 2004): las condiciones diurnas y secas imperantes observadas durante los meses de verano podrían estar relacionados con condiciones concurrentes estacionales extremas ambientales como la sequía, típica de la región noreste de México. Las especies estudiadas son candidatos potenciales para fortalecer y llevar a cabo prácticas de restauración y conservación de estos ecosistemas de matorral degradado. Sin embargo, puede ser difícil dado el rango de respuestas de estrés hídrico que se muestran en este grupo común de las especies de arbustos mantener la diversidad a futuro para el matorral espinoso tamaulipeco.

6. CONCLUSIONES

Los valores observados en los potenciales hídricos diurnos y estacionales, difieren entre las especies evaluadas de acuerdo con la condición física presente en las diferentes fechas de muestreo y las variables ambientales prevalecientes durante las fechas de medición. Esto quiere decir que cada especie responde de manera diferente ante la presencia o escases de humedad.

Bajo condiciones de limitada humedad edáfica, las especies *Z. fagara* y *P. laevigata* muestran una tendencia a presentar mayores potenciales hídricos y por consiguiente una mayor tolerancia a la deshidratación del tejido foliar. La especie *D. texana*, muestra un comportamiento susceptible a la deshidratación del tejido foliar por presentar potenciales hídricos más bajos al medio día en los muestreos del mes de agosto, donde se presentó una pronunciada escases de lluvia.

Tanto el comportamiento del potencial hídrico como el contenido de humedad del suelo a diferentes perfiles de profundidad respondieron a eventos de precipitación.

Los potenciales hídricos en una escala estacional se asocian a la disponibilidad de humedad edáfica la cual es dependiente de la precipitación, mientras que en una base diurna, los potenciales hídricos se asocian a los componentes de demanda evaporativa, la cual depende de la temperatura del aire, humedad relativa y el déficit de presión de vapor.

7. LITERATURA CITADA

- Adhikari A, White J (2014) Plant water use characteristics of five dominant shrub species of the Lower Rio Grande Valley, Texas, USA: implications for shrubland restoration and conservation. *Conservation Physiology*. 2: 1-9.
- Ackerly D, Knight C, Weiss S, Barton K, Starmer K (2002) Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. *Oecologia* 130: 449-457.
- Alanís RE. (2006) Diversidad de especies arbóreas y arbustivas en áreas con distinto historial antropogénicos en el matorral espinoso tamaulipeco. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León Linares, NL, México, 66-67 pp.
- Alanís G, G Cano (1996) Vegetación y flora de Nuevo León. Una Guía Botánico-Ecológica. CEMEX. México 251 pp.
- Andreev I (2001). Functions of the vacuole in higher plants cells. *Russian Journal of Plant Physiology* 48: 777-787.
- Artigao A, Guardado R (1984). Prácticas de edafología. Edit. Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria. De la Escuela Técnica Superior de ingenieros agrónomos de la Universidad de Castilla- La Mancha. ISBN 84-600-5066-1
- Bartels D, Salamini F (2001) Desiccation tolerance in the resurrection plant *Craterostigma plantagineum*. A contribution to the study of drought tolerance at the molecular level. *Plant Physiology* 127: 1346-1353.
- Blake G, Hartge K (1986) Bulk density. In methods of soil analysis. Part 1. SSA Books Series. 59. Editor Klute. Am. Society of Agronomy, Inc. Soil Sci. Soc. Am., Inc. Madison, Wisconsin, USA. 630 p.

- Blondel J, Aronson J (1999) *Biology and wildlife of the mediterranean región.* Oxford University Press, New York.
- COTECOCA-SARH(1973) *Coeficiente de Agostadero de la República Mexicana, Estado de Nuevo León.* Secretaria de la Agricultura y Ganadería, Comisión técnico consultiva para la determinación de coeficientes del Agostadero, México.
- Di Castri F, Goodall DW, Specht RL (1981) *Mediterranean-type shrublands.* Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam 643 p.
- Donahue R, Milles R, Schicklumo J (1987) *Introducción a los suelos y crecimiento de las plantas.* Publicaciones: Englewood Cliffs, Prentice Hall 642 p.
- Donoso C (1992) *Ecología Forestal: El bosque y su medio ambiente.* Universidad Austral de Chile. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. 123 p.
- Flower DJ, Ludlow MM (1986) Contribution of osmotic adjustment to dehydration tolerance of water-stressed pigeonpea (*Cajanus cajan* (L) Mill sp.) leaves. *Plant Cell and Environment* 9: 33-40.
- Gaff DF (1989) Responses of desiccation tolerant resurrection plants to water stress. In Kreeb, K, II, Richter, II., Hinckley, T. M. (eds). *Structural and Functional Responses to Enviromental Stresses.* SPB Academic Pub., The Ilague, The Netherlands, pp. 225-268.
- González RH, Cantú SL, Ramírez Lozano RG, Gómez-Meza MV, Pando Moreno M, López Hernández JM (2011) Potencial hídrico xilemático en cuatro especies arbustivas nativas del Noreste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.* XVLL Edición Especial: 97:109.

- González RH, Ramírez L RG, Cantú SI, Gómez MV, Uvalle S JI (2010) composición y estructura de la vegetación en tres sitios del estado de Nuevo León, México *Polibotánica* 29: 91-106.
- González RH, Cantú SI, Ramírez Lozano RG, Gómez-Meza MV (2008) Water relations in native trees, northeastern México. Conference on international Research on Food Security. Natural Resource Management and Rural Development. University of Hohenheim, Tropentag October-2008, Germany.
- González RH, Cantú SI (2001) Adaptación a la sequía de plantas arbustivas de matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencias UANL* 4: 454-461.
- González RH, Cantú SI, Gómez MV, Jordan WR (2000) Seasonal plant water relationships in *Acacia berlandieri*. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 14: 343-357.
- González RH, Cantú SI, Gómez M MV, Ramírez L RG. 2004. Plant water relations of thornscrub shrub species, northeastern México. *Journal Of Arid Environments* 58: 483-503.
- González RH, Cantú SI, Ramírez LR, Gómez MV, Sarquís RJ, López HJ (2014) Seasonal and diurnal water relations in four co-existing native shrubs species from Northeastern México. *Botanical Sciences* 27.
- Gowing DJ, Jones HG, Davies WJ (1993) Xylem-transported abscisic acid: the relative importance of its mass and its concentration in the control of stomatal aperture. *Plant Cell Environ* 16: 453–459.
- Honorato R (1999) *Manual de Edafología*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía Ediciones Universidad Católica de Chile Santiago, Chile.
- Hsiao TC (1973) Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* 24: 519-570.

- INEGI (2009) Prontuario de Información Geográfica Municipal: Linares NL. México 9 pp.
- Kozlowski TT, Kramer PJ, Pallardy SG (1991) The Physiological ecology of woody plants. Academic Press, Toronto.
- Kramer PJ, Boyer J (1995) Water relations of plants and soils. Academic Press. San Diego, CA. Chapter 12: 383-390.
- Kramer PJ (1983) Water relations of plants, Academic Press, New York. 390-415 pp.
- Lambers H, Chapin FS, Pons TL (1998) Plant physiological ecology, Springer Verlag, York PA.
- Larcher W (2003) Physiological plant ecology. 4th ed. Springer, Germany 231 p.
- Levitt J (1980) Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, New York
- López H JM (2010). Relaciones hídricas en cuatro especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco, Noreste de México, Tesis de Maestría, Facultad de ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, NL, México. 82 p.
- Merla RG (1990) Geografía regional de Nuevo León. Universidad Autónoma de Nuevo León. Centro de información de historia regional. Serie Bibliográfica de Nuevo León. 9.
- Montagu KD, Woo KC (1999) Recovery of tree photosynthetic capacity from seasonal drought in the wet–dry tropics: the role of phyllode and canopy processes in *Acacia auriculiformis*. Aust J Plant Physiol 26:135–145.
- Niembro RA (2001) Las diásporas de los árboles y arbustos nativos de México: posibilidades y limitación de uso, Madera y bosques. 7:3-11
- Nilsen ET, Orcutt DM (1996) Physiology of plants under stress. John Wiley & Sons, Inc, New York.

- Ott L (1993) An Introduction to statistical methods and data analysis. 2nd edition. DuxBury Press, Boston, Massachusetts. 775-801 pp.
- Pizarro J (1996) Riegos Localizados de Alta Frecuencia. Mundi-Prensa. España.
- Ramírez LR, González RH, Gómez MM, Cantú SI, Uvalle SJ (2010) Spatio temporal variations of macro and trace mineral contents in six native plants consumed by ruminants at northeastern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12:267-281.
- Ritchie GA, Hinckley TM (1975) The pressure chamber as an instrument for ecological research. *Advances in Ecological Research* 9: 165-254.
- Rzedowski GC, Rzedowski R (2005) Flora Fanerogámica del Valle de México. 2a Edición. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacan. 1406 pp.
- Salisbury FB, Ross C (1994) Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F. 759 p.
- SEMARNAP (1999) Relación de especies que se utilizan en el PRONARE y su clave de identificación en el SIRECONABIO. Gaceta de la Red Mexicana de Germoplasma Forestal. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca 2: 39-49.
- Shaxson F, Barber R (2005) Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. *Boletín de suelos de la FAO* no. 79.
- Shinosaki K, Yamaguchi SK (1997) Gene expression and signal transduction in water-stress response. *Plant Physiology*. 115: 327-334.
- SIMPFENDORFER C (2001) Sistemas productivos bajo riego. Departamento de Proyectos. Comisión Nacional de Riego e Instituto de Investigación Agropecuaria, INIA- Carillanca. *Boletín Divulgativo*. 84 p.

- SPP-INEGI (1986) Síntesis de Geografía del Estado de Nuevo León, Secretaria de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Geografía estadística e informática. México, D. F.
- Steel R GD, Torrie JH (1980) Principles and procedures of statistics. A biometrical approach, (2nd Edition). New York, NY, McGraw-Hill Book Company. 632 p.
- Steudle E (2000) Water uptake by roots: effects of water deficit. *Journal of Experimental Botany* 51: 1531-1542.
- Taiz L, Zeiger E (1991) *Plant Physiology*. The Benjamin/Cummings Public Company Inc. USA 565 p.
- Taylor SA, Ashcroft GL (1972) *Physical Edaphology*. The physics of irrigated and non-irrigated soil. W.H. Freeman, San Francisco, USA.
- Tognetti RR Minnocci A Peñuelas J Raschi A and Jones MB (2000) Comparative field water relations of three Mediterranean shrub species co-occurring at a natural CO₂ vent. *Journal of Experimental Botany* 51:1135–1146.
- Uvalle S JI (2008) Características fisiológicas y nutrimentales en especies arbustivas forrajeras nativas de la flora del noreste de México. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, NL, México. 112 p.
- Valladares F, Vilagorsa A, Peñuelas J, Ogaya R, Camarero JJ, Corchero L, Sisó S, Gil P E (2004) Estrés hídrico: Eco fisiología y escalas de la sequía Capítulo 6, En: Valladares F. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Páginas 163- 190. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S, A., Madrid. ISBN: 84-8014-552-8.
- Wan C, Sosebee RE (1991) Water relations and transpiration of honey mezquite on 2 sites in west Texas. *J Range Manage* 44: 156–160.

Woerner PM (1989) Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, NL, México. Pp. 46-48

Zyalalov A (2004) Water flows in higher plants: physiology, evolution and system analysis. Russian Journal of plant physiology 51: 547-555.