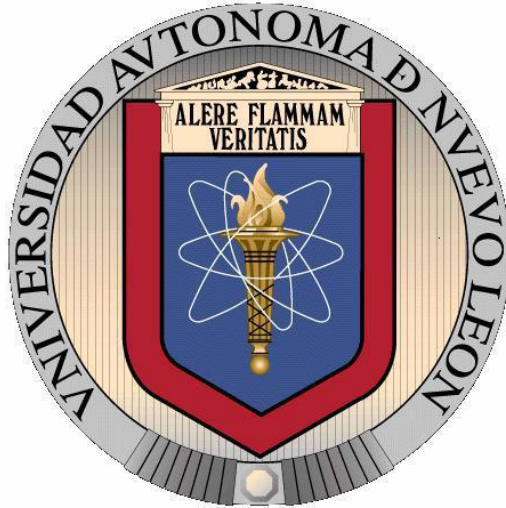


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



TESIS

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y ANATÓMICA FOLIAR DE DIEZ
ESPECIES ARBUSTIVAS DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO
EN EL NORESTE DE MÉXICO**

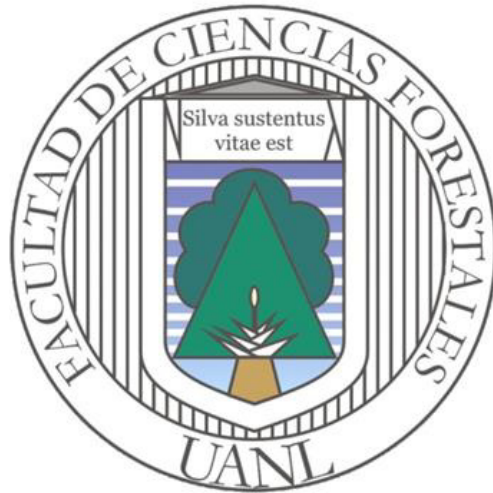
POR

PERLA CECILIA RODRÍGUEZ BALBOA

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

DICIEMBRE, 2015

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



TESIS

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y ANATÓMICA FOLIAR DE DIEZ
ESPECIES ARBUSTIVAS DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO
EN EL NORESTE DE MÉXICO**

POR

PERLA CECILIA RODRÍGUEZ BALBOA

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

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

DICIEMBRE, 2015

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

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y ANATÓMICA FOLIAR DE
DIEZ ESPECIES ARBUSTIVAS DEL MATORRAL ESPINOSO
TAMAULIPECO EN EL NORESTE DE MÉXICO

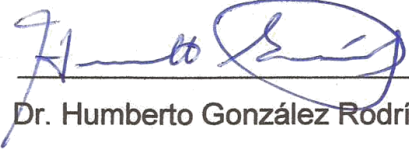

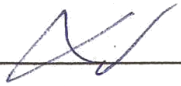

Por:

PERLA CECILIA RODRÍGUEZ BALBOA

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

COMITÉ DE TESIS

 Dr. Humberto González Rodríguez Director	 Dr. Israel Cantú Silva Asesor
 Dr. José G. Marmolejo Monsiváis Asesor	 Dr. Roque G. Ramírez Lozano Asesor Externo

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización del Posgrado.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León pero principalmente a la Facultad de Ciencias Forestales, por todas las atenciones brindadas para la realización de mi Posgrado.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, por todo su apoyo al concluir una etapa profesional más, por todo el tiempo destinado para asesorías de la presente investigación y por compartir cada una de sus experiencias, por toda su confianza y paciencia.

Al Dr. Israel Cantú Silva, por su tiempo destinado para la revisión de la presente tesis y por cada uno de los consejos para el mejoramiento de la presente investigación.

Al Dr. José G. Marmolejo Monsiváis, por formar parte de mi comité de tesis y por dedicar tiempo para explicarme lo necesario para la determinación de estomas.

Al Dr. Roque G. Ramírez Lozano, por dedicar tiempo tan valioso a la revisión del presente trabajo y las asesorías brindadas.

Al Dr. Ratikanta Maiti, por apoyarme en las dudas surgidas de anatomía y por sus acertados comentarios para mejorar la presente investigación.

A la señora Elsa González Serna, por todo su apoyo en los trabajos realizados en el laboratorio, por su tiempo destinado en la revisión de los datos, por todos sus consejos para mejorar no solo en lo profesional, también en lo personal.

A don Manuel Hernández Charles, por todo su apoyo en campo, por tener el tiempo disponible para apoyarme en recolectar muestras, por cada consejo brindado durante todo este tiempo.

A mis compañeros de laboratorio: Ceci, Jeff, Carmen, Haydee, por brindarme su amistad a lo largo de mi estancia en el laboratorio, muchas gracias.

A mis maestros, por el aporte de sus conocimientos a lo largo de mi Posgrado, por sus consejos para poder ser mejor cada día.

A mis amigos y compañeros de generación, por todo el tiempo que compartimos juntos: Jonathan, Ceci, Sindy, Martín, Chihuas, Isra, Juan Carlos, Gera, Papo, Toño, Sylvette, Gabriel, Rubén, muchas gracias a todos!

DEDICATORIA

Principalmente a Dios por todo su amor incondicional y por poder concluir esta etapa profesional y un nuevo reto en mi vida.

A mi papá Ramón Rodríguez donde quiera que esté por todo su esfuerzo por brindarme la oportunidad de superarme y espero no haberlo defraudado y sobre todo por todo su amor y apoyo. A mi mamá Rosaura Balboa por todo su apoyo y comprensión durante todo este tiempo, por permitir superarme.

A mis hermanos Rafael, Irma y Lizeth mi motor de cada día, por todo su cariño y apoyo incondicional.

A mi esposo Jonathan por todo su amor, comprensión y todo su apoyo en la realización del presente trabajo, por estar siempre a mi lado cuando más lo necesito, te amo tanto....

Al amor más grande que puedo tener mi hija Aylin que llegó a nuestras vidas a llenar ese hueco y hacer más fuerte y grande nuestro amor, gracias por tu sonrisa y por darme fuerzas para salir adelante. Te amo tanto mi princesa!

A toda mi familia gracias por todo su apoyo en todo este tiempo.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Variables ambientales que afectan la estructura morfológica foliar.....	3
2.2. La plasticidad fenotípica como carácter adaptativo.....	4
2.3. Posición de la hoja.....	5
2.4. Área foliar.....	6
2.5. Importancia de la morfología de las hojas.....	6
2.6. Importancia fisiológica del agua en las plantas.....	7
2.7. Importancia de la anatomía de las hojas.....	8
2.8. Importancia de los estomas en la anatomía de las hojas.....	9
2.9. Tipos de estomas.....	10
3 JUSTIFICACIÓN.....	11
4 HIPÓTESIS.....	12
5 OBJETIVO DEL TRABAJO.....	12
5.1. Objetivo General.....	12
5.2. Objetivos Específicos.....	12
6 MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
6.1. Localización y descripción del sitio de estudio.....	13
6.2. Material vegetal.....	14
6.3. Descripción de las especies arbustivas estudiadas.....	17

6.3.1.	<i>Celtis laevigata</i> C. von Willdenow.....	17
6.3.2.	<i>Celtis pallida</i> J Torrey.	17
6.3.3.	<i>Condalia hookeri</i> M.C. Johnst.	18
6.3.4.	<i>Cordia boissieri</i> A. DC.	18
6.3.5.	<i>Diospyros palmeri</i> Eastw.....	19
6.3.6.	<i>Diospyros texana</i> Sheele.....	19
6.3.7.	<i>Helietta parvifolia</i> A. Gray Benth.....	19
6.3.8.	<i>Karwinskia humboldtiana</i> Schult. Zucc.....	20
6.3.9.	<i>Sideroxylon celastrinum</i> Kunth T.D. Pennington	20
6.3.10.	<i>Zanthoxylum fagara</i> L. Sargent.....	20
6.4.	Características morfológicas foliares estudiadas	21
6.5.	Estudio de estomas	22
6.6.	Análisis estadísticos	23
7	RESULTADOS	24
7.1.	Prueba de Kruskal-Wallis.....	24
7.2.	Características morfológicas foliares	25
7.2.1.	Ancho de la hoja.....	25
7.2.2.	Área foliar específica	26
7.2.3.	Área foliar.....	27
7.2.4.	Contenido de agua en la hoja.....	28
7.2.5.	Largo de la hoja.....	29
7.2.6.	Largo del pecíolo.....	30
7.2.7.	Largo total de la hoja	31
7.2.8.	Peso fresco de la hoja	32
7.2.9.	Peso seco de la hoja	33

7.3.	Correlación de Spearman	34
7.4.	Características anatómicas de los estomas.....	36
7.4.1.	Densidad estomática	37
7.4.2.	Dimensión de estomas	38
7.4.3.	<i>Celtis laevigata</i>	39
7.4.4.	<i>Celtis pallida</i>	40
7.4.5.	<i>Condalia hookeri</i>	41
7.4.6.	<i>Diospyros palmeri</i>	42
7.4.7.	<i>Diospyros texana</i>	43
7.4.8.	<i>Helietta parvifolia</i>	44
7.4.9.	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	45
7.4.10.	<i>Sideroxylon celastrinum</i>	46
7.4.11.	<i>Zanthoxylum fagara</i>	47
8	DISCUSIÓN	48
8.1.	Características morfológicas.....	48
8.2.	Características anatómicas.....	51
9	CONCLUSIONES	53
10	BIBLIOGRAFÍA	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Especies arbustivas seleccionadas para la determinación de características morfológicas y anatómicas.....	15
Cuadro 2. Resumen del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre las especies para cada característica foliar.....	24
Cuadro 3. Coeficientes de correlación (n=500) de Spearman (parte superior de la línea diagonal) y significancia (parte inferior de la línea diagonal) entre las distintas variables foliares de diez especies de plantas arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del sitio de estudio.....	14
Figura 2. Morfología foliar de las diez especies estudiadas. La escala es representada en cm. 1) <i>Cordia boissieri</i> , 2) <i>Helietta parvifolia</i> , 3) <i>Condalia hookeri</i> , 4) <i>Diospyros texana</i> , 5) <i>Diospyros palmeri</i> , 6) <i>Zanthoxylum fagara</i> , 7) <i>Sideroxylon celastrinum</i> , 8) <i>Karwinskia humboldtiana</i> , 9) <i>Celtis pallida</i> y 10) <i>Celtis laevigata</i>	16
Figura 3. Ancho de la hoja (cm) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) ± error estándar.....	25
Figura 4. Área foliar específica (cm ² g ⁻¹) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) ± error estándar.....	26
Figura 5. Área foliar (cm ²) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) ± error estándar.....	27
Figura 6. Contenido de agua en la hoja (g) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) ± error estándar.....	28
Figura 7. Largo de la hoja (cm) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) ± error estándar.....	29
Figura 8. Largo del pecíolo (cm) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) ± error estándar.....	30
Figura 9. Largo total de la hoja (cm) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) ± error estándar.....	31
Figura 10. Peso fresco de la hoja (g) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) ± error estándar.....	32

Figura 11. Peso seco de la hoja (g) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) \pm error estándar.	33
Figura 12. Densidad estomática de la epidermis abaxial (número de estomas por mm ²) de nueve especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=25) \pm error estándar.	37
Figura 13. Medición de largo (μ m) y ancho (μ m) de los estomas de la epidermis abaxial de Nueve Especies Arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50). \pm error estándar.	38
Figura 14. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie <i>Celtis laevigata</i> (Palo blanco) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.	39
Figura 15. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie <i>Celtis pallida</i> (Granjeno) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.	40
Figura 16. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie <i>Condalia hookeri</i> (Brasil) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.	41
Figura 17. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie <i>Diospyros palmeri</i> (Chapote manzano) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.	42
Figura 18. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie <i>Diospyros texana</i> (Chapote prieto) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.	43
Figura 19. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie <i>Helietta parvifolia</i> (Barreta) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.	44
Figura 20. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie <i>Karwinskia humboldtiana</i> (Coyotillo) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.	45
Figura 21. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie <i>Sideroxylon celastrinum</i> (Coma) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.	46
Figura 22. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie <i>Zanthoxylum fagara</i> (Colima) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.	47

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo realizar un estudio de las características morfológicas foliares y anatómicas del estoma de diez especies que se encuentran presentes en el Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET). Las especies estudiadas fueron: *Cordia boissieri*, *Helietta parvifolia*, *Condalia hookeri*, *Diospyros texana*, *Diospyros palmeri*, *Zanthoxylum fagara*, *Sideroxylon celastrinum*, *Karwinskia humboldtiana*, *Celtis pallida* y *Celtis laevigata*. Las características morfológicas evaluadas fueron: peso fresco de la hoja, área foliar, largo de la hoja, ancho de la hoja, largo del pecíolo, largo total de la hoja, peso seco de la hoja, contenido de agua de la hoja y área foliar específica. Se detectaron diferencias significativas entre especies para todos los rasgos morfológicos investigados. *Cordia boissieri* presenta el valor mayor en el total de las variables los cuales fluctúan de 0.41 (contenido de agua en la hoja) a 101.46 (área foliar específica). *Diospyros texana* registró el valor más bajo en siete variables los cuales fluctúan de 0.02 (contenido de agua en la hoja) a 3.18 (largo total de la hoja). Se detectó una relación positiva y significativa entre todas las variables estudiadas, excepto, el área foliar específica la cual se correlacionó negativamente con las características foliares. Con respecto a las propiedades anatómicas de los estomas, *Celtis laevigata* presenta la mayor densidad estomática (703.90 estomas por mm²) y la especie *Helietta parvifolia* presenta el valor menor (74.97 estomas por mm²). En cuanto al largo del estoma *Karwinskia humboldtiana* obtuvo el valor menor (17.20 μm) y *Helietta parvifolia* obtuvo el valor mayor (36.70 μm). Con respecto al ancho del estoma, *Sideroxylon celastrinum* registró 9.26 μm y *Diospyros palmeri* con 19.45 μm. La variación foliar de las características foliares y anatómicas se relaciona a la diversidad filogenética entre las especies, a la adaptación a las condiciones ambientales y disponibilidad de recursos.

ABSTRACT

The aim of this work was to conduct a research study about the morphological leaf traits and anatomy of stomata traits in ten woody species that grow and develop in the Tamaulipan Thornscrub Shrubland. Study species were: *Cordia boissieri*, *Helietta parvifolia*, *Condalia hookeri*, *Diospyros texana*, *Diospyros palmeri*, *Zanthoxylum fagara*, *Sideroxylon celastrinum*, *Karwinskia humboldtiana*, *Celtis pallida* and *Celtis laevigata*. Studied morphological leaf traits were: leaf fresh weight, leaf area, leaf length, leaf width, petiole length, total leaf length, leaf dry weight, leaf water content and specific leaf area. Highly significant differences were among studied species for all morphological leaf traits. *Cordia boissieri* accounted the higher values for all studied leaf traits, ranging from 0.41 (leaf water content) to 101.46 (specific leaf area). *Diospyros texana* registered the lowest values in seven variables which ranged from 0.02 (leaf water content) to 3.18 (total leaf length). A positive and significant relationship was found to exist among studied leaf traits, except, specific leaf area which acquired a negative correlation with all leaf traits. With respect to stomata anatomy, *Celtis laevigata* showed maximum stomata density (703.90 stomata for mm²) while *Helietta parvifolia* achieved the lowest value (74.97 stomata for mm²). In regard to stomata length, *Karwinskia humboldtiana* had the lowest value (17.20 µm) and *Helietta parvifolia* acquired the highest value (36.70 µm). Minimum (9.26 µm) and maximum (19.45 µm) stomata width were observed in *Sideroxylon celastrinum* and *Diospyros palmeri*, respectively. Morphological and anatomical leaf trait variation is related to phylogenetic plant species diversity as well as to the adaptation of pant species to environmental conditions and resource availability.

1. INTRODUCCIÓN

Las hojas son la interfaz entre la atmósfera y el resto de la planta, siendo principales responsables del balance de carbono y agua. A escala global, la variación de rasgos químicos, fisiológicos y estructurales explica parcialmente la distribución de las especies (Wright *et al.*, 2004), de manera que el espectro de variación es una de las consecuencias de la adaptación de las plantas al macroambiente. Así por ejemplo, en ambientes húmedos, las hojas suelen ser más finas y con mayor área foliar que en ambientes secos y con altas temperaturas, donde lo que predomina es el ahorro de agua. Sin embargo, también se ha comprobado que existe un espectro de variación foliar dentro de una determinada comunidad que parcialmente puede explicar la coexistencia de las especies (Díaz *et al.*, 1998).

En situaciones de estrés abiótico, plantas alteran su fisiología, la morfología y el desarrollo en respuesta a los cambios ambientales. Las hojas son órganos importantes para la fotosíntesis y desempeñan un papel importante en la supervivencia y el crecimiento de una planta. La forma y la estructura de la hoja se definen principalmente en un breve período de la morfogénesis primaria basada en el posible papel de los sistemas de reacción-difusión y pueden ser alterados por la expansión alométrico (Xu *et al.*, 2009).

La morfología foliar varía mucho entre sí como dentro de las poblaciones de especies. Varios estudios han documentado asociaciones significativas entre la variación en la morfología de las hojas y los factores ambientales específicos en las especies de plantas (Abrefa *et al.*, 2011). Se ha encontrado que las hojas que se desarrollan expuestas al sol presentan una menor área foliar, un mayor grosor y son más lobadas que aquellas que crecen bajo la sombra (Álvarez, 2006).

Los rasgos foliares determinan las pérdidas de agua, y están por tanto estrechamente relacionados con la tolerancia a la sequía. Una elevada área específica foliar implica una mayor relación superficie-volumen y, por tanto, mayores pérdidas de agua (López *et al.*, 2013).

Los patrones mejor documentados están relacionados con la variación fenotípica foliar de acuerdo a gradientes altitudinales, latitudinales y condiciones edáficas (Tang y Ohsawa, 1999). Además, los patrones de variación morfológica de las hojas en particular, pueden estar afectados por la disponibilidad de agua, intensidad del viento, el régimen lumínico e interacciones intra e interespecíficas (Futuyma, 1998).

La reducción del área foliar se atribuye a una alteración en la estructura de la hoja, o bien al incremento en la concentración de nutrimentos o carbohidratos no estructurales en la misma; tal reducción, es el resultado de una incapacidad de la planta, para asignar estos compuestos en crecimiento estructural. El estudio del área foliar y de los factores que la afectan es importante (Pérez *et al.*, 2004).

Naturalmente la característica adaptada de las plantas tolerantes al estrés puede ser utilizada efectivamente para la exploración de los mecanismos de aclimatación en relación con las características anatómicas foliares. Por ejemplo, la escasez del agua puede dar lugar a un aumento del grosor de la pared celular de hasta 20 pliegues en las paredes externas tangenciales en las células de la vaina del haz y alteraciones de la forma celular en las células del mesófilo (Utrillas y Alegre, 1997).

2. ANTECEDENTES

2.1. Variables ambientales que afectan la estructura morfológica foliar

La morfología foliar está determinada inicialmente por una base genética, en las cuales las intensas presiones de selección a las que están sometidas las hojas dan como resultado diferentes fenotipos dependientes del ambiente en el que se desarrollan, observándose un amplio intervalo de formas y tamaños foliares (Aguilar *et al.*, 2000).

Así, las características morfológicas que posee un organismo generalmente dictan su actividad fisiológica, asumiendo que: primero, dentro de una especie dada, la estructura de un individuo no está dictada exclusivamente por control genético, puesto que esos controles generalmente están sujetos a determinada plasticidad de expresión que depende de la respuesta a las condiciones ambientales de un sitio determinado; segundo, dentro de distintas especies, pueden presentarse estructuras divergentes que han evolucionado para desempeñar funciones diferentes; la gran variedad de adaptaciones de la morfología foliar en ambientes desérticos es un ejemplo de esto; tercero, algunas estructuras pueden existir como caracteres vestigiales, sin representar una función útil en la actualidad, pero que persisten porque no interfieren en los procesos reproductivos del organismo (Gutschick, 1999; Niklas, 1999).

Según González (2001), los estudios de caracterización morfológica se pueden basar en caracteres cualitativos o cuantitativos, y dentro de estos últimos se encuentran los que consisten en medidas llamados morfométricos.

Las modificaciones en la morfología foliar pueden explicarse también como consecuencias adaptativas (adquisición de recursos) o interacciones bióticas: desarrollo de defensas contra la herbivoría, densidad de individuos, capacidad fotosintética y síntesis de metabolitos secundarios. Así, la influencia de estos factores (bióticos y abióticos) puede modificar la morfología dentro de un mismo individuo (Parker, 1982; Press, 1999).

2.2. La plasticidad fenotípica como carácter adaptativo

La plasticidad fenotípica es la capacidad que tiene un genotipo para alterar su fisiología y morfología en respuesta a cambios en las condiciones ambientales. Bradshaw (1965), Sultan (1995) y Schlichting (2002), señalan a la plasticidad fenotípica como uno de los mecanismos desarrollados por las plantas para sobrevivir en condiciones ambientales adversas. La plasticidad fenotípica es frecuentemente representada como una norma de reacción, que puede expresarse a nivel de individuo, en este último caso referida a la posibilidad de expresión de distintos fenotipos en un mismo individuo, siempre y cuando este tenga un desarrollo modular como es el caso de las plantas (De Kroon *et al.*, 2005).

Las hojas son órganos sensibles a los cambios ambientales en el proceso de evolución y pueden exhibir plasticidad fenotípica como una respuesta al estrés abiótico. Sin embargo, la afirmación de la hoja de la plasticidad morfológica y sus reglamentos en diferentes ambientes aún no están claros.

Existe una hipótesis general para las especies con un rango amplio de distribución, las cuales deberían presentar mayor plasticidad fenotípica que las especies con distribución limitada (Futuyma y Moreno, 1988). Para el caso de especies con amplia distribución hay dos modelos que tienden a explicar su éxito de colonizar nuevos sitios. Uno es el modelo del ecotipo localmente adaptado, el cual supone que cada población de la especie, una vez establecida, experimenta cambios diferenciales en sus frecuencias alélicas como resultado de las presiones de selección local. De este modo, la diferenciación en ecotipos especializados se acomodaría a las diferencias ambientales entre hábitats, y el rango de distribución de la especie surgiría del agregado total de estas poblaciones localmente adaptadas (Dudley, 1996).

El modelo alternativo, por otro lado, considera que los individuos de especies ampliamente distribuidas conservan el potencial de responder plásticamente a una vasta gama de cambios ambientales. Así, el rango de distribución de la especie surgiría de la holgura de la tolerancia ambiental (plasticidad fenotípica) de sus individuos (Gianoli, 2004).

El desarrollo de las hojas se ve afectado por factores ambientales donde los más influyentes son la luz y la humedad.

2.3. Posición de la hoja

Se ha encontrado que las hojas que se desarrollan expuestas al sol presentan una menor área foliar, un mayor grosor y son más lobadas que aquellas que crecen bajo la sombra (Mitchell *et al.*, 1999; Bruschi *et al.*, 2000; Klich, 2000; Valladares *et al.*, 2002; Taiz y Zeiger, 2002).

2.4. Área foliar

El área foliar (AF) alcanzada por una planta durante ciertos estadios específicos del desarrollo es un dato indispensable para la calibración, adaptación y en general para la aplicación racional de los modelos de simulación agroambientales. Es bien conocido que la magnitud del AF define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintética activa (RFA), la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de tejidos y elaboración de compuestos orgánicos (Warnock *et al.*, 2006).

2.5. Importancia de la morfología de las hojas

Las características foliares se encuentran sometidas a continuos procesos de selección, dada la estrecha relación que mantienen con el ambiente en el que se desarrollan. El estudio de estos atributos ha permitido encontrar patrones en la morfología foliar en función de su capacidad de ajustarse a las condiciones ambientales a través de la diferenciación adaptativa (Givinish, 1987).

La regeneración de los árboles y arbustos del bosque es una secuencia demográfica que incluye la producción de frutos, la dispersión de la semilla, su germinación y establecimiento como plántulas. La fase de plántula suele ser crucial en la dinámica de las poblaciones vegetales. La plántula recién emergida ya no tiene la capacidad de resistencia de la semilla, pero tampoco tiene la robustez física de los árboles adultos. Durante este periodo vulnerable, la joven planta debe crecer rápidamente, establecer una raíz profunda que le asegure la absorción del agua en los periodos de sequía, competir por el espacio, la luz y los nutrientes con las hierbas y arbustos del sotobosque, y dotarse de defensas químicas y mecánicas para resistir la presión de los herbívoros. Es bien conocido que el crecimiento está influenciado por las condiciones ambientales. Por

ejemplo, las plantas crecen más rápido cuando disponen de agua y nutrientes, pero los procesos del crecimiento tienen también una importante consecuencia del componente genético. Las tasas de crecimiento resultante del genotipo y del ambiente tienen consecuencias ecológicas como implicaciones evolutivas. El componente genético de la tasa del crecimiento se ha comprobado en especies cultivadas en condiciones uniformes que mostraron una gran variabilidad en las tasas de crecimiento y distribución de biomasa y nutrientes. Estos patrones observados en igualdad de condiciones ambientales reflejarían diferentes presiones selectivas de sus hábitats originales, así como constricciones de su historia filogenética (Kitajima y Fenner, 2000).

Las principales funciones de las hojas son: fotosíntesis, transpiración, respiración y almacenamiento.

El análisis del crecimiento es ahora una herramienta ampliamente usada en áreas tan diferentes como en el fitomejoramiento, la fisiología de los cultivos y en la ecología de las plantas (Poorter *et al.*, 1996).

2.6. Importancia fisiológica del agua en las plantas

La importancia ecológica del agua es el resultado de su importancia fisiológica. La única manera en la cual un factor ambiental, como el agua, puede afectar el crecimiento de las plantas, es a través de su influencia sobre los procesos fisiológicos.

La mayoría de los procesos en la planta son afectados directa o indirectamente por el suministro de agua. La respiración de las semillas en formación, es inicialmente muy alta, pero esta se reduce rápidamente durante la maduración. En semillas secas al aire, la respiración es muy baja, pero esta se incrementa lentamente en la medida que se aumenta el contenido del agua, hasta un punto crítico, en el cual hay un rápido incremento en la respiración, como respuesta a un aumento adicional del contenido del agua (Salisbury y Ross, 1994).

La reducción en el contenido de agua es acompañado por la pérdida de turgencia y marchitamiento, cesación del ensanchamiento celular, cierre de los estomas, reducción de la fotosíntesis, y la interferencia con muchos otros procesos metabólicos. Eventualmente, una continua deshidratación causa desorganización en el protoplasma y la muerte de la planta (Salisbury y Ross, 1994).

2.7. Importancia de la anatomía de las hojas

Los rasgos anatómicos de las hojas juegan un papel importante en la delimitación taxonómica de las especies y su relación con la adaptación al medio ambiente, como las condiciones ambientales presentes en regiones áridas o semiáridas. Además de la variabilidad en la forma de la hoja, tamaño, margen, dentado, entre las especies de plantas, la densidad de tricomas en la superficie de la hoja se ha relacionado con la tolerancia a insectos y resistencia a la sequía en los cultivos como el sorgo, algodón, etc. La hoja es el órgano de la planta más sensible a las condiciones ambientales, por lo cual refleja alteraciones morfológicas como consecuencia de los efectos de estrés. Los mecanismos morfológicos y fisiológicos implicados en los procesos de adaptación-aclimatación frente al estrés operan a diferentes niveles de la planta, con el objetivo de asegurar la

funcionalidad hídrica en las nuevas condiciones ambientales, siendo los estomas vitales para la homeóstasis de la planta (Toral *et al.*, 2010).

Los estudios anatómicos a nivel foliar han contribuido a resolver problemas sistemáticos y a delimitar especies en muchos grupos taxonómicos (Lapp *et al.*, 2013).

2.8. Importancia de los estomas en la anatomía de las hojas

Se denomina estoma a la unidad conformada por un poro y las dos células oclusivas que lo rodean. Estas células oclusivas o guardianas se hallan en contacto con las células adyacentes de la epidermis y en muchos casos se ha comprobado la existencia de relaciones metabólicas muy estrechas entre las células oclusivas y las adyacentes (Lallana y Lallana, 2003).

La transpiración y la intensidad de la respiración están en razón directa al número y apertura de los estomas y como las hojas son los principales órganos de las plantas donde se realiza la fotosíntesis, el número y distribución de los estomas influye directamente sobre la asimilación clorofílica. (Sosa *et al.*, 2014).

La transpiración presenta una periodicidad diurna relacionada con las condiciones meteorológicas. En general es baja durante la noche, aumenta con rapidez después del amanecer hasta un máximo al final de la mañana o principios de la tarde y luego disminuye gradualmente hasta la noche. La transpiración de una planta o una hoja puede variar de un momento a otro, debido a efectos de los factores ambientales que modifican condiciones fisiológicas intrínsecas del vegetal (pH, potencial agua, etc.). Estos factores pueden ser: radiación solar,

humedad relativa, temperatura, disponibilidad de agua en el suelo y viento (Lallana y Lallana, 2003).

Los estomas se forman al inicio del crecimiento de la hoja y maduran cuando se alcanza un 10-60% del tamaño foliar final (Royer, 2001). La iniciación de los estomas es influida por la concentración de CO₂ en la atmósfera y sobre la expansión celular actúan numerosas variables como la luz, la temperatura, la posición de la hoja en la planta. Por tanto, la densidad estomática es afectada por el número de estomas, por el tamaño de las células epidérmicas y por la iniciación de los estomas y la expansión de las células epidérmicas (Royer, 2001). De esta manera, la densidad de estomas depende de la ubicación de la hoja dentro de la copa del árbol, el estado de desarrollo de la hoja y la parte de la lámina que se considere.

2.9. Tipos de estomas

Maiti *et al.* (2012), clasifica los estomas en cuatro tipos que se mencionan a continuación:

Tipo de Estoma Anisocítico

Este tipo se llama anisocítico (unicelular desigual). Los estomas están rodeados por tres células de los cuales uno claramente es más pequeño que los otros dos, es decir, tienen tres células anexas de diferente tamaño.

Tipo de Estoma Paracítico

Este tipo se conoce como tipo paracítico. Los estomas están acompañados a ambos lados por una o más células auxiliares paralelos al eje largo de las células

de los poros y de guardia, es decir, tiene dos células anexas dispuestas con su eje longitudinal paralelo al eje longitudinal de las células oclusivas.

Tipo de Estoma Anomocítico

Este tipo se conoce como anomocíticos (unicelular irregular). Los estomas están rodeados por un número limitado de células que son indistinguibles en tamaño, forman el resto de la epidermis, es decir, no tiene células anexas.

Tipo de Estoma Diacítico

Este tipo se llama diacítico (cruz unicelular). Los estomas están encerrados por un par de células auxiliares cuya pared es común en ángulo recto con las células de guardia, es decir, tienen dos células anexas dispuestas con su eje longitudinal en sentido perpendicular al eje longitudinal de las células oclusivas.

3 JUSTIFICACIÓN

Existe poca información acerca de estudios referentes a la anatomía y morfología foliar de especies arbustivas en el Matorral Espinoso Tamaulipeco por lo que esta investigación representa un aporte al conocimiento acerca de las características anatómicas y morfológicas foliares de estas especies para conocer la adaptabilidad a las diferentes condiciones climáticas presentes en la región.

Enriquecer con esta investigación el interés de los científicos a realizar nuevas investigaciones relacionadas al tema con la finalidad de aumentar el valor ecológico del Matorral Espinoso Tamaulipeco y conocer las adaptaciones con las que cuentan las especies para tolerar el estrés.

4 HIPÓTESIS

Las características morfológicas así como las anatómicas no difieren entre las especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

5 OBJETIVO DEL TRABAJO

5.1. Objetivo General

Conocer la variación de características foliares y anatómicas en diferentes especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET).

5.2. Objetivos Específicos

- a. Caracterizar la morfología y anatomía foliar de diez especies arbustivas presentes en el Matorral Espinoso Tamaulipeco.
- b. Determinar si los rasgos morfológicos foliares están asociados entre sí.

6 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización y descripción del sitio de estudio

La investigación se desarrolló en el Matorral Espinoso Tamaulipeco, localizado en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, la cual se ubica en las coordenadas 24°47' N; 99°32' O, con una altitud de 370 m snm; en el municipio de Linares, Nuevo León (**Figura 1**). El tipo de clima según Köppen (1938), modificado por García (1981), citado por González *et al.* (2006), que se presenta en dicha localidad es subtropical y semiárido con verano cálido.

El tipo de suelo es Vertisol. La vegetación predominante es Matorral Espinoso Tamaulipeco. La temperatura media mensual varía de 14°C en enero a 22°C en agosto y la precipitación anual promedio es de 805 mm (SPP-INEGI, 1986).

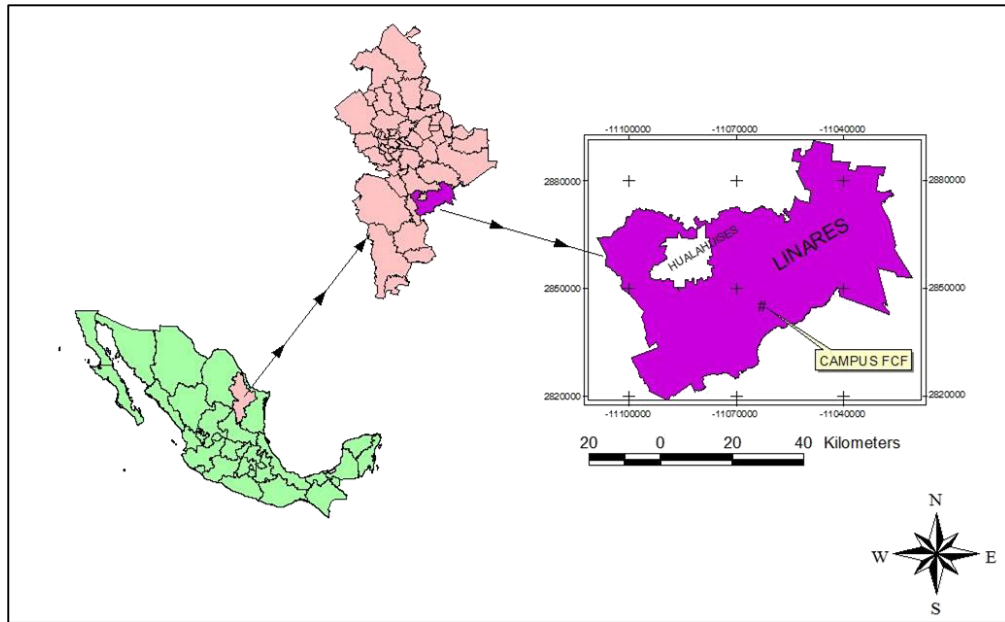


Figura 1. Localización del sitio de estudio.

6.2. Material vegetal

Se seleccionaron diez especies arbustivas dentro de una parcela previamente delimitada de 50 m x 50 m sin disturbio y representativa del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Se tomaron cinco repeticiones (árboles) de cada especie, las cuales fueron seleccionadas aleatoriamente dentro de la parcela, siendo etiquetadas por especie y repetición. En el **Cuadro 1** se denota el nombre científico, nombre común y familia de cada especie arbustiva. En la **Figura 2** se muestra la morfología foliar de las diez especies arbustivas estudiadas en la presente investigación.

Cuadro 1. Especies arbustivas seleccionadas para la determinación de características morfológicas y anatómicas.

No.	Nombre Científico	Nombre Común	Familia
1	<i>Celtis laevigata</i>	Palo blanco	Ulmaceae
2	<i>Celtis pallida</i>	Granjeno	Ulmaceae
3	<i>Condalia hookeri</i>	Brasil	Rhamnaceae
4	<i>Cordia boissieri</i>	Anacahuita	Boraginaceae
5	<i>Diospyros palmeri</i>	Chapote manzano	Ebenaceae
6	<i>Diospyros texana</i>	Chapote prieto	Ebenaceae
7	<i>Helietta parvifolia</i>	Barreta	Rutaceae
8	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Coyotillo	Rhamnaceae
9	<i>Sideroxylon celastrinum</i>	Coma	Sapotaceae
10	<i>Zanthoxylum fagara</i>	Colima	Rutaceae

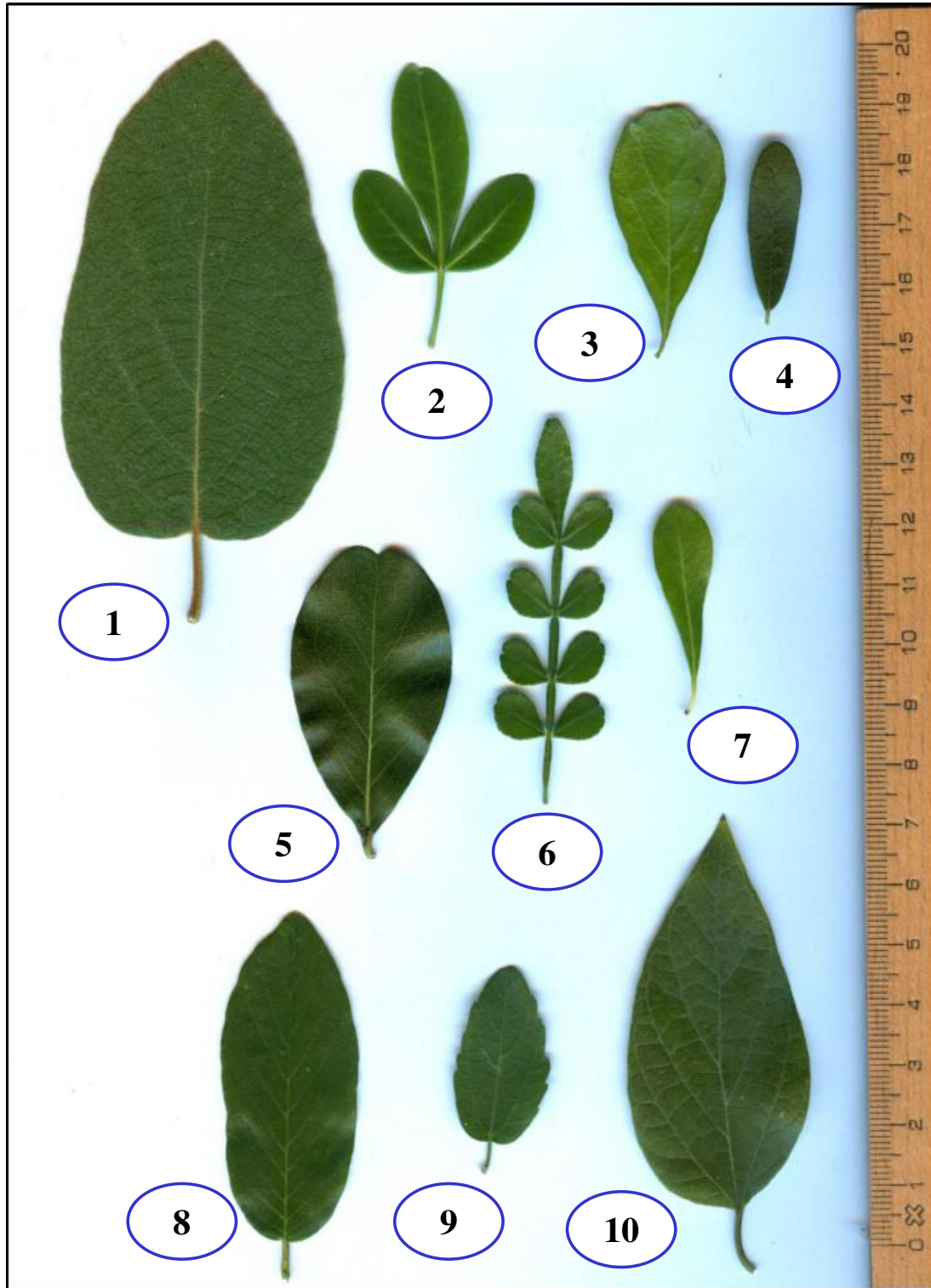


Figura 2. Morfología foliar de las diez especies estudiadas. La escala es representada en cm.
1) *Cordia boissieri*, 2) *Helietta parvifolia*, 3) *Condalia hookeri*, 4) *Diospyros texana*, 5) *Diospyros palmeri*, 6) *Zanthoxylum fagara*, 7) *Sideroxylon celastrinum*, 8) *Karwinskia humboldtiana*, 9) *Celtis pallida* y 10) *Celtis laevigata*.

6.3. Descripción de las especies arbustivas estudiadas

6.3.1. *Celtis laevigata* C. von Willdenow.

Arbustos o pequeños árboles que alcanzan una altura de 16 m. Numerosas verrugas se encuentran en la corteza del tronco y las ramas principales. Hojas simples, alternas, ovadas, con bordes enteros o parcialmente dentados. La floración en la primavera; flores pequeñas, verdosas; fruto de una sola semilla, de color rojizo. Los frutos son consumidos por varias especies de aves, incluyendo el cardenal, y mamíferos como el mapache (Everitt *et al.*, 2002).

6.3.2. *Celtis pallida* J Torrey.

Es un arbusto de 1 a 3 m de alto, caducifolio; ramas principales rígidas, extendidas, arqueadas, las secundarias por lo general flexuosas y terminando en una espina, espinas axilares, solitarias o dispuestas en pares, rectas o encorvadas, delgadas de 3 a 25 mm de largo. Las hojas son simples ovadas suavemente dentadas en los bordes, de 1.5 a 5 cm de largo de 0.8 a 3 cm de ancho. Las flores estas dispuestas en conjuntos dispuestos o densos de hasta 30 flores pequeñas de color blanco llamativas y aparecen por lo general por corto tiempo, se han encontrado de Marzo a Abril. El fruto tiene forma jugosa, ovoide de 6 mm de diámetro de color amarillo siendo el color naranja o rojo el más común, de sabor dulce y comestible. Se encuentra en altitudes de 1000 a 2300 m snm. Se distribuye en México en Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Sinaloa, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas (Merla, 1990).

6.3.3. *Condalia hookeri* M.C. Johnst.

Es un arbusto o árbol espinoso de 9 m de altura. Hojas alternas en las ramas cortas espinosas, obovadas con márgenes enteros. La floración en verano; flores muy pequeñas verdosas; el fruto es una drupa en color negro cuando madura. Las hojas, que contienen proteína cruda alrededor del 15%, son frecuentemente consumidas por el venado cola blanca. Los frutos son consumidos por el coyote, mapache, y codorniz. También proporciona cobertura para la fauna. Los frutos son comestibles, dulces y succulentos (Everitt *et al.*, 2002).

6.3.4. *Cordia boissieri* A. DC.

De acuerdo a Donovan y Marshall (1970) es un arbusto o árbol pequeño hasta 8 m de altura, con un tallo de 20 cm de diámetro. Hojas gruesas, rígidas, ovaladas a ovadas – lanceoladas hasta 20 cm de largo y 15 cm de ancho; el pecíolo es de hasta 4 cm de largo; la base es ligeramente redonda a ligeramente redonda cordada, el ápice es agudo a ampliamente obtuso, el limbo es escabroso en el haz y suave en el envés. Inflorescencia en cimas de seis a ocho flores, corola en forma de embudo color blanco. Fruto ovoide de 2 a 3 cm de largo ligeramente café brillante. La madera es de poco valor, sin embargo es utilizada en la construcción de corrales. El follaje y los frutos son consumidos por el ganado. Las hojas, flores y tallos son utilizados en medicina popular contra afecciones bronquiales y reumatismo (Everitt *et al.*, 2002).

6.3.5. *Diospyros palmeri* Eastw.

Árboles o arbustos monoicos, dioicos o polígamos, caducifolios o perennifolios; hojas alternas, simples, pecioladas, enteras; flores pequeñas, blancas o verdosas, axilares, solitarias o agrupadas en cimas; fruto en forma de baya carnosa; semillas variables en número, generalmente 1 a 10, descendentes, embrión axilar, invertido, cotiledones foliáceos, radícula superior (Carranza, 2000).

6.3.6. *Diospyros texana* Sheele.

Es un arbusto o árbol raramente de hasta 16 m de altura, de corteza lisa. Hojas alternas, ampliamente ovadas a oblongo-obovadas, con márgenes enteros. Las hojas son de color verde oscuro por encima, verde grisáceo por debajo, y cubierto con pubescencia. Floración es en febrero-junio; flores blancas; fruto una baya de color negro. Las flores masculinas y femeninas se encuentran en plantas separadas. El fruto es consumido por varias especies de aves y mamíferos, incluyendo el coyote, jabalí y el mapache. Tanto las hojas y frutos son consumidos por el venado cola blanca (Everitt *et al.*, 2002).

6.3.7. *Helietta parvifolia* A. Gray Benth.

Es arbusto de hoja perenne o pequeño árbol de 2 a 4 m de altura. Ramas erectas y la columna vertebral, menos la formación de una pequeña corona de forma irregular. Al igual que otros miembros de la familia de los cítricos, esta especie es aromático. Hojas opuestas y trifolioladas. La floración es en primavera; flores blancas verdosas; frutales de tres a cuatro carpelos (Everitt *et al.*, 2002).

6.3.8. *Karwinskia humboldtiana* Schult. Zucc.

Arbusto pequeño generalmente de 1 a 2 m de altura. Las hojas de color verde oscuro por encima y más pálido por debajo, enfrente, oblonga o elíptica-oblongas, con márgenes enteros. Flores pequeñas, verdosas; el fruto es una drupa de color marrón o negro. Las semillas y las hojas son venenosas para el ganado, ovejas, cabras, caballos y cerdos. Los frutos son consumidos por el coyote y la chachalaca (Everitt *et al.*, 2002).

6.3.9. *Sideroxylon celastrinum* Kunth T.D. Pennington

Es un árbol pequeño o arbusto de 2 a 9 m de altura. Las hojas con pecíolo de 1 cm de largo, generalmente fasciculadas, excepto en las ramas jóvenes, flores en grupos de 3 a 15, aromáticas; corola de 3 a 4.5 mm de largo, fruto elipsoidal a cilíndrico de 7 a 13 mm de largo, color azul oscuro; presenta látex abundante en su estado inmaduro (Saucedo, 2011).

6.3.10. *Zanthoxylum fagara* L. Sargent.

Arbusto de hoja perenne o pequeño árbol de hasta 9 m de altura, aromático, muy espinoso, Hojas compuestas alternativo, impar-pinnadas con cinco a 13 folíolos sobre un raquis ampliamente aladas (folíolos obovado, con márgenes dentados). La floración de invierno-primavera; flores pequeñas, de color verde amarillento; fruto de una sola semilla, folículo marrón oxidado (Everitt *et al.*, 2002).

6.4. Características morfológicas foliares estudiadas

Las características morfológicas foliares estudiadas fueron: peso fresco de la hoja (g), área foliar (cm^2), largo de la hoja (cm), ancho de la hoja (cm), largo del pecíolo (cm), largo total de la hoja (cm), peso seco de la hoja (g), contenido de agua de la hoja (g) y área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$). Se recolectaron 50 hojas de cada una de las 10 especies (10 hojas por planta; 5 plantas por especie), para evaluar las características morfológicas mencionadas anteriormente.

Las mediciones tales como largo (cm), ancho (cm), largo del pecíolo (cm) se realizaron mediante el uso de papel milimétrico, y el largo total de la hoja (cm) se determinó al sumar largo del pecíolo y largo de la hoja. El área foliar (cm^2) se cuantificó mediante un analizador de área foliar marca LI-COR modelo LI-3100, (Lincoln, Ne, USA). Para determinar el peso fresco (g) las muestras fueron pesadas en la balanza analítica marca Sartorius (modelo MC1). Posteriormente se determinó el peso seco (g) de la hoja al secarla en la estufa de aire forzado durante 72 horas a una temperatura de 60°C . El contenido de agua (g) se calculó mediante la diferencia del peso fresco y peso seco de la hoja. El área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) se define como la relación entre el área foliar y el peso seco de la hoja, también se considera un indicador del grosor de la hoja. A mayor área foliar por unidad de peso tendrá menor grosor. Las hojas fueron recolectadas en el mes de julio del año 2014.

6.5. Estudio de estomas

Se recolectaron 5 hojas de cada una de las 9 especies. Las hojas fueron recolectadas en el mes de agosto del 2015. En la presente investigación no se incluyó la especie *Cordia boissieri* debido a que con la técnica empleada no se observaron los estomas, es por ello que se descartó dicha especie. Se utilizó la técnica descrita por Maiti *et al.* (2012), que se describe a continuación:

Se utilizan trozos de hielo seco o dióxido de carbono en estado sólido y se disuelven lentamente en pequeña cantidad de Xileno en una caja de Petri para tener una solución viscosa. Se aplica la solución con la ayuda del dedo meñique de ambas superficies superior e inferior de las hojas de cada especie de entre el nervio central y el margen. Se dejan secar las hojas con la solución. Una vez seco, se aplica un trozo de cinta adhesiva transparente y se presiona en la región con un dedo. Finalmente la cinta se desprende con la impresión. Se obtuvieron imágenes fotográficas a partir de las muestras permanentes con un microscopio óptico Zeiss Axiostar Plus en un campo de 40x que cubre una superficie de 0.1590 mm². Se determinó la densidad estomática de la siguiente manera: se contabilizaron los estomas de cada especie presentes en cinco campos y se obtuvo el promedio del número de estomas, el cual se dividió con la superficie del área de campo y el resultado obtenido es número de estomas por mm². Se realizaron mediciones de 50 estomas de cada especie, largo y ancho, y se obtuvo el promedio para cada especie en μm .

6.6. Análisis estadísticos

Dado que los datos obtenidos de las características morfológicas foliares no mostraron distribución normal ni homogeneidad de varianzas, la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis fue utilizada con el fin de detectar diferencias significativas entre las especies arbustivas para cada una de las características o rasgos morfológicos estudiados.

Con el propósito de detectar relaciones entre las diversas características morfológicas foliares estudiadas, se empleó la correlación de rangos de Spearman (Ott, 1995). Los análisis estadísticos fueron realizados mediante el uso del paquete estadístico SPSS, versión 17 liberada para Windows

7 RESULTADOS

7.1. Prueba de Kruskal-Wallis

Los resultados muestran que existen diferencias significativas ($p < 0.001$) entre las especies arbustivas para cada variable morfológica estudiada. Se mencionan en el **Cuadro 2**. Los resultados observados en la presente investigación revelan que existe una amplia diversidad interespecífica entre las distintas características foliares estudiadas lo que sugiere (Quero *et al.* 2009) que existen distintos rasgos funcionales dentro de la comunidad estudiada.

Cuadro 2. Resumen del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre las especies para cada característica foliar.

Característica morfológica	Estadístico	
	χ^2	Valor P
Peso fresco de la hoja	426.432	<0.001
Área foliar	432.930	<0.001
Largo de la hoja	415.653	<0.001
Ancho de la hoja	431.809	<0.001
Largo del pecíolo	462.102	<0.001
Largo total de la hoja	437.782	<0.001
Peso seco de la hoja	428.710	<0.001
Contenido de agua en la hoja	406.346	<0.001
Área foliar específica	234.128	<0.001

7.2. Características morfológicas foliares

Los resultados de las características morfológicas foliares para cada una de las variables estudiadas en la presente investigación, se describe a continuación.

7.2.1. Ancho de la hoja

Los resultados obtenidos para la característica ancho de la hoja se muestran en la **Figura 3**. La especie que presentó el mayor valor corresponde a *Cordia boissieri* con 5.1 cm y la especie que presentó el valor más bajo fue *Diospyros texana* con 1.2 cm.

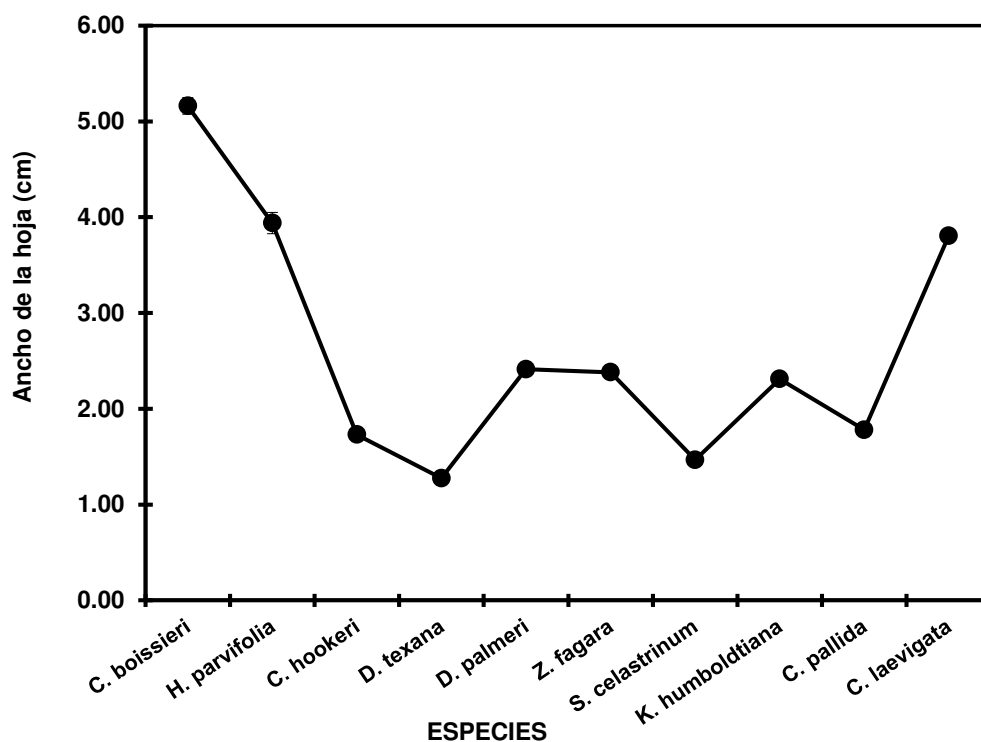


Figura 3. Ancho de la hoja (cm) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) \pm error estándar.

7.2.2. Área foliar específica

El comportamiento del área foliar específica para las diez especies estudiadas se ilustra en la **Figura 4**. En la especie *Condalia hookeri* se detectó el valor más alto ($204.1 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$) mientras que en la especie *Helietta parvifolia* se observó el valor más bajo ($88.5 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$).

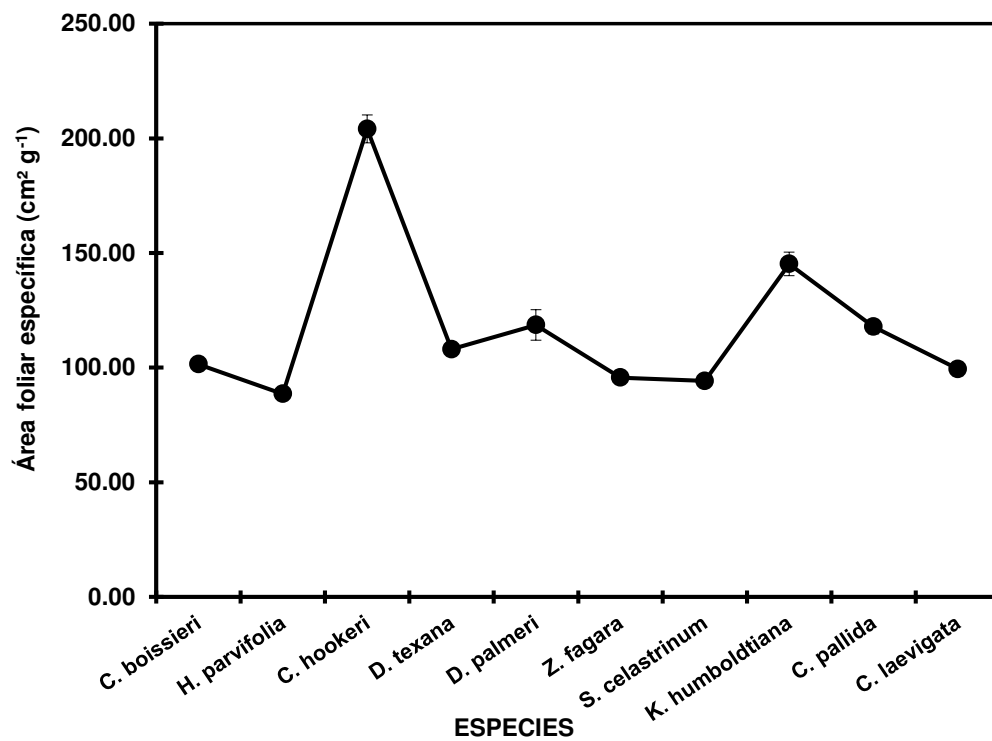


Figura 4. Área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media ($n=50$) \pm error estándar.

7.2.3. Área foliar

Los resultados de área foliar se denotan en la **Figura 5**. La especie *Cordia boissieri* mostró el valor mayor y la especie que presentó el valor más bajo fue *Diospyros texana*; con valores de 37.9 cm² y 2.6 cm², respectivamente.

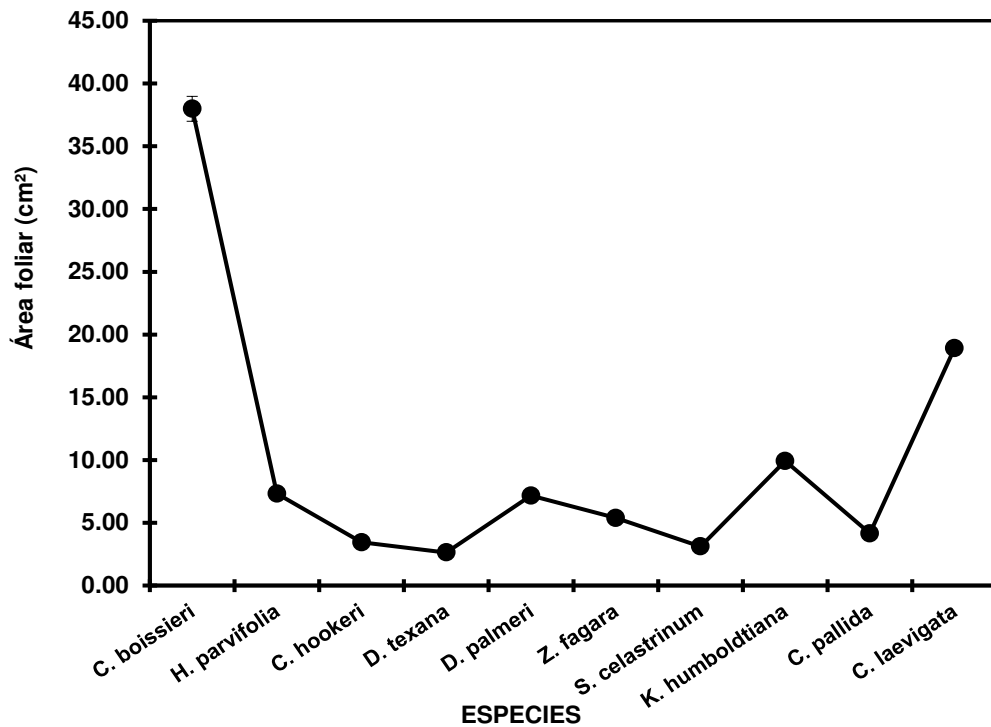


Figura 5. Área foliar (cm²) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) ± error estándar.

7.2.4. Contenido de agua en la hoja

Se muestra en la **Figura 6** el contenido de agua en la hoja para las diez especies estudiadas. Se encontró que la especie *Diospyros texana* presentó el menor contenido de agua mientras que en la especie *Cordia boissieri* se detectó el mayor contenido de agua; los valores fluctuaron entre 0.02 g y 0.41 g, respectivamente.

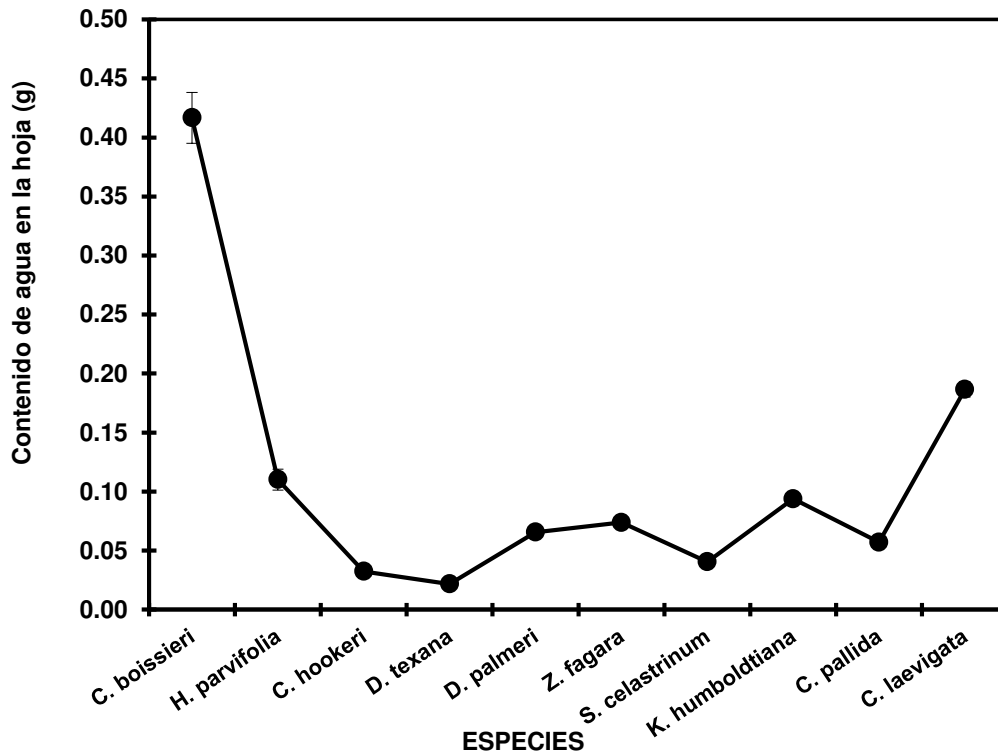


Figura 6. Contenido de agua en la hoja (g) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media ($n=50$) \pm error estándar.

7.2.5. Largo de la hoja

Las dimensiones del largo de hoja para cada una de las diez especies estudiadas se ilustran en la **Figura 7**. En dicha figura se observa que la especie *Celtis pallida* mostró el valor más bajo y la especie *Cordia boissieri* presentó el valor más alto; los cuales son 2.9 cm y 9.8 cm, respectivamente.

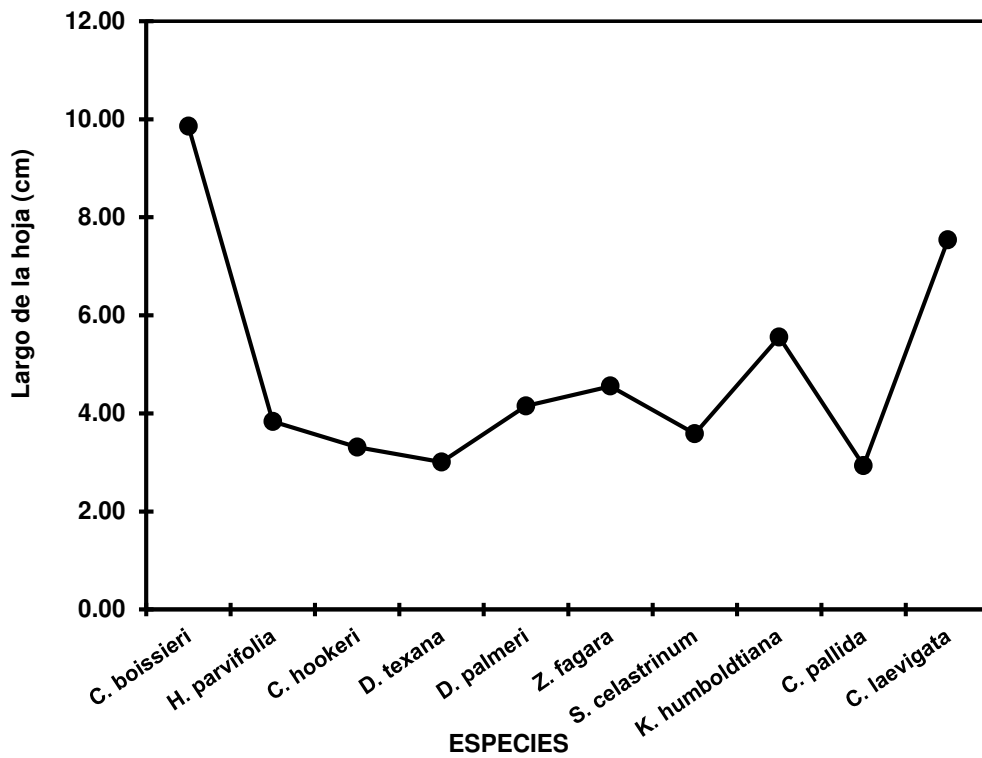


Figura 7. Largo de la hoja (cm) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) \pm error estándar.

7.2.6. Largo del pecíolo

La longitud del pecíolo para cada una de las diez especies estudiadas se presenta en la **Figura 8**. La especie *Cordia boissieri* obtuvo el valor mayor con 2.1 cm mientras que la especies que presentó el valor más bajo fue *Diospyros texana* con 0.2 cm.

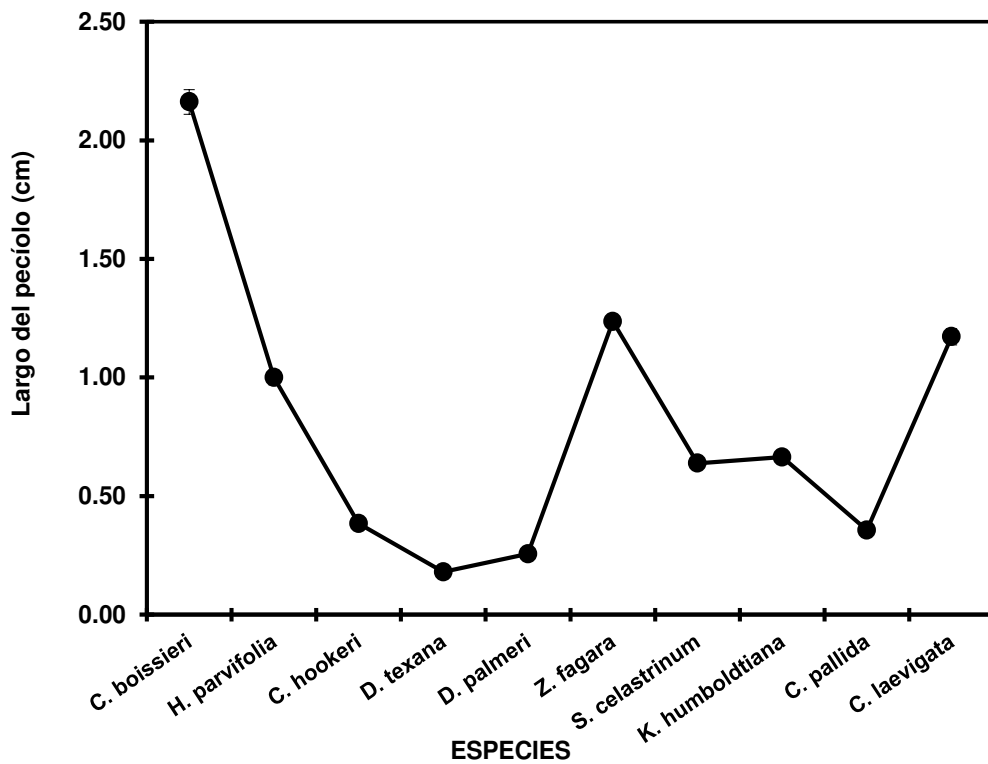


Figura 8. Largo del pecíolo (cm) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) \pm error estándar.

7.2.7. Largo total de la hoja

En la **Figura 9** se presentan los resultados de la característica largo total de la hoja para cada especie estudiada, los cuales fluctuaron entre 12.0 cm y 3.1 cm, para las especies *Cordia boissieri* y *Diospyros texana*, respectivamente.

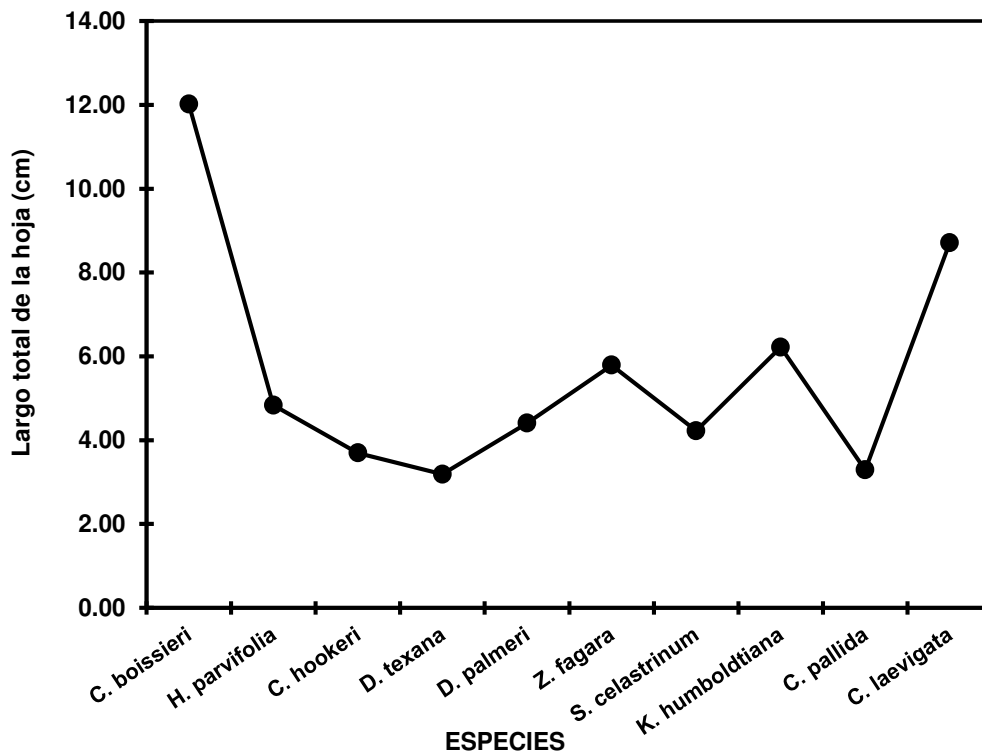


Figura 9. Largo total de la hoja (cm) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) \pm error estándar.

7.2.8. Peso fresco de la hoja

En la **Figura 10** se ilustra el peso fresco de la hoja para cada una de las diez especies estudiadas. El peso fresco con mayor valor fue para la especie *Cordia boissieri* con 0.79 g, mientras que la especie que presentó el valor más bajo fue *Diospyros texana* con 0.04 g.

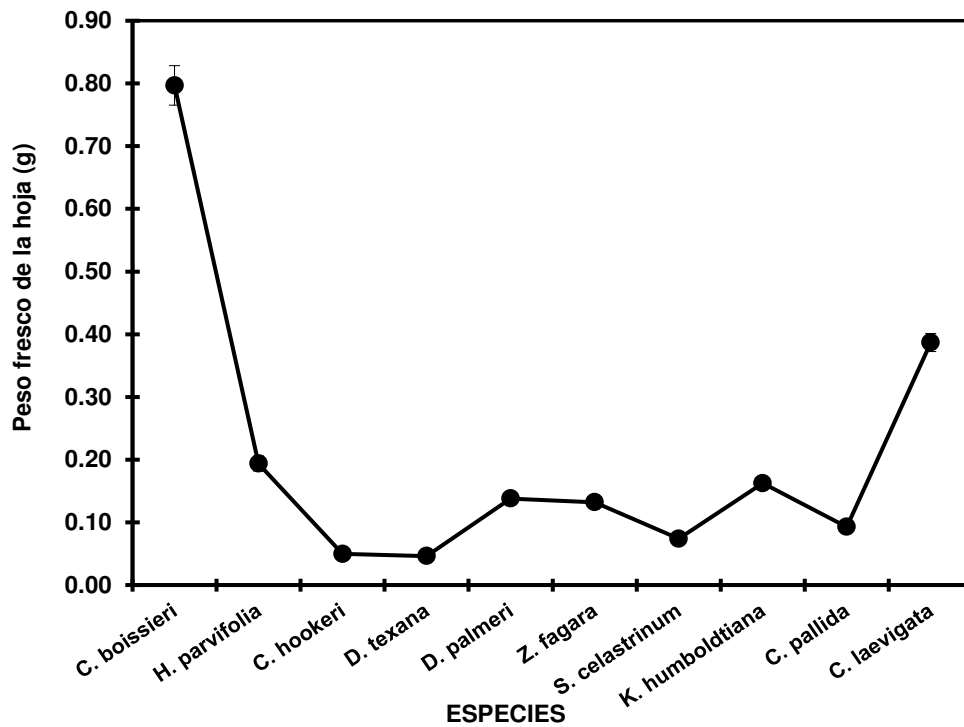


Figura 10. Peso fresco de la hoja (g) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) \pm error estándar.

7.2.9. Peso seco de la hoja

El comportamiento del peso seco de la hoja para cada una de las diez especies estudiadas se presenta en la **Figura 11**. La especie *Condalia hookeri* mostró el peso seco menor con 0.01 g, en cambio la especie *Cordia boissieri* presentó el valor más alto, siendo este de 0.38 g.

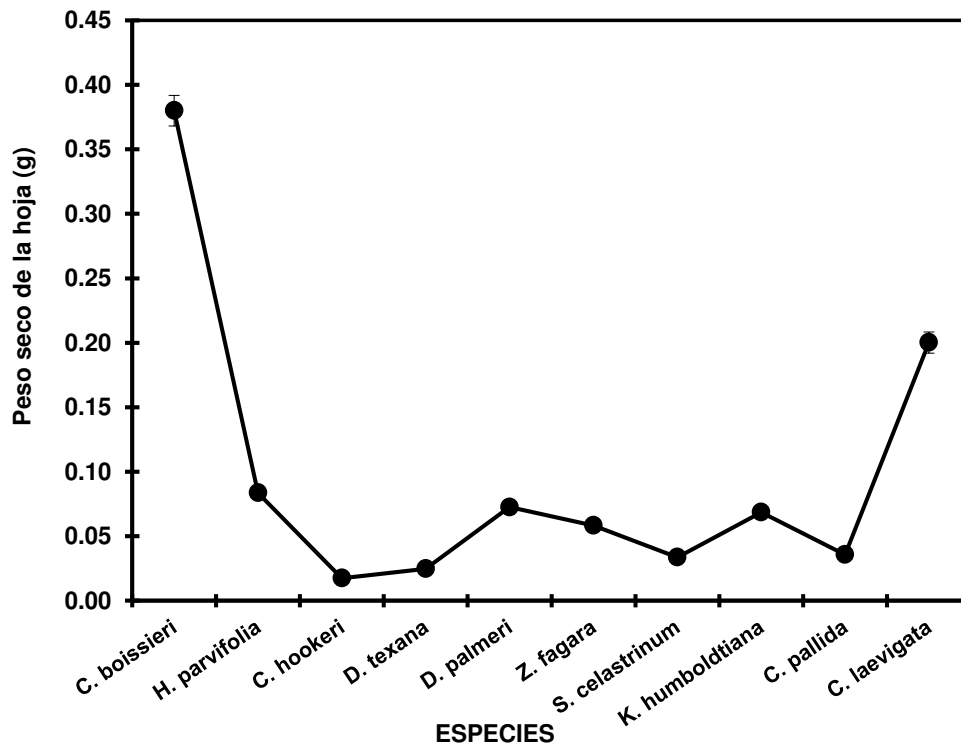


Figura 11. Peso seco de la hoja (g) de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=50) \pm error estándar.

7.3. Correlación de Spearman

En el **Cuadro 3** se ilustran los coeficientes de correlación y la significancia respectiva (valor p) detectada para la asociación de cada característica morfológica en las diez especies arbustivas.

Los valores del coeficiente de correlación mostraron una relación positiva y estadísticamente significativa para las variables de peso fresco, área foliar, largo, ancho y longitud total de la hoja, longitud del pecíolo, peso seco y contenido de agua en la hoja. Los valores del coeficientes de correlación entre estas variables fluctuaron de 0.672 (área foliar vs longitud del pecíolo) a 0.984 (peso fresco vs peso seco).

Por el contrario, se presentó una relación negativa y estadísticamente significativa entre el área foliar específica con respecto al resto de las variables, con valores de que fluctuaron de -0.125 (área foliar) a -0.448 (peso seco de la hoja).

Cuadro 3. Coeficientes de correlación (n=500) de Spearman (parte superior de la línea diagonal) y significancia (parte inferior de la línea diagonal) entre las distintas variables foliares de diez especies de plantas arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

Característica	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
V1. Peso fresco de la hoja		0.948	0.870	0.904	0.751	0.887	0.984	0.981	-0.373
V2. Área foliar	<0.001		0.901	0.919	0.672	0.890	0.928	0.934	-0.125
V3. Largo de la hoja	<0.001	<0.001		0.774	0.731	0.980	0.861	0.852	-0.160
V4. Ancho de la hoja	<0.001	<0.001	<0.001		0.736	0.809	0.881	0.892	-0.225
V5. Largo del pecíolo	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001		0.842	0.727	0.750	-0.335
V6. Largo total de la hoja	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001		0.876	0.872	-0.220
V7. Peso seco de la hoja	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001		0.941	-0.448
V8. Contenido de agua	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001		-0.302
V9. Área foliar específica	<0.001	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	

7.4. Características anatómicas de los estomas

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la densidad estomática y dimensiones de los mismos por especie arbustiva. Los resultados de la densidad estomática por especie, corresponden para la epidermis abaxial, ya que en la epidermis adaxial no se observaron, según la técnica empleada.

7.4.1. Densidad estomática

En la **Figura 12** se ilustra la densidad estomática para las nueve especies estudiadas. Los valores de la densidad estomática fluctuaron de 74.97 a 703.90 estomas por mm² para las especies *Helietta parvifolia* y *Celtis laevigata*, respectivamente.

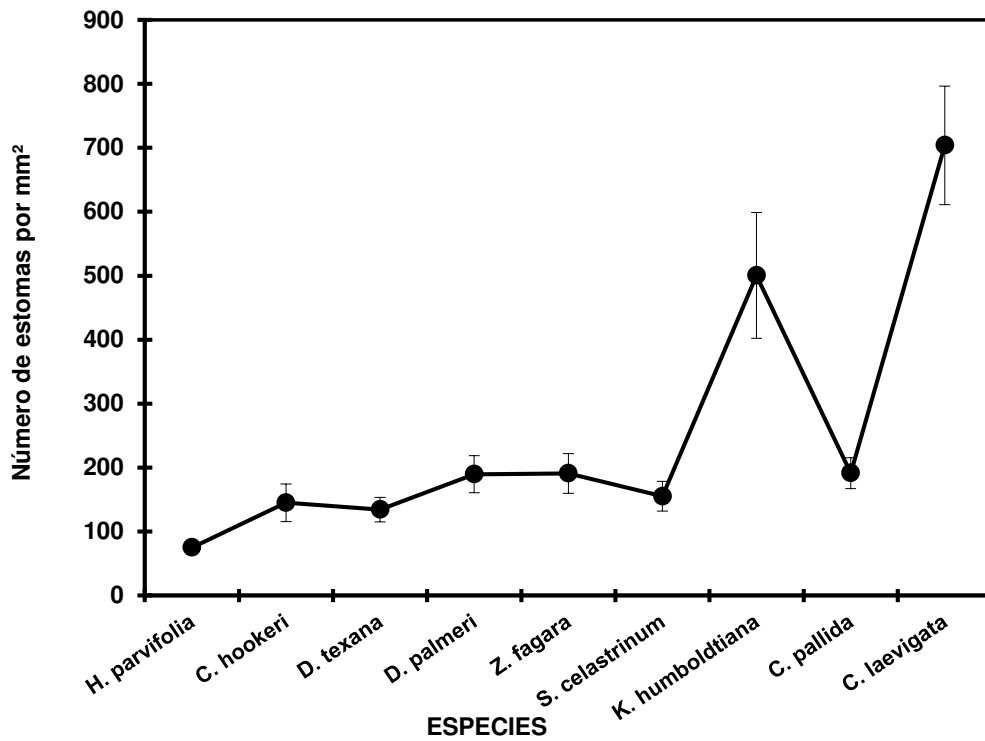


Figura 12. Densidad estomática de la epidermis abaxial (número de estomas por mm²) de nueve especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media (n=25) ± error estándar.

7.4.2. Dimensión de estomas

Los resultados para la dimensión de largo y ancho de estomas se observan en la **Figura 13**. La especie *Karwinskia humboldtiana* mostró el valor más bajo para el largo del estoma con 17.20 μm y la especie *Helietta parvifolia* presentó el valor mayor con 38.70 μm . Para el ancho del estoma, la especie *Sideroxylon celastrinum* mostró el valor menor con 9.26 μm y la especie *Diospyros palmeri* presentó el valor mayor con 19.45 μm .

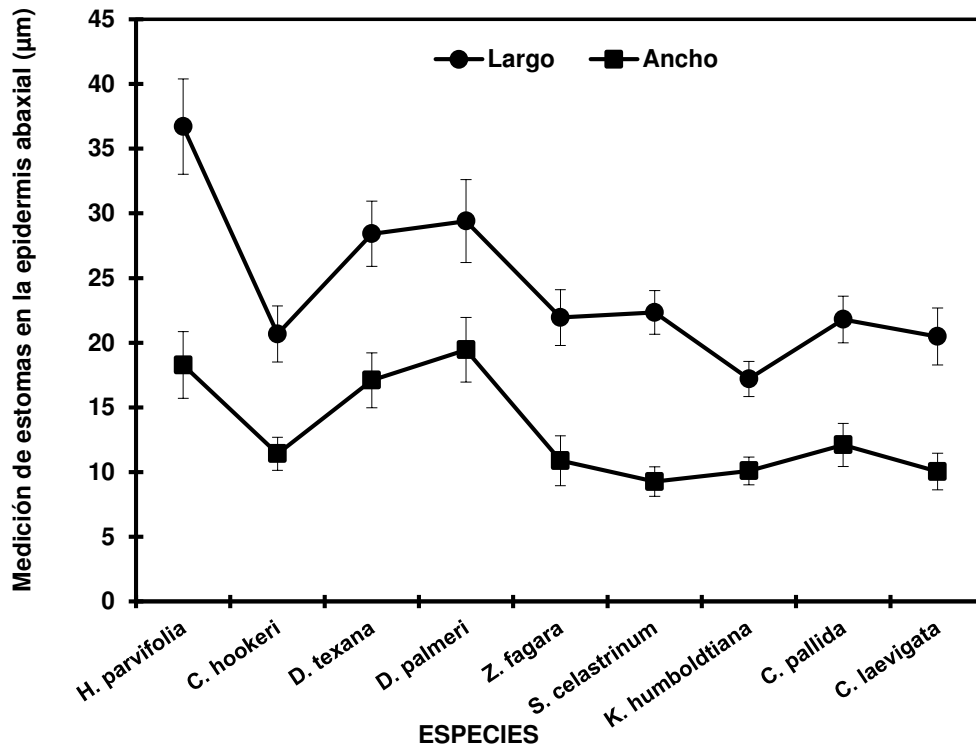


Figura 13. Medición de largo (μm) y ancho (μm) de los estomas de la epidermis abaxial de Nueve Especies Arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Cada valor graficado representa la media ($n=50$). \pm error estándar.

7.4.3. *Celtis laevigata*

En la **Figura 14** se ilustra la distribución de los estomas para la especie *Celtis laevigata*. En dicha ilustración se puede observar la presencia de estomas solo en la epidermis abaxial con una densidad estomática de 703.90 estomas por mm². La longitud del estoma fue de 20.48 µm y el ancho de 10.05 µm. El tipo de estomas que presenta dicha especie es paracítica.

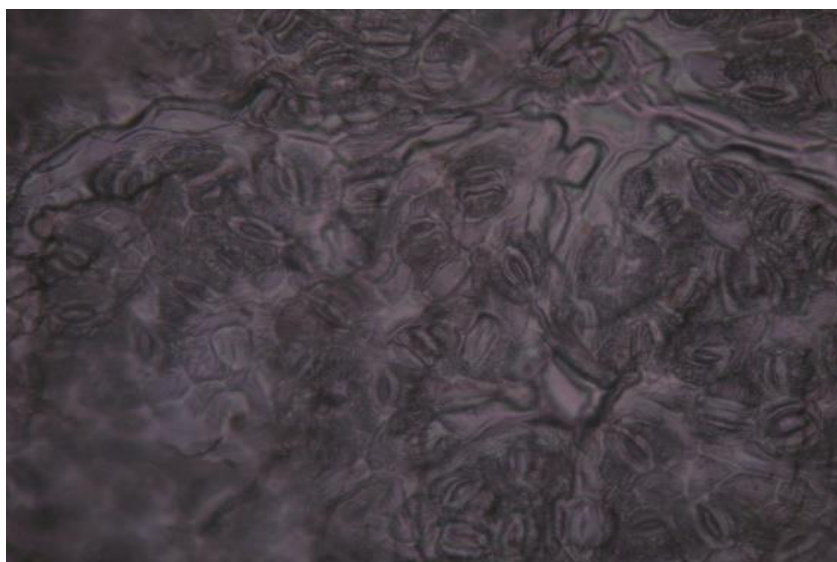


Figura 14. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie *Celtis laevigata* (Palo blanco) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

7.4.4. *Celtis pallida*

Se denota en la **Figura 15** la distribución de los estomas para la especie *Celtis pallida*, donde se puede observar la presencia de estomas en la epidermis abaxial con una densidad estomática de 191.45 estomas por mm². Por otra parte, los valores de largo y ancho del estoma corresponden a 21.81 μm y 12.10 μm, respectivamente. El tipo de estomas que presenta esta especie es paracítica.

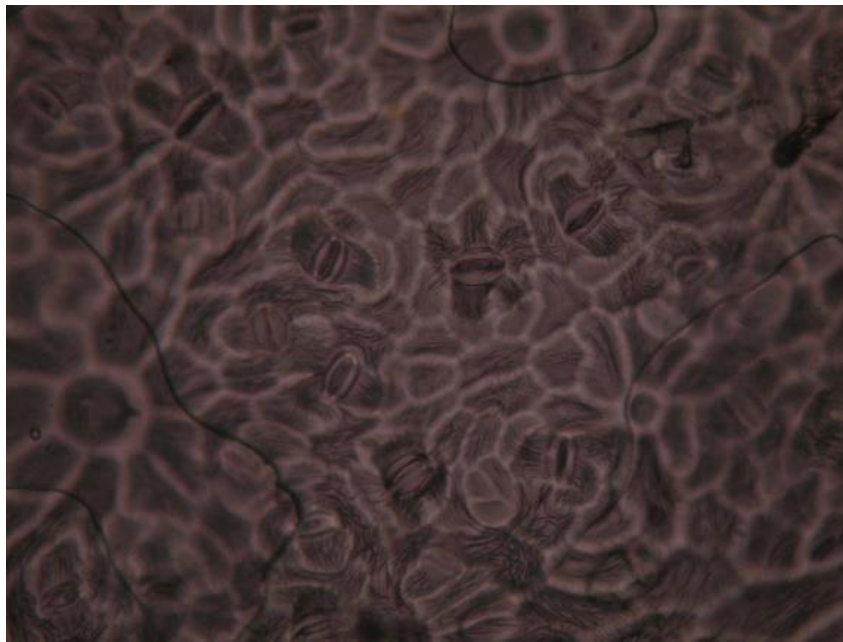


Figura 15. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie *Celtis pallida* (Granjeno) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

7.4.5. *Condalia hookeri*

En la **Figura 16** se presenta la distribución de los estomas en la epidermis abaxial para la especie *Condalia hookeri*, observándose un promedio de 145.16 estomas por mm². En lo que respecta al largo y ancho de los estomas se obtuvieron los valores de 20.68 µm y 11.42 µm, respectivamente. El tipo de estomas que presenta esta especie es anomocítica.

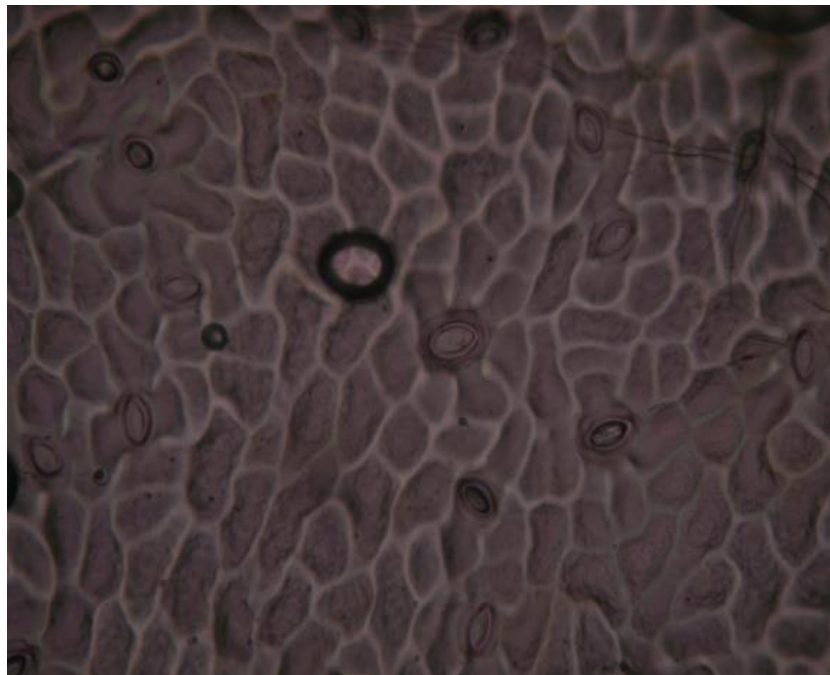


Figura 16. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie *Condalia hookeri* (Brasil) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

7.4.6. *Diospyros palmeri*

En cuanto a las dimensiones de los estomas para la especie *Diospyros palmeri* (**Figura 17**) los valores que se observaron corresponde a 29.40 μm a 19.45 μm para largo y ancho de los estomas en la epidermis abaxial, respectivamente. En lo que respecta a la densidad estomática se encontró 189.69 estomas por mm^2 . El tipo de estomas que presenta dicha especie es anomocítica.

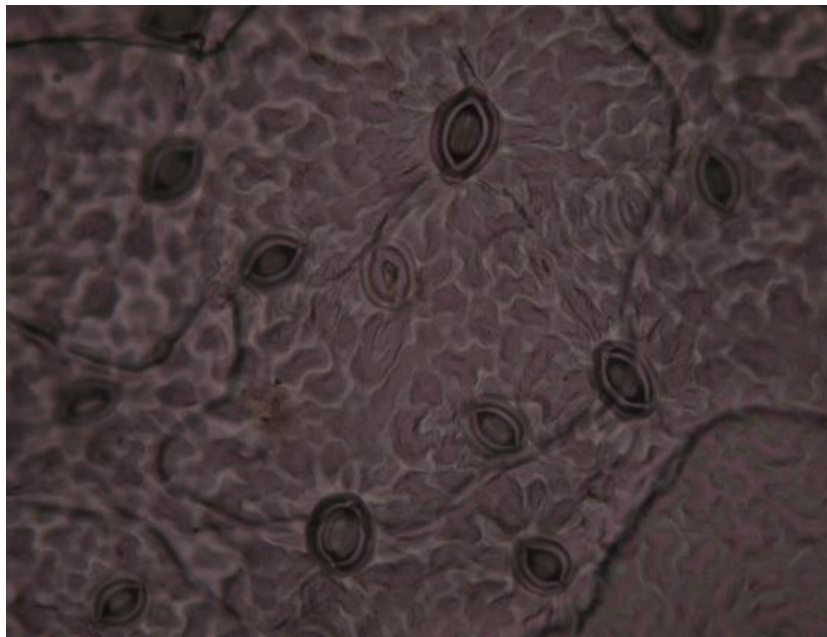


Figura 17. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie *Diospyros palmeri* (Chapote manzano) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

7.4.7. *Diospyros texana*

Se muestra en la **Figura 18** el patrón de estomas para la especie *Diospyros texana*. Se encontró una densidad estomática en la epidermis abaxial de 134.34 estomas por mm² y en cuanto al largo y ancho de estomas, los valores fueron de 28.42 μm y 17.10 μm, respectivamente. El tipo de estomas que presenta esta especie es anomocítica.

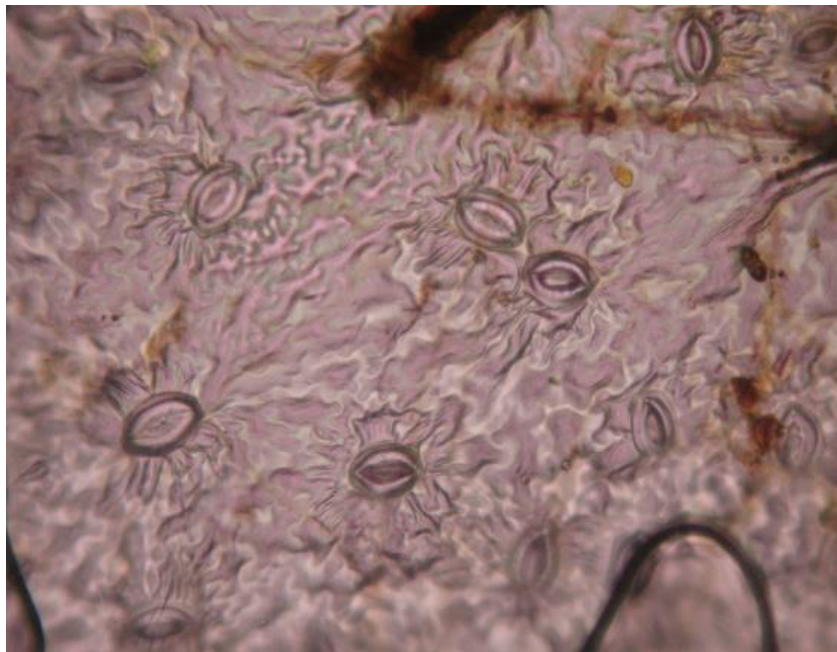


Figura 18. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie *Diospyros texana* (Chapote prieto) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

7.4.8. *Helietta parvifolia*

En la **Figura 19** se muestran los resultados observados para la especie *Helietta parvifolia*, los cuales indican una densidad estomática en la epidermis abaxial de 74.97 estomas por mm². Para el largo de los estomas se obtuvo un promedio de 36.70 µm y para el ancho del estoma fue de 18.28 µm. El tipo de estomas que presenta esta especie es anisocítica.

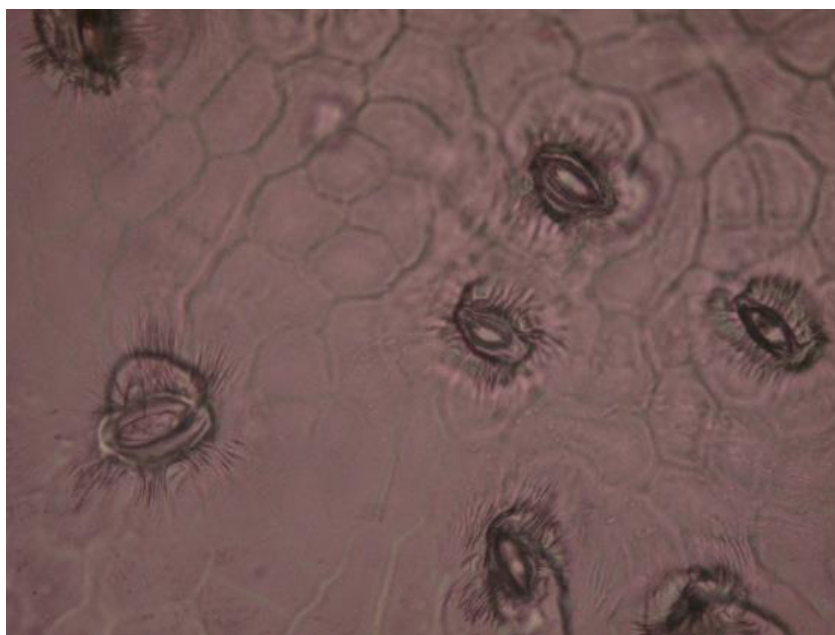


Figura 19. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie *Helietta parvifolia* (Barreta) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

7.4.9. *Karwinskia humboldtiana*

Para la especie *Karwinskia humboldtiana*, en la **Figura 20** se ilustra la distribución de los estomas. En cuanto a densidad estomática en la epidermis abaxial se observaron 516.98 estomas por mm². El largo del estoma fue de 17.20 µm y el ancho del estoma fue de 10.09 µm. El tipo de estomas que presenta dicha especie es anomocítica.

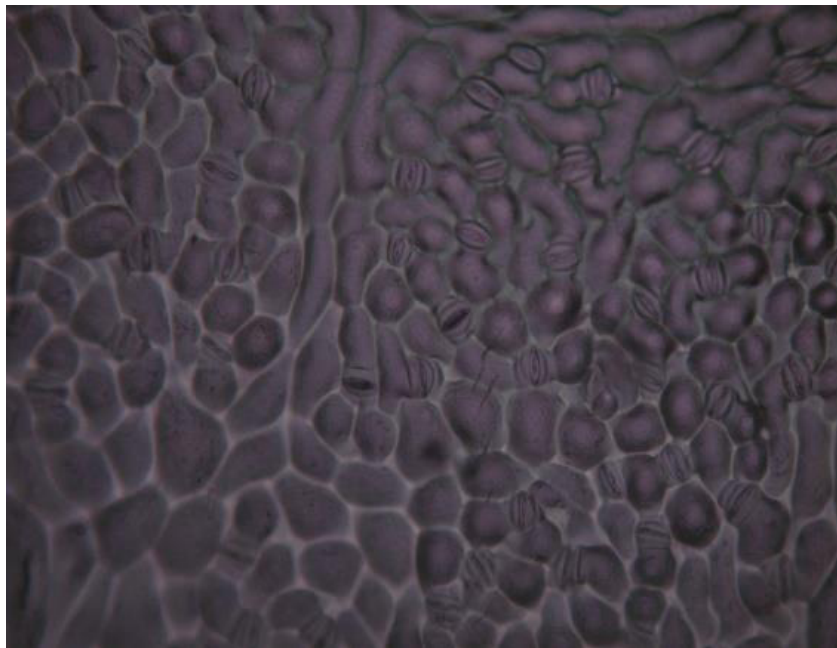


Figura 20. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie *Karwinskia humboldtiana* (Coyotillo) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

7.4.10. *Sideroxylon celastrinum*

Los resultados encontrados para la especie *Sideroxylon celastrinum* se ilustran en la **Figura 21**. La longitud y ancho del estoma en la epidermis abaxial fue de 22.34 μm y 9.26 μm , respectivamente. Por otro lado, la densidad estomática en la epidermis abaxial observada fue de 155.22 estomas por mm^2 . El tipo de estomas que presenta esta especie corresponde a anisocítica.

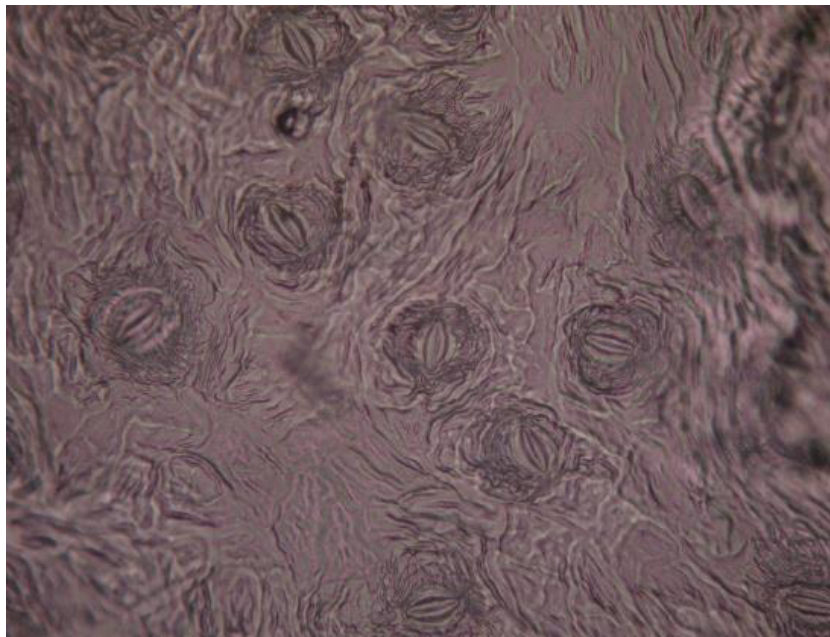


Figura 21. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie *Sideroxylon celastrinum* (Coma) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

7.4.11. *Zanthoxylum fagara*

En la **Figura 22** se muestran los resultados de la distribución de los estomas para la especie *Zanthoxylum fagara*. Los valores observados del largo y ancho de los estomas corresponde a 21.95 μm y 10.88 μm , respectivamente. La densidad estomática en la epidermis abaxial registrada es de 190.94 estomas por mm^2 . El tipo de estomas que presenta esta especie es anomocítica.

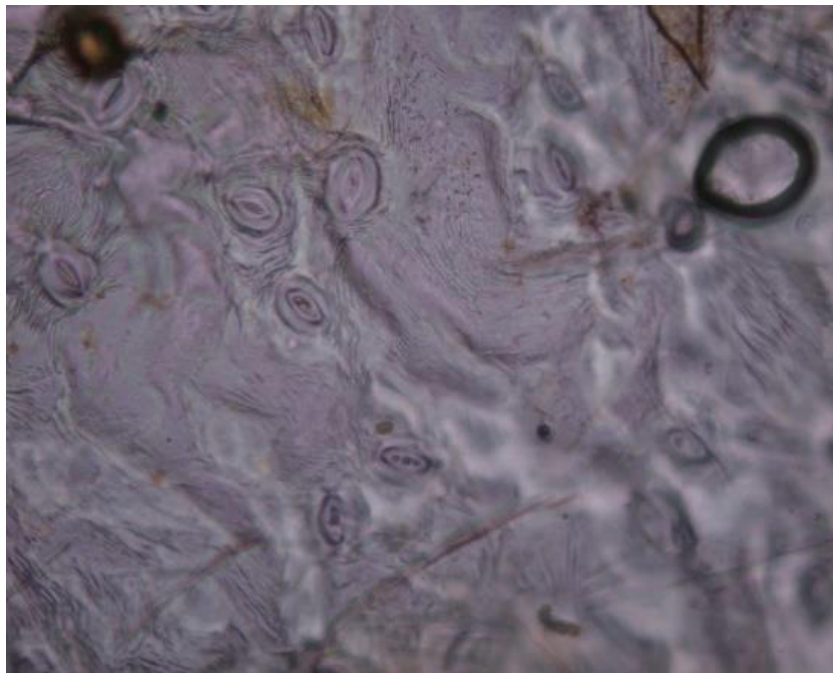


Figura 22. Ilustración de estomas observados en la epidermis abaxial de la especie *Zanthoxylum fagara* (Colima) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

8 DISCUSIÓN

8.1. Características morfológicas

El objetivo del presente estudio fue determinar las características morfológicas y anatómicas de diez especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Los resultados han revelado que existe una amplia diversidad interespecífica entre las distintas características morfológicas y anatómicas estudiadas por lo que existen distintos rasgos funcionales dentro de la comunidad estudiada como ha sido documentada en otros tipos de comunidades vegetales (Quero *et al.*, 2009).

Para la variable ancho de la hoja, el resultado con mayor valor fue para la especie *Cordia boissieri* y la especie que presentó el valor más bajo fue *Diospyros texana* (**Figura 3**). Estos resultados demuestran que al presentar un valor elevado de esta variable indica que la hoja es de forma ovalada y presentará mayor área foliar transpirable. Martínez *et al.* (2003) realizó un estudio de la arquitectura foliar de *Quercus sartorii* y *Q. xalapensis*, en el cual presenta valores semejantes a los encontrados en el presente estudio para la variable mencionada.

Con respecto a la variable área foliar específica, se encontró que la especie *Condalia hookeri* obtuvo el valor más alto mientras que la especie *Helietta parvifolia* presentó el valor más bajo **Figura 4**. El área foliar específica expresa el grosor relativo de las hojas y es una característica morfológica sensible a factores ambientales (Santos y Segura, 2005). El área foliar específica explica en mayor parte la variación de crecimiento entre las especies. Las especies con crecimiento más rápido, bajo óptimas condiciones, son aquellas que tienen la mayor área foliar específica (Poorter y Garnier, 1996). El área foliar específica es la razón entre el área de la hoja y su peso seco. Un incremento en el área foliar específica implica que la hoja invierte menos biomasa por unidad de área. Una

elevada área específica foliar (SLA) implica una mayor relación superficie-volumen y, por tanto, mayores pérdidas de agua (López *et al.*, 2013).

Por otro lado, los resultados para la variable área foliar indican que la especie *Cordia boissieri* mostró el mayor valor y la que presentó el valor más bajo fue *Diospyros texana* (**Figura 5**). Al presentar menor área foliar indica que se reduce la incidencia de la luz dentro del dosel de la planta, dependiendo de la orientación, distribución y tamaño de las hojas (Niinemets, 1998). En arbustos deciduos, evasores de la sequía y considerados mejor adaptados para enfrentar prolongados períodos de déficit de agua, la estrategia adaptativa común es la reducción del área foliar, principalmente por la pérdida estacional de las hojas (Pereira y Chávez, 1993).

En cuanto al contenido de agua en la hoja se encontró que la especie *Diospyros texana* presentó el menor contenido mientras que en la especie *Cordia boissieri* se detectó el valor mayor (**Figura 6**). Este resultado permite inferir que dicha especie del Matorral Espinoso Tamaulipeco sea más tolerante a la desecación, lo cual se puede deber a la menor microfilia de sus folíolos, lo que permite reducir altas tasas del flujo transpiracional y por consiguiente mayor contenido de agua en el tejido foliar (González *et al.*, 2000). Salisbury y Ross (1994) infieren que la reducción del contenido de agua es acompañado por la pérdida de turgencia y marchitamiento, cese de la expansión celular, cierre de estomas, reducción de la fotosíntesis, y la interferencia con muchos otros procesos metabólicos. Se ha documentado que la disminución del área foliar reduce la transpiración en hojas expuestas a fuertes radiaciones, esto es, mejora la eficiencia en el uso del agua. Así, las hojas con una mayor cantidad de biomasa por unidad de área se consideran más eficientes en el uso del agua en ambientes áridos y en el uso de nutrientes.

Con respecto a la variable largo de la hoja, se encontró que la especie *Celtis pallida* mostró el valor más bajo y la especie *Cordia boissieri* presentó el valor más alto (**Figura 7**). Dichos resultados muestran que al presentar un mayor valor de la variable mencionada el área transpirable es mayor y por tanto el contenido de agua presente será mayor. Los resultados descritos por Martínez *et al.* (2003), muestran diferencias con los resultados obtenidos en la presente investigación debido principalmente al tipo de comunidad vegetal.

Para la variable largo del pecíolo, se obtuvo lo siguiente: la especie *Cordia boissieri* obtuvo el valor mayor y la que presentó el valor más bajo fue *Diospyros texana* (**Figura 8**). Al presentar valores altos favorece a la mayor captación de luz de las hojas, por el contrario al presentarse pecíolos cortos, las hojas están más sobrepuestas y reciben menos cantidad de luz (Zúñiga *et al.*, 2009). No obstante, los resultados también se deben a la filogenia de cada especie. Metcalfe y Chalk (1973) explican que el largo del pecíolo es un rasgo común en plantas xerófilas al cumplir una función de soporte evitando el colapso y sostén de las estructuras contra la acción de la desecación y los fuertes vientos, comunes de las regiones áridas.

Los resultados para la variable largo total de la hoja las especies *Cordia boissieri* y *Diospyros texana* obtuvieron el valor más alto y más bajo, respectivamente (**Figura 9**). Al mostrar alto valor de la variable indica que el área transpirable es mayor, el contenido de agua es mayor y la captación de luz es mayor para las hojas. Los resultados son semejantes a los mencionados por Maiti *et al.* (2014) para la misma comunidad vegetal.

Por otro lado, para el peso fresco de la hoja, el resultado con mayor valor fue para la especie *Cordia boissieri* y la que presentó el valor más bajo fue *Diospyros texana* (**Figura 10**). La diferencia entre las especies para esta variable indica la

eficiencia en el uso del agua, al ser mayor el valor, tal vez las especies presentan un mayor contenido de agua o está relacionado a la profundidad del sistema radicular para tener mayor acceso o disponibilidad de humedad del suelo.

Con respecto al peso seco de la hoja, la especie *Condalia hookeri* mostró el resultado menor y la especie *Cordia boissieri* presentó el valor mayor (**Figura 11**). Así las hojas con una mayor cantidad de biomasa por unidad de área se consideran más eficientes en el uso del agua en ambientes áridos y en el uso de los nutrientes. Sin embargo, esta característica de la hoja también puede verse afectada por variaciones nutricionales y/o de humedad, de intensidad lumínica, de temperatura, de altitud, de la concentración atmosférica de CO₂, variaciones estacionales, y con la edad de la hoja (Navarro, 2004).

8.2. Características anatómicas

Para la densidad estomática de la epidermis abaxial, el resultado con mayor valor fue para la especie *Celtis laevigata* y la especie que presentó el menor valor fue *Helietta parvifolia* (**Figura 12**). Estos resultados indican que la reducción de la densidad de estomas es consecuencia de diferentes adaptaciones, las hojas suculentas reducen la densidad estomática, halófitas presentan hojas crasas y baja densidad estomática (Arambarri *et al.*, 2012). Esau (1972) establece un rango de 100 a 300 estomas/mm² en las angiospermas. Leegod (1993) determinó para el envés de las hojas de plantas C3, de 40 a 300 estomas/mm². Se concluye que estomas de tipo anomocítico y paracítico (en menor medida) son los que predominan en los arbustos y árboles, resultando coincidente con lo referido por Cronquist (1988) sobre que el hábito arbóreo de las plantas como estos tipos de estomas son caracteres primitivos. La densidad estomática en la cara abaxial se determinó un valor promedio de 790.9 estomas/mm², con valores mínimo y máximo de 454.5 y 1075.7 estomas/mm², respectivamente, en *Celtis*

ehrenbergiana. Los valores indicados son similares para los mencionados en la presente investigación para las especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco. (Nughes *et al.*, 2013)

Por otro lado para el largo de los estomas de la epidermis abaxial, el valor menor es para la especie *Karwinskia humboldtiana* y la especie *Helietta parvifolia* registro el valor menor. Con respecto a ancho del estoma de la epidermis abaxial se obtuvo el valor menor para la especie *Sideroxylon celastrinum* y la especie *Diospyros palmeri* presentó el valor mayor (**Figura 13**). Nughes *et al.*, 2013 determino longitud y latitud de los estomas de las hojas de *Celtis ehrenbergiana* obteniendo valores similares a los mencionados en el presente trabajo de investigación para la epidermis abaxial los valores fluctúan para las hojas de sol de 18.8 y 11.9 μm en la abaxial. En las hojas de sombra los estomas presentan un tamaño de 17.8 y 11.4 μm en la abaxial. Por tanto, los estomas de las hojas de sol son más grandes que los de las hojas de sombra.

9 CONCLUSIONES

Con los resultados observados se puede concluir que las diferentes características morfológicas medidas presentaron diferencias significativas ($p < 0.001$) para el total de las especies arbustivas estudiadas, lo que favorece el establecimiento de dichas especies a las condiciones climáticas presentes en la región.

Se muestra que existe una correlación positiva entre las variables peso fresco, área foliar, largo de la hoja, ancho de la hoja, largo del pecíolo, largo total de la hoja, peso seco y contenido de agua para el total de las diez especies estudiadas en la presente investigación. Por el contrario, la variable área foliar específica muestra correlación negativa para el total de las variables. Esto nos indica que realmente las características morfológicas si están relacionadas positivamente entre sí, excepto la variable área foliar específica que presenta una relación negativa con el total de las variables estudiadas.

En cuanto a los resultados observados en anatomía foliar se puede concluir que las especies que presentan densidad estomática mayor tienden a perder más agua y ocurre lo contrario en especies con densidad estomática menor, como es el caso de la especie *Celtis laevigata* la cual presentó el valor más elevado de densidad estomática, es decir, que presentó más estomas por mm^2 , lo que puede indicar una tendencia a que pierde más agua que el resto de las especies estudiadas.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Abrefa-Danquah J, Appiah M. and Ari P. 2011. Leaf morphometric variation in two species of African Mahoganies: *Khaya ivorensis* and *Khaya anthotheca* (Meliaceae). *European Journal of Scientific Research*. 54(3):325-338.
- Aguiar MO, De Morais RR, Araújo RC, Skatulla M and Preisinger H. 2000. Morphological traits and ecological behavior of selected secondary forest tree. *German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems*. 3(8):965-968.
- Álvarez-Delgadillo A. 2006. Análisis de la estructura morfológico foliar de *Quercus crassifolia* asociada a diferentes microambientes dentro del parque nacional El Chico, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 85 pp.
- Arambarri A, Monti C, Bayón N, Hernández M, Novoa MC. y Colares M. 2012. Ecoanatomía foliar de arbustos y árboles del distrito chaqueño oriental de la Argentina. *Bonplandia*. 21(1):5-26.
- Bradshaw AD. 1965. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Advances in Genetics*. 13:115-155.
- Bruschi P, Vendramin GG, Bussotti F. and Grossoni P. 2000. Morphological and molecular differentiation between *Quercus petraea* (Matt) Liebl. and *Quercus pubescens* Willd. (Fagaceae) in Northern and Central Italy. *Annals of Botany*. 85:325-333.
- Carranza-González E. 2000. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Instituto de Ecología. 9 pp.
- Cronquist A. 1988. The evolution and classification of flowering plants. NY Botanical Garden, Bronx. 555 pp.
- De Kroon H, Huber H, Stuefer JF. and Van Groenendael JM. 2005 A molecular concept of phenotypic plasticity in plants. *New Phytologist*. 166:73-82.

- Díaz S, Marcelo C. and Fernando C. 1998. Plant functional traits and environmental filters at a regional scale. *Journal of Vegetation Science*. 9:113-122.
- Dudley SA. 1996. The response to differing selection on plant physiological traits: evidence for local adaptation. *Evolution*. 50:103-110.
- Esau K. 1976. *Anatomía Vegetal*. Editorial Omega. Barcelona.
- Everitt JH, Lynn-Drawe D. and Lonard RI. 2002. *Tree, shrubs, and cacti of south Texas*. Texas Tech University Press. 249 pp
- Futuyma DJ. and Moreno G. 1988. The evolution of ecological specialization. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 19:207-233.
- Futuyma DJ. 1998. *Evolutionary biology*. 3a edition. Edt. Sinauer Associates, Inc. U.S.A.
- Gianoli E. 2004. Plasticidad fenotípica adaptativa en plantas. En: Cabrera, H.M. editor. *Fisiología ecológica en plantas: mecanismos y respuestas a estrés en ecosistemas*. Valparaíso, Chile. 13-25.
- Givinish TJ. 1987. Comparative studies of leaf form: assessing the roles of selective pressures and phylogenetic constraints. *New Phytologist*. 106:131-160.
- González AF. 2001. *Caracterización morfológica en la conservación de recursos fitogénéticos*. Publicaciones Instituto Nacional de Educación Agrícola. Valladolid, España.
- González RH, Cantú SI, Gómez-Meza MV. and Jordan WR. 2000. Seasonal plant water relationships in *Acacia berlandieri*. *Arid Soil Research and Rehabilitation*. 14(4):343-357.
- González RH, Cantú SI, Gómez-Meza MV, Ramírez-Lozano RG. y Uvalle-Saucedo JI. 2006. Producción de hojarasca y reciclado de nutrientes en

- el Matorral Espinoso Tamaulipeco en el Noreste de México. Memoria del 2do Congreso Latinoamericano IUFRO. La Serena, Chile. 296 pp.
- Gutschick VP. 1999. Biotic and abiotic consequences of differences in leaf structure. *New Phytologist*. 143:3-18.
- Kitajima K. and Fenner M. 2000. Ecology of seedling regeneration. In *Seeds: The ecology of regeneration in plant communities*. 2nd ed. M. Fenner. Wallingford: CABI. 331-359 pp.
- Klich MG. 2000 Leaf variation in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. *Environmental and Experimental Botany*. 44(3):171-183.
- Lallana VH. y Lallana MC. 2003. Manual de prácticas de Fisiología Vegetal. 33-35 pp.
- Lapp M, Jáuregui D, Torrecilla P. y Ruiz-Zapata T. Anatomía de la lámina foliar de diez especies de *Pentacalia* Cass. (Senecioneae-Asteraceae), presentes en Venezuela. *Ernstia*. 23(1):25-46.
- Leegod R. 1993. Carbon dioxide concentrating mechanisms. In P. J. Lea and R. C. Leegod (Eds.) *Plant Biochemistry and Molecular Biology*. John Wiley & Sons. Ltd. Chichester, UK. pp.42-72.
- López-Iglesias B, Villar R. y Poorter L. 2013. Rasgos funcionales como indicadores de la respuesta a la sequía en plántulas de 10 especies leñosas mediterráneas. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*. 10 pp.
- Mitchell KA, Bolstad PV. and Vose J.M. 1999. Interspecific and environmentally induced variation in foliar dark respiration among eighteen southeastern deciduous tree species. *Tree Physiology*. 19:861-870.
- Navarro-Ruiz P. 2004. Variación en la morfología foliar de especies mediterráneas procedentes de sitios con diferente disponibilidad de suelo y agua. *Naturzale*. 18:169.193.

- Niinemets Ü., Portsmouth A. and Tobias M. 2006. Leaf size modifies support biomass distribution among stems, petioles and mid-ribs in temperate plants. *New Phytologist*. 171:91-104.
- Niklas C. 1999. A mechanical perspective on foliage leaf form and function. *New Phytologist*. 143:19-31.
- Nughes L, Colares M, Hernández M. y Arambarri A. 2013. Morfo-anatomía de las hojas de *Celtis ehrenbergiana* (Celtidaceae) desarrolladas bajo condiciones naturales de sol y sombra. *Bonplandia*. 22(2):159-170.
- Maiti R, González-Rodríguez H. and Karfakis T. 2014. Variability in leaf traits of 14 native woody species in semiarid regions of Northeastern Mexico. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*. 5(4):475-479.
- Maiti R, Rajkumar D. and Ramaswamy A. 2012. A guide to plant anatomy and its application. Pustaka Publishing House. 216 pp.
- Martínez-Cabrera D, Terrazas T. y Zavala-Chávez F. Arquitectura foliar y anatomía de la corteza y la madera de *Quercus sartorii* y *Q. xalapensis* (Fagaceae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 73:63-72.
- Merla RG. 1990. Geografía Regional de Nuevo León. Universidad Autónoma de Nuevo León. Centro de Información de Historia Regional. Serie Bibliográfica de Nuevo León.
- Metcalf C. and Chalk L. 1973. Anatomy of the dicotyledons. Oxford University Press. London.
- Ott, L., 1993. An introduction to statistical methods and data analysis. 2nd ed., Duxbury Press. Boston, Massachusetts. 775 p
- Parker AJ. 1982. The use of forest structure and function for interpreting vegetation-environment relationships. *The Professional Geographer*. 34(3):305-312.

- Pereira JS. and Chávez MM. 1993. Plant water deficits in Mediterranean ecosystems. In: Smith JAC & H Griffiths H (eds) Water deficits plant responses from cell to community: 221-236. BIOS Scientific Publishers Limited, Oxford.
- Pérez-Amaro JA, García-Moya E, Enríquez-Quiroz JF, Quero-Carrillo AR, Pérez-Pérez J. y Hernández-Garay A. 2004. Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “mulato” (*Brachiaria híbrido*, cv.). Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. Técnica Pecuaria en México. 42(3):447-458.
- Poorter H. and Garnier E. 1996. Plant growth analysis: an evaluation of experimental design and computational methods. Journal of Experimental Botany. 47:1343-1351.
- Press MC. 1999. The functional significance of leaf structure: a search for generalizations. New Phytologist. 143(1):213-219.
- Quero JL, Villar R, Poorter L, Marañón T, Matías L, Aponte C, García LV, Casado R, Herrero A, Suárez E, Navarro CRM. y Zamora R. 2009. Espectro de variación foliar en bosques mediterráneos del sur de la Península Ibérica. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Actas 5o Congreso Forestal Español. 2-11.
- Royer DL. 2001. Stomatal density and stomatal index as indicators of paleoatmospheric CO₂ concentration. Review Paleobotany & Palynology 114:1-28.
- Salisbury E. y Ross C. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 37-40 pp.
- Santos C. y Segura M. 2005. Evaluaciones de variables fisiológicas y componentes de rendimiento en cuatro variedades y dos clones de papa (*Solanum tuberosum*) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca). Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Facultad de Agronomía. Bogotá, D.C., Colombia. 61-67.

- Schlichting CD. 2002. Phenotypic plasticity in plants. *Plant Species Biology*. 17:85-88.
- Sosa-del Castillo M, Alemán-García S, Pérez-Hernández Y, Abreu-Cruz E, Sosa-del Castillo D. y González-Oramas G. 2014. Caracterización de la lámina foliar de plantas de *Agave fourcroydes* Lem. obtenidas por propagación asexual. *Biotecnología Vegetal*. 14:37-44.
- SPP-INEGI. 1986. Síntesis geográfica del Estado de Nuevo León. Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Geografía e Informática, México.
- SPSS. 2000. Statistical Package for the Social Sciences. Standard released version 13 for Windows, SPSS Inc., Chicago, IL. USA.
- Steel RGD. and Torrie JH. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach, 2nd Edition. New York, NY: McGraw-Hill Book Company. 633 pp.
- Sultan SE. 1995. Phenotypic plasticity and plant adaptation. *Acta Botánica Neerlandica*. 44(4):363-383.
- Taiz L. and Zeiger E. 2002. *Plant Physiology*, 3rd Edition. Published by Sinauer Associates Inc., Sunderland, Massachusetts. 690 pp.
- Tang CQ. and Ohsawa M. 1999. Altitudinal distributions of evergreen broad-leaved tree and their leaf-size pattern a humid subtropical mountain Mt. Emei, Sichuan, China. *Plant Ecology*. 145:221-233.
- Toral M, Manríquez A, Navarro-Cerillo R, Tersí D. y Naulin P. 2010. Características de los estomas, densidad e índice estomático en secuoya (*Sequoia sempervirens*) y su variación en diferentes plantaciones de Chile. *Bosque*. 32(2):157-164.
- Utrillas MJ. and Alegre L. 1997. Impact of water stress on leaf anatomy and ultrastructure in *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Under natural conditions. *International Journal of Plant Sciences*. 158(3):313-324.

- Valladares F, Skillman JB. and Pearcy RW. 2002. Convergence in light capture efficiencies among tropical forest understory plants with contrasting crown architectures: a case of morphological compensation. *American Journal of Botany*. 89(8):1275-1284.
- Warnock R, Valenzuela J, Trujillo A, Madriz P. y Gutiérrez M. 2006. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de Caraota. *Agronomía Tropical*. 56(1):21-42.
- Wright IJ, Reich PB, Westoby M, Ackerly DD, Baruch Z, Bongers F, Cavender-Bares J, Chapin FS, Cornelissen JHC, Diemer M, Flexas J, Garnier E, Groom PK, Gulias J, Hikosaka K, Lamont BB, Lee T, Lee W, Lusk C, Midgley JJ, Navas ML, Niinemets Ü, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Poot P, Prior L, Pyankov Vi, Roumet C, Thomas SC, Tjoelker MG, Veneklaas EJ. and Villar R. 2004. The world-wide leaf economics spectrum. *Nature*: 428:821-827.
- Xu F, Guo W, Xu W, Wei Y. and Wang R. 2009. Leaf morphology correlates with water and light availability: What consequences for simple and compound leaves?. *Progress in Natural Science*. 19:1789-1798.
- Zúñiga EÁ, Sánchez-González A. y Granados-Sánchez D. 2009. Análisis de la variación morfológica foliar en *Quercus laeta* Liebm. En el Parque Nacional Los Mármoles, Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 15(2):87-93.