



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

CRECIMIENTO INICIAL DE MEZQUITE (*Prosopis  
laevigata* HUMB. & BONPL. EX WILLD) M.C.  
JOHNSTON CON CUATRO MEZCLAS DE SUSTRATOS  
EN CONDICIONES DE INVERNADERO

TESIS PROFESIONAL

QUE COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN MANEJO DE RECURSOS  
FORESTALES

PRESENTA:

ALDO DASAET FERNÁNDEZ PERALTA

TULANCINGO DE BRAVO, HIDALGO

JUNIO, 2014.

La presente tesis titulada “CRECIMIENTO INICIAL DE MEZQUITE (*Prosopis laevigata* HUMB. & BONPL. EX WILLD) M.C. JOHNSTON CON CUATRO MEZCLAS DE SUSTRATOS EN CONDICIONES DE INVERNADERO” fue realizada por el pasante **Aldo Dasaet Fernández Peralta**, bajo la dirección del Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna y el comité de tesis indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN MANEJO DE RECURSOS FORESTALES**

**COMITÉ DE TESIS**

**DIRECTOR:** \_\_\_\_\_  
**Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna**

**ASESOR:** \_\_\_\_\_  
**Dr. Joel Meza Rangel**

**ASESOR:** \_\_\_\_\_  
**Dr. Juana Juárez Muñoz**

**ASESOR:** \_\_\_\_\_  
**Dr. Juan Capulín Grande**

**ASESOR:** \_\_\_\_\_  
**Dr. Ramón Razo Zárate**

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios preponderantemente ya que sin él difícilmente las cosas en esta vida no tendrían razón de ser y a él se lo debo todo.*

*A la **Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo** por permitir mi formación académica y haber sido una casa de estudios donde sin duda alguna aprendí grandes lecciones que se verán reflejadas en la trayectoria de mi carrera y mi vida personal.*

*Al **Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna** por su invaluable apoyo en la realización de la tesis, por brindarme su tiempo, consejos y sugerencias durante las revisiones de la presente investigación y por estar en el banco de la paciencia debido a que soy el último pasante en presentar la tesis, tarde pero seguro, **MUCHAS GRACIAS** por ser pieza clave de esta tesis.*

*Al **Dr. Juan Capulín Grande** por su valioso apoyo en la realización de las pruebas a los sustratos y por demostrarnos su calidad humana y contagiar su alegría durante los semestres que nos impartió clase, siempre nos hizo reír y estoy seguro que todo el grupo lo recordará con cariño.*

*Al **Dr. Joel Meza Rangel** por su grandiosa colaboración en la presente investigación y por las explicaciones en materia estadística y aclaraciones de las dudas que iban surgiendo durante la elaboración de la misma.*

*A la **Dra. Juana Juárez Muñoz** por su gran ayuda en la revisión de la tesis y por ser un ejemplo de una persona que sabe lo que hace, por sus clases impartidas de gran calidad.*

*Al **Dr. Ramón Razo Zárate** por sus comentarios y apoyo fundamental en la tesis, gracias por compartir lo mucho de su experiencia en campo y por impartirnos las clases de calidad, además por el apoyo en la realización del servicio social en la empresa donde labora.*

*A mis padres **Dulce María Peralta Rosales, Modesto Fernández Pérez, Lucio Zósimo Morgado Ramírez** por ser un gran ejemplo de vida y apoyarme siempre en todo momento de mi carrera, por brindarme sus mejores consejos y compartir su tiempo en mi formación personal, por darme la mejor herencia, una carrera universitaria, los llevo siempre en mi corazón.*

***Sandy**, muchas gracias por brindarme siempre tu apoyo moral y ser esencial en mi vida, GRACIAS por insistirme en continuar la tesis a pesar de los obstáculos puestos en el trabajo, y más que agradecer, te admiro ya que todos los días, casi las 24 horas te la pasabas estudiando, es por ello que siempre me inspiraste, fuiste un gran ejemplo de superación, constancia y amor a tu carrera, así también por estar conmigo en buenos y malos momentos GRACIAS AMOR.*

*A **José Luis García Martínez**, mi carnalito quien siempre me apoyó en las mediciones y observaciones a la tesis, al cual le debo el ánimo que siempre me dio para continuar, gracias por acompañarme en los trabajos de campo y por el invaluable apoyo brindado para cumplir con los objetivos que me exigía el trabajo y sobre todo por hacer de la escuela un acontecimiento agradable ya que siempre hacíamos reír a todo el salón con nuestras bromas y ocurrencias en las inolvidables prácticas de campo hasta llegar al grado de morir y **NO** literalmente de risa, gracias por ser cómplice en las aventuras por los diferentes estados de la República que visitamos haciéndoles pasar un rato ameno a las personas del lugar, por escucharme cuando lo necesite y estar en momentos muy difíciles, GRACIAS.*

*A **Cristóbal Rosas Soto**, por compartir su gran humildad y contagiarme de su dedicación a la carrera y porque como dicen los profesores éramos los tres mosqueteros, los tres alegres compadres etc. Gracias por compartir tus conocimientos y las risas que pasábamos.*

*A Ana Guadalupe, Laura Berenice, Ana Laura, Jazmín, Maricela, Dulce Rosario (Chayito), Esbe, Angy, Kika, por aguantarnos a José Luis y a mí en las tantas ocurrencias y bromas sobre todo las que le hacíamos a Ana Guadalupe en San Blas, Nayarit.*

*A todos mis compañeros de la carrera por siempre aprender algo interesante y ver la vida desde otra perspectiva. Los Extraño.*

*Al Dr. Mateo, por su agradable forma de ver la vida y sus consejos, Juan Capulín, por sus chistes y excelente forma de enseñar, Joel, por su gran sabiduría, cultura y sabia forma de enseñar, Ramón Razo, por su amistad y sus canciones, Alfonso, por su gran conocimiento y disposición de enseñarnos, Juana Juárez, siempre admirándola ante sus trabajos de investigación de excelente calidad y Juana Fonseca por compartir su conocimiento en el aula.*

**¡A TODOS USTEDES MUCHAS GRACIAS!**

## DEDICATORIA

*Este trabajo se lo dedico a mis **padres, Dulce María Peralta Rosales, Lucio Zósimo Morgado Ramírez y Modesto Fernández Pérez** quienes me apoyaron incondicionalmente en mi carrera profesional y por formarme con principios y valores, por ser un gran ejemplo de superación ante los diversos problemas de la vida, a quien les debo todo lo que soy.*

*A **Sandra Atanacio Arista**, por ser un ejemplo de superación académica y de esfuerzo por aprender siempre algo de la escuela.*

*A Mi Abuelita **Marcela Rosales Hernández**, mi tía **Lourdes Peralta Rosales** y mi hermana **Miriam Sandra Morgado Peralta**.*

## ÍNDICE

Contenido	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IV
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT.....	VII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVO GENERAL .....	4
2.1 Objetivos particulares .....	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
3.1 Primeros usos del mezquite .....	5
3.2 Clasificación taxonómica .....	6
3.3 Descripción botánica del género <i>Prosopis</i> .....	6
3.4 Descripción botánica de <i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd) M.C. Johnston ...	7
3.5 Distribución natural .....	9
3.6 Usos e importancia ecológica.....	11
3.7 Germinación.....	16
3.8 Técnicas de producción de la planta.....	18
3.9 Calidad de planta .....	24
IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....	26
4.1 Colecta de germoplasma .....	26
4.2 Mezcla de sustratos utilizados.....	28
4.3 Medición de variables respuesta .....	29
4.4 Pruebas realizadas a los sustratos .....	31
4.5 Diseño experimental y análisis estadístico .....	34
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	36
5.1 Germinación.....	36
5.2 Altura.....	40
5.3 Diámetro.....	43
5.4 Número de nudos.....	45
5.5 Biomasa aérea y radicular .....	47

5.6 Pruebas realizadas a los sustratos .....	50
5.7 Análisis de Correlación.....	52
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>55</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Usos y beneficios del mezquite.	13
Cuadro 2. Porosidad total de distintos materiales utilizados como sustratos, comparado con el de una muestra de arena.	20
Cuadro 3. Clasificación internacional de las partículas del suelo.	21
Cuadro 4. Análisis de varianza para altura en diferentes fechas de medición en plantas de <i>P. laevigata</i> en cuatro mezclas de sustratos.	41
Cuadro 5. Análisis de varianza para diámetro en plantas de <i>P. laevigata</i> en cuatro mezclas de sustratos en invernadero.	44
Cuadro 6. Análisis de varianza para número de nudos por planta de <i>P. laevigata</i> en cuatro mezclas de sustratos.	46
Cuadro 7. Análisis de varianza para la producción de biomasa aérea y radicular en plantas de <i>P. laevigata</i> en cuatro mezclas de sustratos.	48
Cuadro 8. Características físicas de los sustratos empleados en la germinación y crecimiento inicial de <i>P. laevigata</i> en invernadero.	50
Cuadro 9. Correlación de germinación, altura, diámetro, formación de nudos, biomasa aérea y radicular de plantas de <i>P. laevigata</i> con características físicas de los sustratos usados.	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. <i>P. laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd) M.C. Johnston <b>a.</b> pinna; <b>b.</b> foliolo, <b>c.</b> fruto, <b>d.</b> semilla (Palacios, 2006).	8
Figura 2. Distribución geográfica del género <i>Prosopis</i> en la República Mexicana (Palacios, 2006).	10
Figura 3. Diagrama triangular con las clases básicas de tamaño de las partículas del suelo por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos 1951 (Hodgson, 1987).	22
Figura 4. Ubicación del sitio de colecta y lugar del experimento.	27
Figura 5. Medición de altura y diámetro en plantas de <i>P. laevigata</i> .	30
Figura 6. Procedimiento para la medición de la biomasa aérea y radicular en plantas de <i>P. laevigata</i> . a) extracción de la plántula del tubete y remojo en agua para quitar el sustrato, b) separación de componentes aéreo y radicular, c) acomodo de las muestras en horno de secado marca GRIEVE® y d) peso seco del componente aéreo.	31
Figura 7. Obtención de la densidad aparente de cada mezcla de sustratos utilizada. a) peso del envase de plástico; b) llenado del vaso con 100 mL de agua; c) llenado con la mezcla del sustrato hasta la marca del nivel de agua a 100 mL y d) peso del sustrato.	32
Figura 8. Determinación del espacio poroso total. a) añadiendo agua para conocer espacio poroso total; b) formación de espejo de agua en el sustrato; c) proceso de humedecimiento del sustrato y d) repeticiones en el humedecimiento del sustrato.	33

Figura 9.	Croquis de la distribución de los tratamientos.	34
Figura 10.	Germinación de <i>P. laevigata</i> en cuatro mezclas de sustrato en invernadero.	37
Figura 11.	Semillas germinadas por día de <i>P. laevigata</i> en cuatro mezclas de sustrato en invernadero.	38
Figura 12.	Germinación acumulativa en un periodo de 30 días después de la siembra de <i>P. laevigata</i> en cuatro mezclas de sustrato en invernadero.	39
Figura 13.	Altura promedio en plantas de <i>P. laevigata</i> en cuatro mezclas de sustrato en invernadero. Letras distintas indican diferencias significativas por grupos de barras en el número de días después de la siembra (Tukey, 0.05).	42
Figura 14.	Diámetro promedio en plantas de <i>P. laevigata</i> en cuatro mezclas de sustrato bajo invernadero. Letras distintas indican diferencias significativas por grupos de barras en el número de días después de la siembra (Tukey, 0.05).	45
Figura 15.	Formación de nudos por planta de <i>P. laevigata</i> producidos en cuatro mezclas de sustrato. Letras distintas indican diferencias significativas por grupos de barras en el número de días después de la siembra (Tukey, 0.05).	47
Figura 16.	Producción de biomasa aérea y radicular en plantas de <i>P. laevigata</i> a los 111 días después de la siembra en cuatro mezclas de sustratos. Letras distintas indican diferencias significativas por grupos de barras en el número de días después de la siembra (Tukey, 0.05).	48

## RESUMEN

*Prosopis laevigata* (Mezquite) es una especie de gran importancia ecológica dentro de los ecosistemas semiáridos de México, debido a que controla la erosión de los suelos, fija nitrógeno de la atmósfera, brinda refugio a la fauna silvestre, mejora la infiltración de agua, además de que es una especie muy utilizada principalmente para forraje y leña, motivo por el cual las poblaciones de mezquite han disminuido considerablemente. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue evaluar la germinación, crecimiento y materia seca en plantas de *P. laevigata* producidas en cuatro mezclas de sustratos bajo condiciones de invernadero. La siembra se realizó en julio de 2013 en aserrín puro, aserrín + peat moss, aserrín + mezcla comercial y mezcla comercial (peat moss, agrolita, vermiculita en relación 3:1:1), en envases de 160 cc. La mayor emergencia de las semillas se presentó entre los 4 y 6 días después de la siembra, a los 30 días se tuvo el 47.6 y 57.1% de germinación para aserrín puro y mezcla comercial respectivamente. El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) para las variables altura, diámetro, número de nudos formados, biomasa aérea y radicular en las mezclas de sustratos. Las plantas de mezquite obtuvieron mayor respuesta en altura (18 cm), diámetro (3.2 mm), número de nudos formados (13.7) y materia seca (1.12 g) por planta en el sustrato de mezcla comercial a la edad de 3.7 meses en invernadero. Por el contrario el sustrato de aserrín puro provocó en las plantas los menores valores para las mismas variables.

**Palabras clave:** Mezquite, *Prosopis laevigata*, aserrín, sustratos, invernadero.

## ABSTRACT

*Prosopis laevigata* (Mesquite) is a specie of great ecological importance in semi-arid ecosystems of Mexico, because it controls soil erosion, fix nitrogen from the atmosphere, provides refuge for wildlife, improve water infiltration, also it is a very used mainly for fodder and fuelwood, why mesquite populations have declined considerably. For the above, the objective of the study was to evaluate the germination, growth and biomass production in plants of *P. laevigata* produced in four mixes of substrate under greenhouse conditions. Sowing was done in July 2013 in pure sawdust, sawdust + peat moss, sawdust + commercial mixture and commercial mix (peat moss, perlite, vermiculite in 3:1:1 ratio) in 160 cc containers. Most seed emergence was between 4 and 6 days after sowing, at 30 days was 47.6 and 57.1% germination for pure sawdust and commercial mixture respectively. The analysis of variance showed statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) for the variables height, diameter, number of nodes formed aerial and root biomass in mixtures of substrates. Mesquite plants obtained higher response in height (18 cm), diameter (3.2 mm), number of nodes formed (13.7) and dry matter (1.12 g) per plant in commercial mixture substrate at age 3.7 months in greenhouse. Conversely sawdust pure substrate in plants caused the lowest values for the same variables.

**Keywords:** Mesquite, *Prosopis laevigata*, sawdust, substrate, greenhouse.

## I. INTRODUCCIÓN

El mezquite es un recurso natural que crece principalmente en zonas semiáridas, sin embargo la superficie de su distribución ha disminuido en varios estados de México a causa del cambio de uso de suelo, sobrepastoreo, y por sobreexplotación, principalmente para obtención de leña y carbón. Las áreas de mezquiales presentan una tasa de disminución de superficie de 5 054 ha año<sup>-1</sup> en el estado de Coahuila, 500 ha año<sup>-1</sup> para el estado de Durango, 70 ha año<sup>-1</sup> para el estado de Zacatecas y 340 ha año<sup>-1</sup> en el estado de Chihuahua (Ríos *et al.*, 2011).

Esta especie tiene gran importancia ecológica dentro del ecosistema de zonas semiáridas debido a que controla la erosión, fija nitrógeno de la atmósfera para mejoramiento de la fertilidad del suelo, brinda alimento y refugio a fauna silvestre, mejora la capacidad de almacenamiento de agua y la tasa de infiltración, además posee una alta tasa fotosintética (Carrillo *et al.*, 2007). También tiene alta capacidad de adaptación a condiciones extremas de sequía, salinidad y altas temperaturas (Bolzón *et al.*, 2010).

Actualmente sus principales usos son como forraje para ganado doméstico y fauna silvestre, las flores como fuente de polen y néctar para la producción de miel en explotaciones apícolas, los frutos son consumidos en fresco o cocidos por algunos pobladores de los estados de Michoacán, Jalisco y Guanajuato, la goma que excreta la planta es usada como fuente de compuestos con efectos positivos en la salud y como sustituto de la goma arábiga (uso industrial). La madera del mezquite es resistente y

durable, utilizada para la fabricación de muebles, puertas y como leña y carbón (Meza y Osuna, 2003).

El establecimiento de plantaciones de mezquite puede frenar las tasas de disminución del área de distribución de las especies de *Prosopis* en México (Ruiz, 2011). Es evidente que para poder garantizar el éxito de una plantación, es necesario contar con planta de calidad producida en vivero, utilizando sustratos que le permitan a la planta desarrollarse y alcanzar una altura que sea ideal para plantarse en campo.

Para la producción tradicional de plantas forestales se emplea como sustrato, tierra de monte, tierra agrícola y arena de río, mientras que en el sistema tecnificado se emplean mezclas de turba, perlita y vermiculita lo que representa mayor costo de producción forestal (Mateo, 2002). Sin embargo, existen numerosos materiales orgánicos e inorgánicos que pueden funcionar adecuadamente como sustratos al proporcionar retención de humedad, porosidad, fijación del sistema radicular entre otros y que pueden sustituir a los materiales usados comúnmente, estos residuos pueden ser utilizados directamente o llevar a cabo un proceso estabilizador para el buen desarrollo del sistema radicular (Burés, 1997).

Investigaciones recientes han mostrado que los sustratos son capaces de mezclarse con subproductos de escaso valor, satisfaciendo así la demanda actual y a su vez revalorizándolos. Dentro de estos subproductos se encuentra el aserrín crudo, desperdicio del proceso de aserrío de la madera, el cual representa una alternativa para la producción de planta en el sistema tradicional (Burés, 1997).

Todos los tipos de aserrín mejoran las condiciones físicas del sustrato. El tamaño de partícula del aserrín permite que sea fácil su mezcla con otros componentes. Es comparable con la turba en su efecto favorable sobre la densidad, porosidad y aireación. Después de la descomposición ocurre un aumento en la agregación e intercambio de cationes en sustratos enmendados con él. Más aun el aserrín con alto contenido de lignina es una forma durable de materia orgánica (OIRSA, 2002). Por lo que su uso se está haciendo cada vez más común entre los viveristas, debido a sus ventajas de bajo costo de adquisición, fácil obtención, propiedades físico-químicas que reflejan un buen desarrollo de la planta y sobretodo una disminución en la importación de materiales procedentes de Canadá y Europa.

## II. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la germinación, crecimiento y materia seca en plantas de *Prosopis laevigata* producidas en cuatro mezclas de sustratos bajo condiciones de invernadero.

### 2.1 Objetivos particulares

1. Evaluar la respuesta en la velocidad y porcentaje de germinación de semillas de *P. laevigata*.
2. Determinar el crecimiento en altura y diámetro de plantas de *P. laevigata*.
3. Determinar la biomasa aérea y radicular en plantas de *P. laevigata* producidas en cuatro mezclas de sustratos.

### Hipótesis

Ha: El tipo de sustrato afecta el crecimiento inicial de las plantas de *P. laevigata* bajo invernadero.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Primeros usos del mezquite

Desde épocas remotas, el mezquite ha constituido un recurso valioso para los habitantes de zonas áridas, quienes encontraron en él múltiples beneficios, ya que todas las partes de la planta son susceptibles de ser utilizadas. Ha sido considerado como un denominador cultural común para los pueblos nómadas de cazadores-recolectores que habitaron el norte de México y el sur de Estados Unidos (CONAZA, 1994).

Evidencias arqueo-botánicas y documentos históricos, establecen que varias especies de *Prosopis* constituyeron una importante fuente de alimento, combustible, armas, herramientas, tintes y pinturas, medicinas, cosméticos, canastas, muebles, pegamento y muchos otros artículos de uso diario para los pobladores de las zonas áridas del continente americano antes de la llegada del hombre europeo (Flores, 1992).

Los primeros registros arqueológicos del uso del mezquite en México como alimento humano, datan desde los tiempos de los indios cazadores Chichimecas y de los recolectores de comida que vagaban por las montañas de San Luis Potosí, cosechando las vainas de los mezquites que se comían como fruta fresca o se conservaban en una solución hecha de su propio jugo dulce (Ruiz, 2011).

Todos estos usos han continuado a lo largo del siglo XX, lo cual ha hecho del mezquite un recurso de gran importancia para los habitantes de las zonas áridas y semiáridas del país (Cervantes, 2003).

### 3.2 Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

Phylum: Spermatophyta

Clase: Dicotyledoneae

Familia: Fabaceae

Género: *Prosopis*

Especie: *laevigata*

### 3.3 Descripción botánica del género *Prosopis*

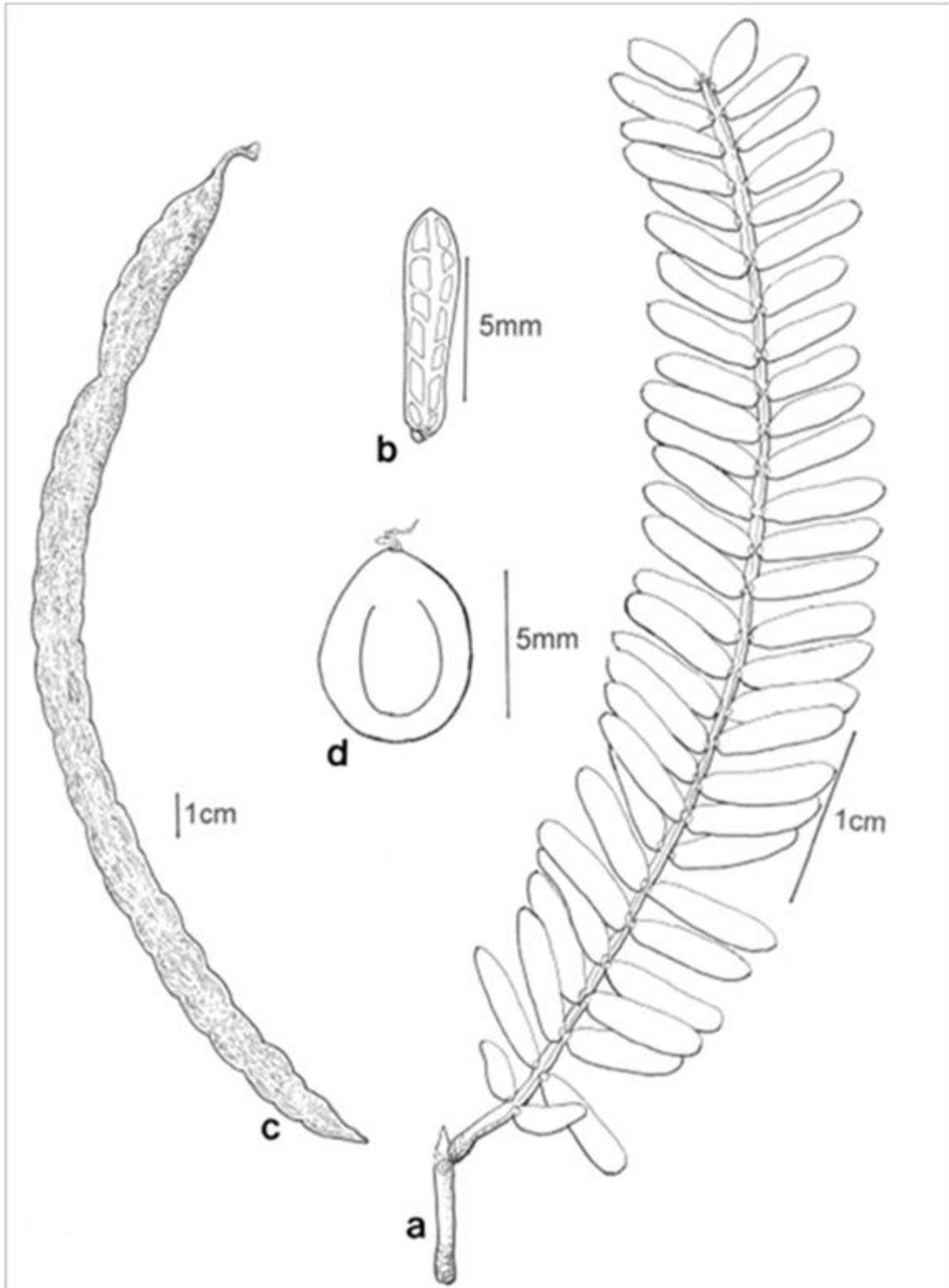
Árbol o arbusto, con púas o espinas; estípulas pequeñas, espinosas o ausentes, hojas bipinnadas, las glándulas del peciolo y del raquis pequeñas o ausentes, folíolos pequeños, en número variable; flores reunidas en espigas o racimos axilares, rara vez forman cabezuelas; flores pequeñas, pentámeras, de color amarillento; cáliz acampanado y brevemente dentado; pétalos unidos muy cerca de la base, valvados; estambres 10, libres, brevemente salientes, anteras con una glándula pequeña y decidua en el ápice; ovario sésil o estipitado, multiovulado, estilo filiforme, estigma pequeño y terminal; legumbre linear, recta o falcada, a veces enroscada, comprimida o túrgida, indehiscente, el exocarpio delgado o coriáceo, el mesocarpio esponjoso o endurecido y el endocarpio cartilaginoso o papiráceo; semillas ovadas o comprimidas (Rzedowski, 2005).

### 3.4 Descripción botánica de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd) M.C.

#### Johnston

Árbol o arbusto, a veces hasta de 12 m de altura, aunque generalmente menor; tronco hasta de 1 m de diámetro, por lo general de 30 a 60 cm, corteza gruesa, de color café-negrusco, algo fisurada; copa más ancha que alta; ramas glabras o pilosas, armadas de espinas estipulares de 1 a 4 cm de largo; hojas pecioladas, con 1 a 3 pares de pinnas, cada una con 10 a 20 pares de folíolos sésiles, oblongos o linear-oblongos, de 5 a 15 mm de largo por 1 a 2 mm de ancho, ápice obtuso, margen entero, base obtusa, glabros o ligeramente pubescentes como se muestra en la figura 1 (Rzedowski, 2005).

Las flores dispuestas en espigas densas de 5 a 10 cm de largo; blanco amarillentas, sésiles, cáliz de 1 mm de largo, glabro; corola de 2.5 a 3 mm de largo, pétalos agudos, tomentulosos en el margen y en el interior, estambres de 4 a 5 mm de largo, legumbre linear algo falcada, de 7 a 20 cm de largo por 8 a 15 mm de ancho, comprimida, glabra, de color café-amarillento, a veces rojizo, algo constreñida entre las semillas; éstas oblongas, comprimidas, de 8 a 10 mm de largo, de color blanco-amarillento (Rzedowski, 2005).



**Figura 1.** *P. laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd) M.C. Johnston **a.** pinna; **b.** foliolo, **c.** fruto, **d.** semilla (Palacios, 2006).

### 3.5 Distribución natural

El mezquite (*Prosopis spp.*) es nativo de zonas áridas y semiáridas del mundo, adaptable a condiciones de extrema aridez. México posee una extensión de 56 y 23 millones de km<sup>2</sup> de zonas áridas y semiáridas, respectivamente, que representan aproximadamente el 40% de la superficie total del territorio mexicano (López *et al.*, 2006).

Este recurso es abundante en Estados Unidos, México, Perú, Chile, Argentina, Brasil, Australia, Haití, Paquistán y en las partes áridas de la India. Existen 44 especies de *Prosopis*, de las cuales 42 se encuentran en el continente americano. En México predominan especies como: *Prosopis palmeri* en Baja California; *Prosopis reptans* var. *cinerscens* al norte del Estado de Tamaulipas; *Prosopis pubescens* al norte de Chihuahua y Baja California; *Prosopis articulata* en la región del Mar de Cortés, Sonora y Baja California Sur; *Prosopis tamaulipana* se encuentra en Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz (INE, 1994).

Palacios (2006) reporta *Prosopis articulata* para los Estados de Sonora y Baja California Norte y Sur; *Prosopis velutina* para Sonora, *Prosopis mezcalana* en el Estado de Michoacán y Guerrero; *Prosopis tamaulipana*, en Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz; *Prosopis laevigata* con amplia distribución en Nuevo León, Durango, Tamaulipas, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Michoacán, Estado de México, Morelos, Puebla, Guerrero, Oaxaca y Chiapas; *Prosopis glandulosa* en Coahuila, Nuevo León, y

Tamaulipas; *Prosopis mayana* en Yucatán; *Prosopis odorata* se encuentra en Baja California Norte, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Zacatecas (Figura 2).



**Figura 2.** Distribución geográfica del género *Prosopis* en la República Mexicana (Palacios, 2006).

En Hidalgo, *Prosopis laevigata* se distribuye en el centro y norte del Valle del Mezquital, en gran parte del Valle de Ixmiquilpan, parte sureste del Valle de Actopan y parte noroeste y suroeste del Valle de Mixquiahuala; al sur se encuentra delimitado por las comunidades de Santa María Amajac, San Juan Tepa, Tetepango, San Juan Tepenene y El Arenal (Gómez *et al.*, 1970). También se reporta la presencia de *P. laevigata* en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, formando parte del estrato arbóreo y arbustivo dentro del Bosque Tropical Caducifolio, Matorral Crasicaule de *Stenocereus dumortieri*, Matorral Crasicaule de *Opuntia imbricata* y Matorral Submontano (CONANP, 2003).

### 3.6 Usos e importancia ecológica

El mezquite fue un recurso de primordial importancia para los primeros habitantes de las zonas áridas y semiáridas, debido a los usos distintos que le daban. Estos pueblos dedicados a la caza-recolección conocieron la utilidad del mezquite como alimento, combustible, sombra, planta medicinal y para la elaboración de utensilios (Cervantes, 2003).

Estrada (1993) señala que el mezquite posee diversos usos industriales, alimenticios y medicinales, debido a que la mayoría de sus estructuras y algunos componentes químicos (goma, vainas, tronco, ramas, hojas y flores) son susceptibles de aprovechamiento.

Se emplea en la elaboración de muebles artesanales, destacando los trabajos de marquetería elaborados en los Estados de Zacatecas, Morelos, Guerrero, Guanajuato y Puebla. Su dureza lo hace ideal para esta actividad y le permite ser empleada en la elaboración de otros productos resistentes, como durmientes, parket, duela, hormas para zapato, mangos de herramientas y utensilios de cocina, además en la construcción de viviendas de las zonas áridas (Gómez *et al.*, 1970).

Entre las características físicas de la madera del mezquite se destaca su albura de color amarillo claro que forma un anillo de media pulgada alrededor del duramen, que es de color café rojizo. La madera es dura, durable, de grano cerrado, que toma un brillo hermoso al pulirla (Ruiz, 2011).

Considerado como el recurso leñoso por excelencia en las comunidades rurales de las zonas áridas y semiáridas, donde se utilizan las ramas como combustible casi

único para la preparación de alimentos, calentamiento de agua y hornos o para la calefacción de hogares, así como la producción de carbón que representa un ingreso complementario. Sin embargo, la población ha sobreexplotado el recurso sin tomar en consideración la conservación del mismo ocasionando serios problemas de deforestación y por tanto erosión de los suelos (Cervantes, 2003).

El principal producto no maderable del mezquite es el fruto (vaina), empleada como alimento para diversos tipos de ganado. En forma de harina tiene gran demanda para la ganadería estabulada o semi estabulada con razas lecheras o de engorda, como *Hereford*, *Angus*, *Aberdeen* y criollos, también es suministrado al ganado porcino y caprino, y con menor intensidad al equino como puede observarse en el Cuadro 1 (Cervantes, 2003).

Ruiz (2011) en su trabajo sobre el uso potencial de la vaina de mezquite para alimentación de animales domésticos del Altiplano Potosino concluye que la vaina representa una opción de alimento al ganado; destacando por su alto contenido de carbohidratos y proteínas. Así mismo, las vainas de mezquite se han propuesto como una fuente de alimentación para consumo humano, ya que contienen grandes cantidades de azúcar y el contenido proteínico de las semillas es similar al del frijol soya. La harina hecha de las semillas y vainas del mezquite mezclada en pequeñas cantidades con harina de trigo ha sido probada en varias recetas que incluyen panes y galletas y han tenido resultados favorables. Investigaciones recientes sugieren que el mezquite podría ser manejado como un producto de cosecha agrícola múltiple, por producir vainas nutritivas y de biomasa para combustible.

**Cuadro 1.** Usos y beneficios del mezquite.

Parte apreciable	Alimentacion humana	Medicina	Forrajero	Industrial y artesanal
Corteza		Anti disentérico y gastritis. Infusion de trozos de corteza con ramas más jóvenes		Curtiduría
Flor	Miel (generada por las abejas)			
Vaina	Fruta fresca, fruta en almibar, pinole de mezquite, queso de mezquite (alimento básico de los chichimecas), piloncillo, atole y vino		Consumo de vainas y harinas	
Goma	Goma y golosina de niños	Laringitis (goma disuelta, para la infusión)		Tintes para teñir lana
Hojas		Antiséptico, lavado de ojos con infusion a partir de hojas, anti disentérico y gastritis Emoliente	Ramoneo de follaje verde o seco. Para ganado bovino, caprino, ovino, equino y porcino	Fertilizante orgánico
Ramas y tronco		Desinflamatorio. Pomada de ceniza de leña con manteca		Aperos de labranza, arados, mangos de herramientas, ruedas, construcción de viviendas, muebles, leña y carbón, postes para cercas, artesanías, refugio de vida silvestre.

Fuente: Cervantes (2003).

Al estar expuesto al ataque de insectos, heridas mecánicas y en condiciones diversas de estrés fisiológico como calor y agua, el árbol de mezquite segrega un exudado o goma de color rojo ámbar y a veces oscura, a nivel del cambium vascular, que previene la desecación del tejido y evita el ingreso de agentes patógenos (Greenwood y Morey, 1979).

Dicha goma ha sido utilizada en la medicina tradicional en poblaciones indígenas. La goma de mezquite de Sonora se ha colectado y comercializado en pequeña escala como golosina, laca para el pelo, pegamento y otros usos domésticos. Actualmente la cantidad de goma que se colecta para su comercialización en esta región mexicana no excede 2 toneladas por año. En San Luis Potosí, la goma de *P. laevigata* se ha comercializado para su uso en la industria de refrescos (López *et al.*, 2006).

La infusión de algunas partes de la planta es utilizada para combatir la disentería, el cocimiento de las hojas se emplea para combatir algunas afecciones de los ojos, el cocimiento de la corteza para el vomitivo purgante, los extractos en alcohol de las hojas frescas y maduras han mostrado acción antibacterial contra *Staphilococcus aureus* y *Escherichia coli* (Ruiz, 2011).

*P. laevigata* es una especie con un gran valor ecológico dentro de las regiones donde abunda (Pennington y Sarukhán, 2005), debido a que es un excelente controlador de la erosión gracias a su capacidad de desarrollarse en lugares donde los suelos son pobres, con escasos horizontes y son fácilmente deslavados por las lluvias torrenciales (Gómez *et al.*, 1970).

Además, como otras leguminosas, tiene la cualidad de fijar el nitrógeno atmosférico al suelo, a través de las bacterias nitrificantes asociadas a sus raíces mejorando así la fertilidad del mismo. Por ello, esta especie puede ser considerada en programas de reforestación de regiones semiáridas. También se considera que *P. laevigata* tiene cierta importancia como indicador, pues se piensa que de esta especie está asociada a la presencia de mantos freáticos, indicando los sitios de perforación de pozos comunales (Gómez *et al.*, 1970; Felker, 1981; Pennington y Sarukhán, 2005).

Dentro del entorno, las comunidades de *P. laevigata* son importantes en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas ya que son el hábitat de una cantidad considerable de fauna silvestre, además de mejorar la estética del paisaje (CONAZA, 1994). Es un recurso que puede ser utilizado para la recuperación de tierras agrícolas con problemas de salinidad en suelo y agua, además se considera útil para estabilizar y mejorar el suelo al incrementar el contenido de materia orgánica, mejora la capacidad de almacenamiento de agua y la tasa de infiltración y presenta una alta eficiencia fotosintética, esto por su buen aprovechamiento de agua y de nitrógeno (Ruiz, 2011).

Por ser una leguminosa está asociada con bacterias fijadoras de nitrógeno y su productividad se ve aumentada significativamente, (Golubov *et al.*, 2001). Las bacterias del género *Rhizobium* se asocian al mezquite y otras leguminosas formando nódulos que fijan el nitrógeno atmosférico y se estima que una hectárea de mezquite adiciona al suelo el equivalente a 300 kg de nitrógeno en forma de amonio en un año (Osuna y Meza, 2003).

### 3.7 Germinación

Según Jann y Amen (1977), la germinación es el proceso mediante el cual el embrión de la semilla adquiere el metabolismo necesario para reiniciar el crecimiento y transcribir las porciones del programa genético que lo convertirán en una planta adulta y de acuerdo con Hartmann y Kester (1971), para que la germinación se realice, se necesita que: a) la semilla sea viable, es decir, que tenga un embrión vivo capaz de crecer; b) tengan la temperatura, aireación y humedad adecuada para el proceso y c) se eliminen los bloqueos fisiológicos presentes en las semillas, que impiden la germinación.

Los factores que intervienen en el proceso de la germinación de las semillas son complejos, aunque aparentemente es muy simple. La germinación no ocurre, hasta que se conjuntan todas las condiciones adecuadas para ello. Cuatro son los factores fundamentales que intervienen en germinación: agua, temperatura, oxígeno, y luz (Bidwell, 1979).

El agua es el punto de partida del reinicio de la vida en el embrión, ya que es necesaria para debilitar la cubierta seminal, e hidrolizar los compuestos de reserva vitales para el inicio normal de las actividades metabólicas, temporalmente suspendidas; por eso, la semilla debe estar en contacto con el agua para poder germinar (Pimentel, 2009).

El agua penetra las cubiertas de la semilla por capilaridad. Si bien el agua es requerida para que ocurra la germinación, un exceso de la misma puede ser contraproducente a este proceso, al reducir la disponibilidad de oxígeno para el

embrión. Las semillas presentan diferentes grados de sensibilidad al agua, que varía entre especies, e incluso, dentro de una misma especie. Por lo tanto, la humedad del sustrato puede afectar el proceso de germinación (Herrera *et al.*, 2006).

Hartmann y Kester (1988), afirman que el contenido de agua es un factor muy importante en el control de la germinación de la semilla. Con un contenido menor al 40% (sobre la base del peso fresco), no se efectúa. La absorción del agua por las semillas secas, tiene tres etapas:

- a) Una absorción inicial rápida, que en su mayor parte es imbibición,
- b) Un lento periodo de absorción, y
- c) Nuevamente una absorción rápida, que se incrementa a medida que emerge la radícula y se desarrolla la plántula. La imbibición de la semilla se inicia por el micrópilo, y después, se continúa por las testas.

Cony y Trione (1996) en un ensayo con *Prosopis flexuosa* y *Prosopis chilensis* a una temperatura de 25 °C se llevó a cabo la germinaron con potenciales de agua de -2.0 Mpa.

La temperatura al igual que la disponibilidad de agua es un factor que afecta el proceso de germinación, de este modo cada especie tiene un rango de temperatura óptima para que la germinación se lleve a cabo. Cony y Trione (1996) en un estudio con semillas de *P. flexuosa* y *P. chilensis* determinaron como temperaturas óptimas de germinación entre 20 y 25 °C y 25 a 40 °C respectivamente, de igual forma Sosebee y Wan (1987) encontraron para *Prosopis glandulosa* y *Prosopis vetulina* como temperatura óptima 30 °C.

### 3.8 Técnicas de producción de la planta

La producción de plantas en contenedor se realiza en sustrato artificial, bajo condiciones ambientales controladas, como en un invernadero, donde los factores limitativos pueden ser manipulados. Debido a que el volumen del sustrato es relativamente pequeño, las raíces se aglutinan en el mismo, conformando un cepellón uniforme al momento de ser cultivada (Landis *et al.*, 2004). Una de las razones por las cuales el sistema de producción de planta en envase es más utilizado se debe a las pocas restricciones técnicas que existen para lograrlo adecuadamente en la mayoría de las especies forestales (Prieto y Sánchez, 1991).

El término “sustrato”, que se aplica en la producción de planta en vivero, se refiere a todo material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que colocado en contenedor, de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular; el sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta allí ubicada (Pastor, 2000). El propósito del sustrato, es propiciar un buen crecimiento, dentro del espacio limitado de un recipiente y preparar las plantas para un trasplante exitoso (OIRSA, 2002). Las características básicas a considerar para elegir el sustrato óptimo son: alta disponibilidad en la región, debe ser barato, homogéneo en sus características físicas y químicas, libre de agentes patógenos y con alta capacidad de intercambio catiónico (Landis *et al.*, 1990).

Existen cuatro funciones con las que debe cumplir un sustrato para mantener un buen crecimiento de las plantas:

1. Proporcionar un anclaje y soporte para la planta.
2. Retención de humedad para que esté disponible para la planta.
3. Permitir entre raíces y la atmósfera un intercambio gaseoso.
4. Cumplir con la función de depósito de los nutrientes para la planta.

Las características físicas de los sustratos como la porosidad que es la cuantificación del espacio ocupado por poros de aire en un sustrato, y también se denomina espacio vacío o poroso. Normalmente se expresa como porcentaje respecto al volumen aparente del sustrato como se aprecia en el cuadro 2. El volumen aparente es el que ocupa un sustrato incluyendo la materia sólida y los poros internos o externos. La densidad aparente es la relación entre la masa o peso de las partículas y el volumen aparente que ocupan (Burés, 1997).

La porosidad total es el espacio libre de partículas sólidas, esta expresado en porcentaje en relación a un volumen definido. Una parte de este volumen corresponde a los poros que dan aireación a las raíces y son de tamaño mayor a 30  $\mu\text{m}$  conocidos como macro poros. Los micro poros, de tamaño menor a 30  $\mu\text{m}$  ofrecen una fuerte retención de agua, debido a que queda en forma de película alrededor de las partículas del sustrato.

**Cuadro 2.** Porosidad total de distintos materiales utilizados como sustratos, comparado con el de una muestra de arena.

Sustratos	Porosidad total (Vol %)
Turba	94.44%
Tierra de bosque	83.85%
Corteza de pino	79.89%
Orujo de uva	87.65%
Grava volcánica	70.94%
Perlita	95.47%
Vermiculita	95.09%
Arena	38.20%

**Fuente:** Burés (1997).

La granulometría es la distribución de partículas minerales de varios tamaños en la fracción fina de un suelo y es sin duda la más importante de sus propiedades permanentes y una de las que afectan o incluso determinan a muchas otras. El termino textura se emplea generalmente para clases descriptivas de partículas relativas a los distintos tamaños dentro de la fracción fina. Los distintos esquemas de clasificación de las partículas por su tamaño sitúan a la fracción fina del suelo en uno de los numerosos grupos (clases texturales). Tales grupos reciben el nombre de limo, arena y arcilla como se ilustra en el cuadro 3 (Hodgson, 1987).

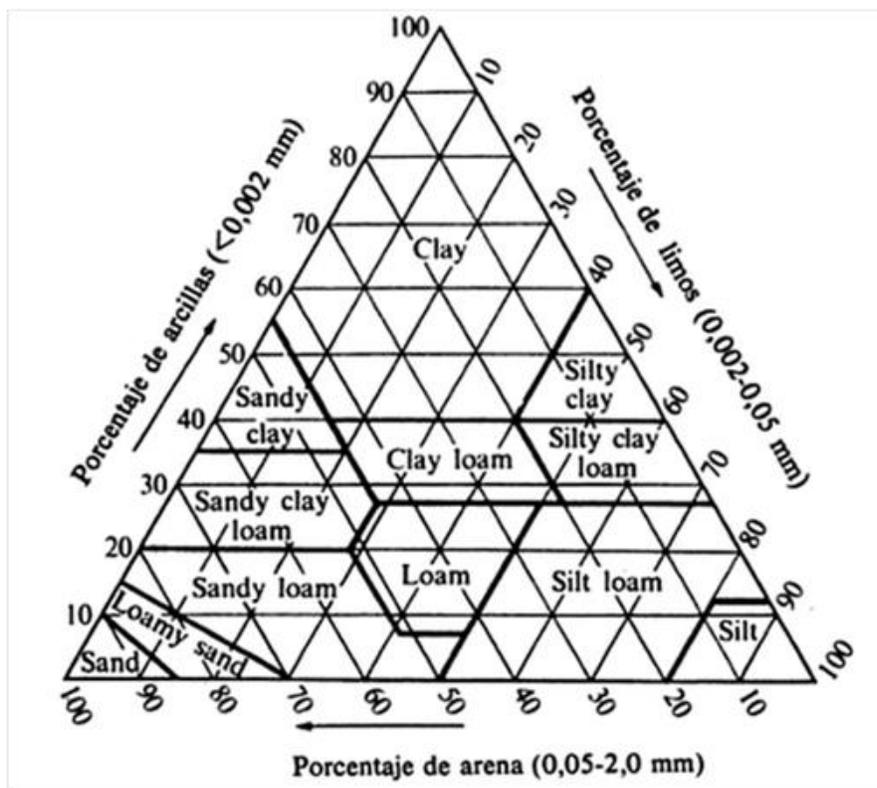
**Cuadro 3.** Clasificación internacional de las partículas del suelo.

Partícula	Diámetro (mm)
Arena gruesa	2.0
Arena fina	0.2
Limo	0.02
Arcilla	0.002

**Fuente:** Hodgson (1987).

Los medios de crecimiento constituidos de partículas finas tienen mayor porcentaje de espacio poroso de 40 a 60%, presentan menor densidad aparente y menor peso como se muestra en la figura 3. Los suelos arenosos, tienen mayor cantidad de macro poros, con baja porosidad total entre 35 y 50%, baja retención de humedad, mayor peso y densidad aparente (Prichett, 1991).

Existen diferentes tipos de sustratos, como las turbas que están formadas por restos de musgos y otras plantas superiores que se hallan en proceso de carbonización lenta, fuera del contacto con el oxígeno, a causa de un exceso de agua, por lo que conservan largo tiempo su estructura anatómica (Sánchez *et al.*, 2008). Los residuos vegetales pueden depositarse en diferentes ecosistemas lo que daría lugar a la formación de dos tipos de turba: *Sphagnum* u oligotróficas y herbáceas o eutróficas. Las turbas *Sphagnum* son los componentes orgánicos más utilizados en la actualidad para medios de cultivos que crecen en macetas, debido a sus excelentes propiedades físico-químicas.



**Figura 3.** Diagrama triangular con las clases básicas de tamaño de las partículas del suelo por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos 1951 (Hodgson, 1987).

La perlita natural es una roca volcánica vítrea formada por enfriamiento rápido, constituyendo un material amorfo que contiene entre un 2 y un 5% de agua atrapada. La perlita expandida tiene estructura cerrada; en consecuencia, el porcentaje de poros no percolantes al exterior es elevado. Su superficie permite la retención de agua. Sus características de retención de agua y aireación dependen de la granulometría, tomando sus valores entre 0 y 70% y el contenido de agua fácilmente disponible hasta del 45% (Burés, 1997).

La vermiculita exfoliada tiene una gran capacidad de retener el agua dentro de los espacios interlaminares y también entre las partículas individuales. Su pH es

neutro, su CIC es muy elevada de 90 a 150 C moles kg<sup>-1</sup> suelo, similar a la de materiales orgánicos como la turba (Burés, 1997). El peat moss (musgo Sphagnum) es el componente orgánico con un pH de 3.5 a 4, con 180 C moles kg<sup>-1</sup> suelo de CIC. La mezcla de los tres sustratos anteriores presenta baja fertilidad inicial, el peat moss cuenta con 1 a 2.5% de nitrógeno pero de forma orgánica, no estando inmediatamente disponible, la vermiculita cuenta con bajas cantidades de K, Ca y Mg, la baja fertilidad de la mezcla representa una ventaja en las primeras etapas de crecimiento de la plántula considerando que requieren pocas cantidades de nutrimentos (Landis *et al.*, 1990).

Por otro lado, el aserrín es el residuo del proceso de industrialización de madera más común en la región y de amplia distribución. Tiene características que lo hacen deseable en la preparación de sustratos, la especie del cual deriva influye en la durabilidad y el contenido de nitrógeno complementario para el crecimiento normal de la planta en vivero, el efecto del aserrín en la acidez es ligero y ocasionalmente el pH del sustrato es elevado seguido de la descomposición, el pH del aserrín varía entre 4.8 y 6.8 (OIRSA, 2002).

El aserrín mejora las condiciones físicas del sustrato, tiene efecto favorable sobre su densidad, porosidad y aireación. Después de la descomposición ocurre un aumento en la agregación e intercambio de cationes en sustratos mezclados con él. Sin embargo, el aserrín contiene niveles bajos de nitrógeno, que pueden solucionarse con la adición de nitrógeno de 1 a 2%, además presenta alto contenido de lignina, lo cual es una fuente relativamente durable de materia orgánica (Burés, 1997).

Sin embargo como desventaja, la especie árbol, del cual deriva, influencia la durabilidad del aserrín y la cantidad de nitrógeno complementario requerido para mantener un crecimiento normal de las plantas. Algunas especies contienen toxinas que pueden tener efectos negativos sobre las plantas cultivadas. Aunado a esto la cantidad de nitrógeno que debe ser agregado para compensar la merma de nitrógeno por el aserrín puede elevar las sales solubles a concentraciones fitotóxicas. Aunque el problema de deficiencia de nitrógeno también puede ser resuelto con un compostaje antes de incorporarlo a un sustrato (OIRSA, 2002).

El aserrín presenta problemas de humedad excesiva por lo que es recomendable mezclarse con materiales de textura más gruesa que aporten aireación tanto en el compostaje como en el cultivo (Burés, 1997).

### **3.9 Calidad de planta**

Dentro de las características con que deben salir las plantas del vivero, no sólo se debe tomar en cuenta el tamaño de las mismas, sino también otros elementos que en su conjunto conforman la calidad de planta (Pimentel, 2009). El concepto de calidad de planta ha tenido en la actualidad gran interés, ya que se trata de predecir el éxito de una plantación con base en el establecimiento de índices de calidad de las mismas, los cuales involucran aspectos genéticos, morfológicos y fisiológicos; sin embargo, este concepto es relativo ya que se pueden presentar variaciones de acuerdo con la especie propagada, sitio donde se va a plantar y los objetivos de la producción de estas (Mohedano, 1999).

Existen criterios para definir la calidad, los cuales se pueden basar en aspectos morfológicos: altura, diámetro al cuello de la planta, cociente altura/diámetro, arquitectura de la parte aérea y de la parte raíz, así con aspectos fisiológicos como relación agua-planta, nutrición, potencial de regeneración radicular, fotosíntesis, transpiración y cantidad de carbohidratos en cuello de la planta y raíz (Alarcón *et al.*, 2001).

El Índice de Esbeltez (IE) es el cociente o razón entre la altura (cm) y el diámetro a la altura del cuello (mm) (ALT/DAC). Este índice relaciona la resistencia de la planta con la capacidad fotosintética de la misma (Toral, 1997). Valores entre 5 y 10 indican una buena calidad, valores sobre 10, indican que esta está muy alta, respecto al DAC, por su parte valores menores a 5, indican una planta de poca altura respecto al DAC.

El Índice Tallo/Raíz (ITR), se define como la razón entre el peso seco de la parte aérea (tallos y hojas) y el peso de la raíz. Determina el balance entre la superficie transpirante y la superficie absorbente de la planta. En general, el peso de la parte aérea no debe doblar al de la raíz (Montoya y Cámara, 1996).

El Índice de Calidad de Dickson (ICD) integra la relación entre la masa seca total de la planta (g) y la suma del índice de esbeltez (IE) y la relación parte seca aérea/parte seca radicular o índice de tallo-raíz (ITR). Este índice expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, evitando seleccionar plantas desproporcionadas y descartar plantas de menor altura pero con mayor vigor (Dickson *et al.*, 1960).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Colecta de germoplasma

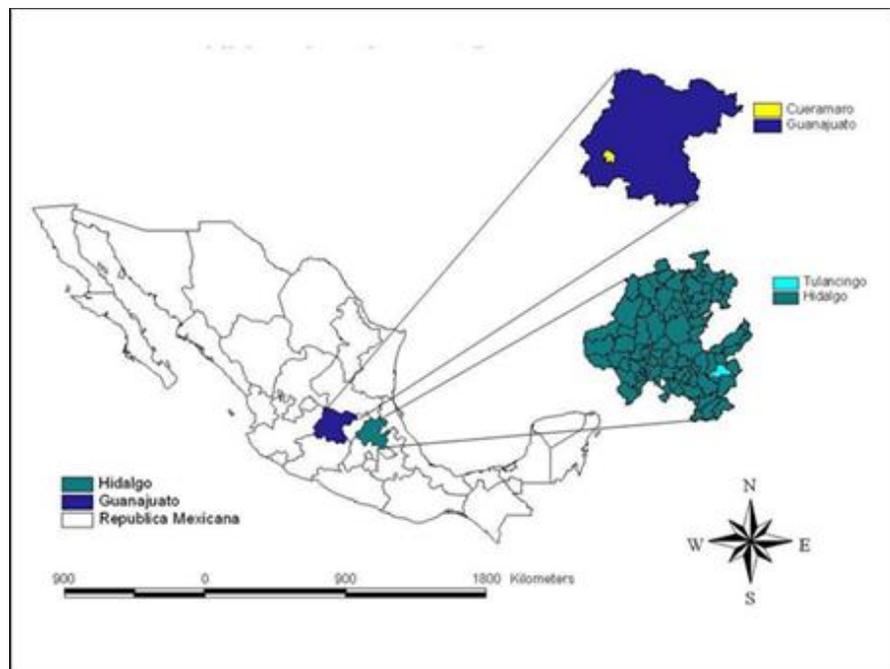
Las semillas de *Prosopis laevigata* fue colectada en Cuerámara, Guanajuato. El municipio se ubica entre los paralelos 20° 31' y 20° 43' de Latitud Norte y en los meridianos 101° 34' y 101° 47' de Longitud Oeste; a una altitud promedio de 1,720 msnm (UNIATMOS, 2014). La temperatura oscila entre 16-20 °C, la precipitación entre los 700 y 900 mm, con un clima predominante semicálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad, templado subhúmedo con lluvias en verano de media humedad y templado subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (INEGI, 2009).

Se seleccionaron tres árboles de mezquite que se encontraban en los límites de parcelas agrícolas con distancia mayor de 100 metros entre ellos, presentaban características fenotípicas similares (altura total, diámetro normal, tamaño de copa) de los cuales se colectaron aproximadamente 200 vainas por cada árbol, se acomodaron en bolsas de plástico por separado, se etiquetaron y se trasladaron al laboratorio de semillas y germoplasma del Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales del Instituto de Ciencias Agropecuarias que se ubica en Tulancingo, Hidalgo.

Posteriormente se pusieron en un recipiente de plástico y se les agregó 20 litros de agua caliente (60 °C) y se dejaron remojar por 24 horas para proceder a realizar el despulpado, que consiste en tallar la vaina sobre una superficie corrugada hasta que la pulpa se retire de la cobertura de la semilla.

Las vainas sin pulpa se dejaron orear por 24 horas y se comenzó a sacar la semilla de la envoltura, se realizó con pinzas de presión oprimiendo un costado de la envoltura hasta que es expulsada la semilla.

Después la semilla se almacenó a 0 °C por un año antes de sembrarla. El ensayo se realizó en el Vivero Universitario del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), situado en el municipio de Tulancingo de Bravo, Hidalgo (Figura 4). El municipio se ubica entre los paralelos 20° 03' y 20° 13' de Latitud Norte y en los meridianos 98° 14' y 98° 31' de Longitud Oeste, con una altitud de 2,200 msnm, temperatura de 12-16 °C y una precipitación entre 500 y 900 mm, clima semiseco templado, con lluvias en verano, con formula climática Bs 1kw (INEGI, 2009).



**Figura 4.** Ubicación del sitio de colecta y lugar del experimento.

## 4.2 Mezcla de sustratos utilizados

Se realizaron las mezclas de sustratos (tratamientos) siguientes:

**TRATAMIENTO 1:** Aserrín puro (100%). El sustrato estuvo compuesto por aserrín fresco de pino de aserraderos de la región de Tulancingo, Hgo, se cribó con malla de 0.5 cm.

**TRATAMIENTO 2:** Aserrín 50% + Peat moss 50%. El sustrato consistió en mezclar 50% de aserrín fresco con 50% de peat moss en volumen, ambos fueron cribados y mezclados uniformemente con malla de 0.5 cm.

**TRATAMIENTO 3:** Aserrín 50% + Mezcla comercial 50%. El sustrato consistió en mezclar 50% de aserrín fresco cribado con 50% de mezcla comercial (compuesta por peat moss, agrolita y vermiculita en relación 3:1:1).

**TRATAMIENTO 4:** Mezcla comercial (relación 3:1:1). Consistió en hacer una mezcla de 3/5 partes de peat moss cribado más 1/5 parte de agrolita más 1/5 parte de vermiculita, mezclando hasta quedar de manera uniforme, dicha mezcla es la más frecuentemente usada para la producción de planta forestal.

Se realizaron las mezclas de los sustratos correspondientes a cada tratamiento y se agregó una dosis de 10 kg m<sup>-3</sup> de fertilizante de liberación lenta (6-8 meses) con fórmula 14-14-14 por litro de mezcla de sustrato, durante el mezclado de los sustratos se agregó agua hasta quedar humedecida y homogénea en la distribución de los componentes de los sustratos.

Inmediatamente se continuó con el llenado de los envases que consistió en agregar la cantidad necesaria de las mezclas de sustratos correspondientes realizando

pequeños golpes del envase con el suelo para compactar un poco la mezcla de los sustratos. En la misma fecha que se llenaron los envases y se realizó la siembra (19 de julio de 2013), que consistió en depositar una semilla por envase a una profundidad aproximada entre 0.5 a 0.7 cm. Se utilizaron charolas de 49 envases individuales con capacidad de 160 cc. Se realizaron riegos ligeros diarios por la mañana para estimular el proceso de germinación de las semillas, se aplicó fungicida (Captan M-50) a razón de 2 g por litro de agua una vez a la semana como medida de prevención a las plantas durante los dos meses posteriores a la siembra.

#### **4.3 Medición de variables respuesta**

La variable germinación se evaluó cada dos días por el periodo de un mes, después se evaluaron hasta el día 81. Se consideró como semilla germinada, aquella semilla que emergiera a la superficie y mostrara las hojas cotiledonares.

Las variables altura, diámetro al cuello de la planta y número de nudos se midieron en tres ocasiones (29, 63 y 111) días después de la siembra, comprendido de Julio a Noviembre de 2013. La altura se consideró desde el cuello de la plántula hasta la yema apical de la misma. Para su medición se utilizó una regla graduada con aproximación al milímetro, para la medición del diámetro al cuello de la plántula, se utilizó un vernier con precisión de centésimas de milímetro de la marca Mitutoyo® (Figura 5). El número de nudos por planta se contabilizó de forma directa.



**Figura 5.** Medición de altura y diámetro en plantas de *P. laevigata*.

Otra variable analizada fue biomasa aérea y radicular, para ello se eligieron 10 plantas aleatoriamente por tratamiento considerando las tres repeticiones. La extracción del envase se hizo cuidadosamente para no dañar la parte radicular, se lavó la raíz para eliminar el sustrato y se cortó en el cuello de la planta con tijeras de podar marca Truper® para separar la parte aérea y radicular, posteriormente se colocaron en bolsas de papel y se identificaron para secarlas en un horno de secado marca GRIEVE® a una temperatura promedio de 103 °C por 24 horas, se tomó el peso seco de la biomasa aérea y radicular en gramos con ayuda de una balanza digital Adam® (Figura 6).

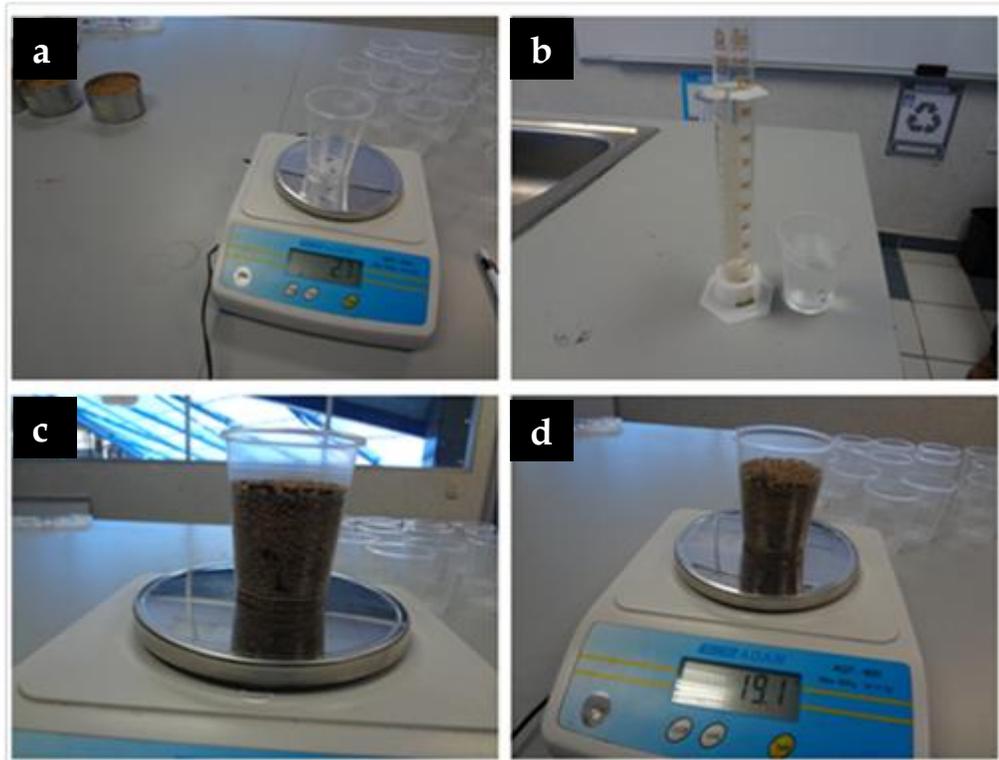


**Figura 6.** Procedimiento para la medición de la biomasa aérea y radicular en plantas de *P. laevigata* a) extracción de la plántula del tubete y remojo en agua para quitar el sustrato, b) separación de componentes aéreo y radicular, c) acomodo de las muestras en horno de secado marca GRIEVE® y d) peso seco del componente aéreo.

#### 4.4 Pruebas realizadas a los sustratos

Para determinar la densidad aparente se pesó un envase de plástico en una balanza digital marca Adam®, se agregaron 100 mL de agua a dicho envase y se marcó con una línea el nivel del agua, después se desechó la misma y se agregó en su lugar las diferentes mezclas de sustratos que corresponden a los tratamientos evaluados hasta dicho nivel, en los envases correspondientes, se pesó el sustrato en la balanza (Figura 7) y se restó el peso del envase, se dividió entre 100, obteniendo la

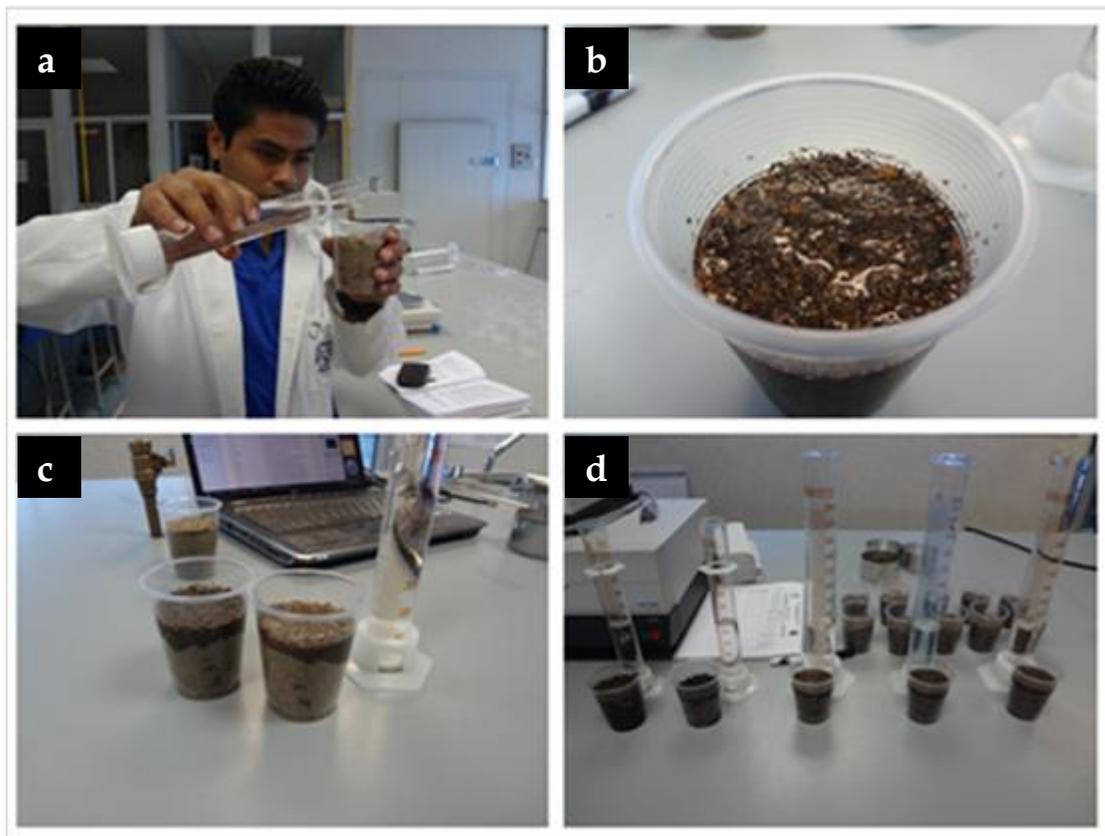
densidad (p/v). Se realizaron tres repeticiones por tipo de sustrato utilizado en el ensayo.



**Figura 7.** Obtención de la densidad aparente de cada mezcla de sustratos utilizada; a) peso del envase de plástico; b) llenado del vaso con 100 mL de agua; c) llenado con la mezcla del sustrato hasta la marca del nivel de agua a 100 mL y d) peso del sustrato.

El procedimiento para determinar la porosidad total de la mezcla del sustrato consistió en llenar hasta la marca de 100 mL el envase con el sustrato a evaluar, se le agregó agua con probeta graduada de 100 mL hasta que todos los espacios porosos fueron ocupados por agua y se formó un espejo de agua (Figura 8), se cuantificó el volumen de agua añadida lo cual corresponde al volumen del espacio poroso total.

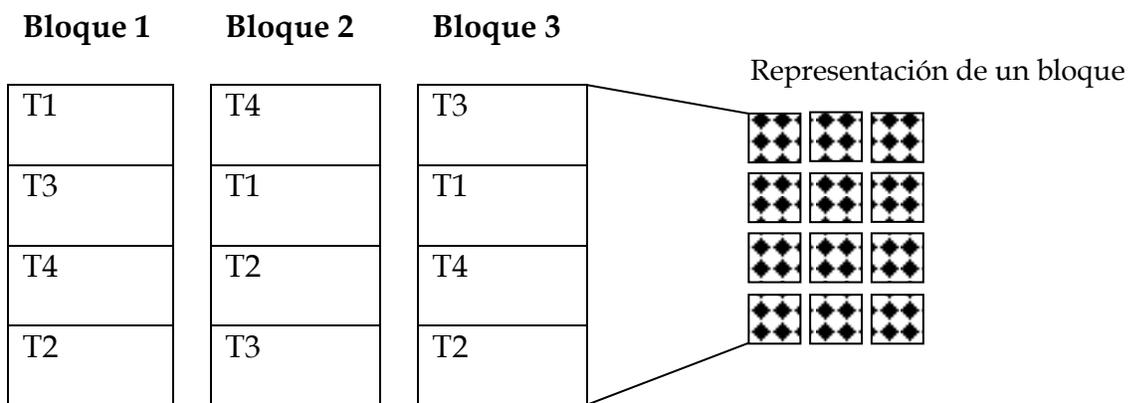
Para determinar la capacidad de retención de humedad el procedimiento consistió en que después de que se formó el espejo de agua en el vaso, se volteó el mismo y se dejó por dos horas hasta que se drenara el exceso de agua, se restó el peso del envase y del sustrato; el valor obtenido corresponde a la capacidad de retención de humedad de los tipos de sustratos utilizados (Rodríguez, 2010).



**Figura 8.** Determinación del espacio poroso total; a) añadiendo agua para conocer espacio poroso total; b) formación de espejo de agua en el sustrato; c) proceso de humedecimiento del sustrato y d) repeticiones en el humedecimiento del sustrato.

#### 4.5 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar. El orden de los tratamientos dentro del bloque fue aleatoriamente, cada tratamiento por bloque tuvo 147 semillas dando un total por bloque de 588 semillas. Se establecieron 3 bloques completos (repeticiones) lo que corresponde a 1764 semillas totales del experimento (Figura 9).



**Figura 9.** Croquis de la distribución de los tratamientos.

Para la variable germinación se realizaron estadísticos generales como medias aritméticas y porcentajes, las variables altura, diámetro al cuello de la planta y número de nudos se sometieron a un análisis de varianza con ayuda del software Statical Analysis System (SAS). El modelo estadístico empleado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + B_i + T_j + E_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$ : Valor observado en la variable respuesta en el  $j$ -ésimo tratamiento del  $i$ -ésimo bloque,

$\mu$ : Valor medio de la variable en la población en estudio,

$B_i$  Efecto debido al  $i$ -ésimo bloque,

$T_j$ : efecto debido al  $j$ -ésimo tratamiento,

$E_{ij}$ : Error de muestreo dentro de los bloques.

Cuando el análisis de varianza mostró la existencia de diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las variables evaluadas entre tratamientos se llevó a cabo la prueba de comparación de medias por el método de Tukey con el paquete estadístico SAS.

### **Análisis de correlación**

Se realizó un análisis de correlación entre las características físicas de los sustratos con las variables respuesta evaluadas (altura, diámetro, número de nudos biomasa aérea y radicular) para determinar si existe efecto de las características físicas del sustrato con las variables medidas.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Germinación

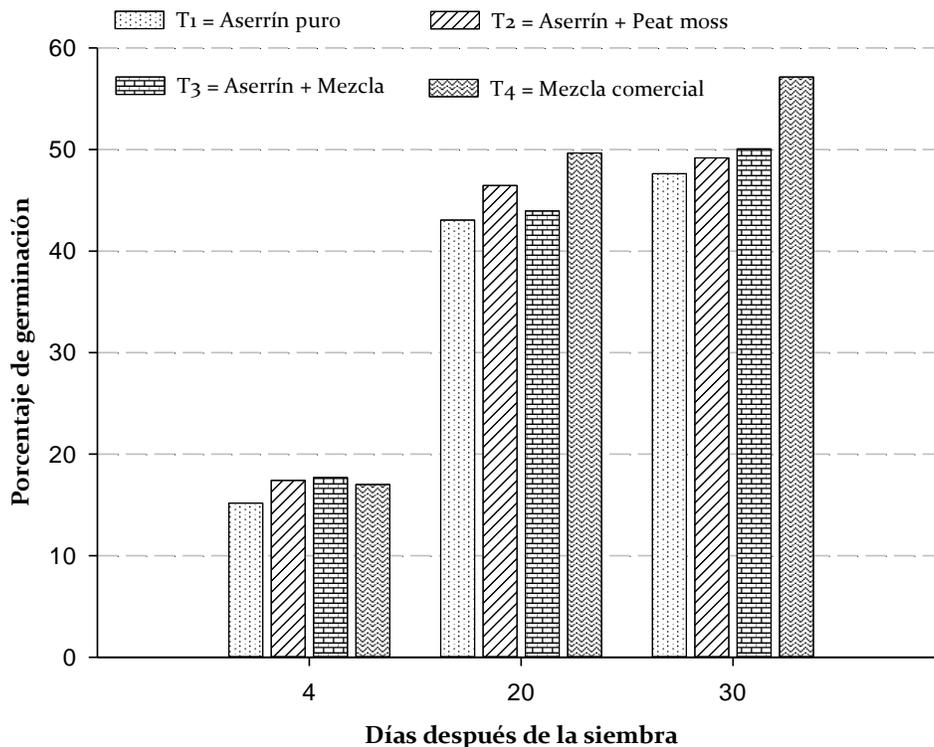
Las semillas de *Prosopis laevigata* comenzaron a germinar a partir del segundo día pero la primera evaluación fue realizada al cuarto día después de la siembra. En esta fecha todos los tratamientos habían alcanzado más del 15% de germinación. Estos resultados difieren a los obtenidos por García *et al.* (2010) para la misma especie, ya que él sometió las semillas a distintos tratamientos pre-germinativos, siendo el mejor el de inmersión en agua a 75 °C durante 12 minutos alcanzando un 74% de germinación a los 3 días después de la siembra con un sustrato a base de peat moss y vermiculita, además de que fue enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma sp* con la finalidad de mejorar la nutrición y protección de las plántulas.

A los 20 días el tratamiento de mezcla comercial había alcanzado el 49.6% de germinación mientras que el tratamiento de aserrín puro germinó sólo 43% de las semillas. En la última evaluación (30 días) después de la siembra se encontró que el tratamiento de mezcla comercial tuvo un total de 57.1% de semillas germinadas y el tratamiento de aserrín puro un 47.6% (Figura 10).

Los resultados obtenidos por García *et al.* (2010) indican que someter las semillas a tratamientos pre-germinativos incrementa el porcentaje de germinación, aseveración confirmada en el estudio realizado por Camacho *et al.* (2010) donde realiza tratamientos para estimular la germinación con ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y remojo en agua caliente a 85 °C y obtiene emergencia superior comparada con el testigo sembrados en tierra. Por otra parte, Niembro y Fierros (1990) mencionan que

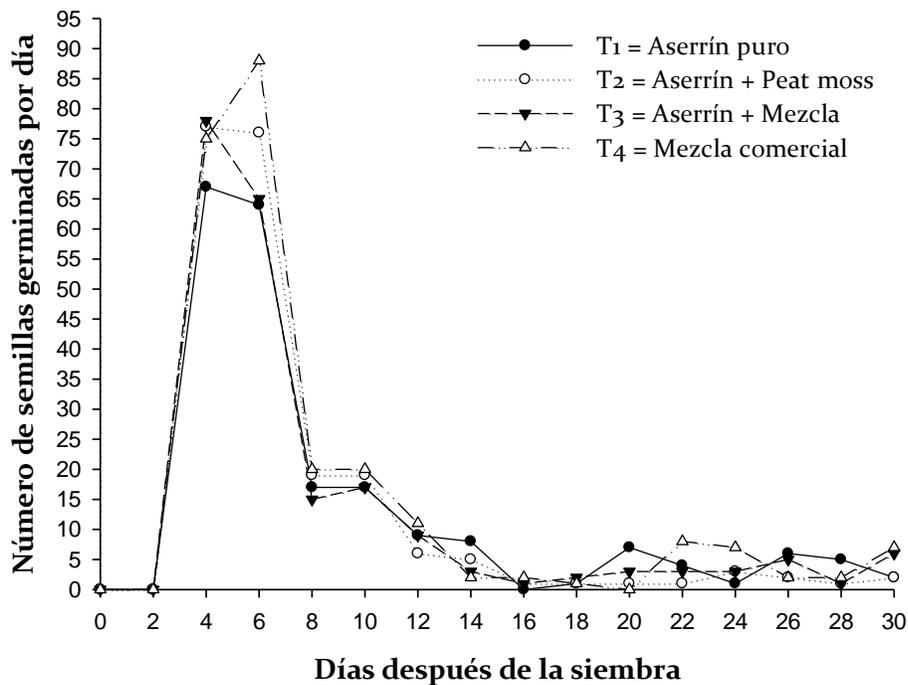
la germinación de las semillas se encuentra fuertemente influida por las características físicas y químicas del sustrato empleado ya que puede favorecer o entorpecer la germinación.

En este estudio se encontró una diferencia de 9.5% más de germinación en el sustrato de mezcla comercial en comparación con el sustrato de aserrín puro. Esto posiblemente se le atribuye al hecho de que el sustrato compuesto por aserrín no fue compostado ya que como afirma la OIRSA (2002) que la tasa de descomposición del aserrín en estado fresco tiene mayor demanda de nitrógeno y puede contener sustancias tóxicas como resinas y taninos, además presenta pobre drenaje (Ledesma, 2010), en consecuencia el proceso de germinación podría verse afectado.



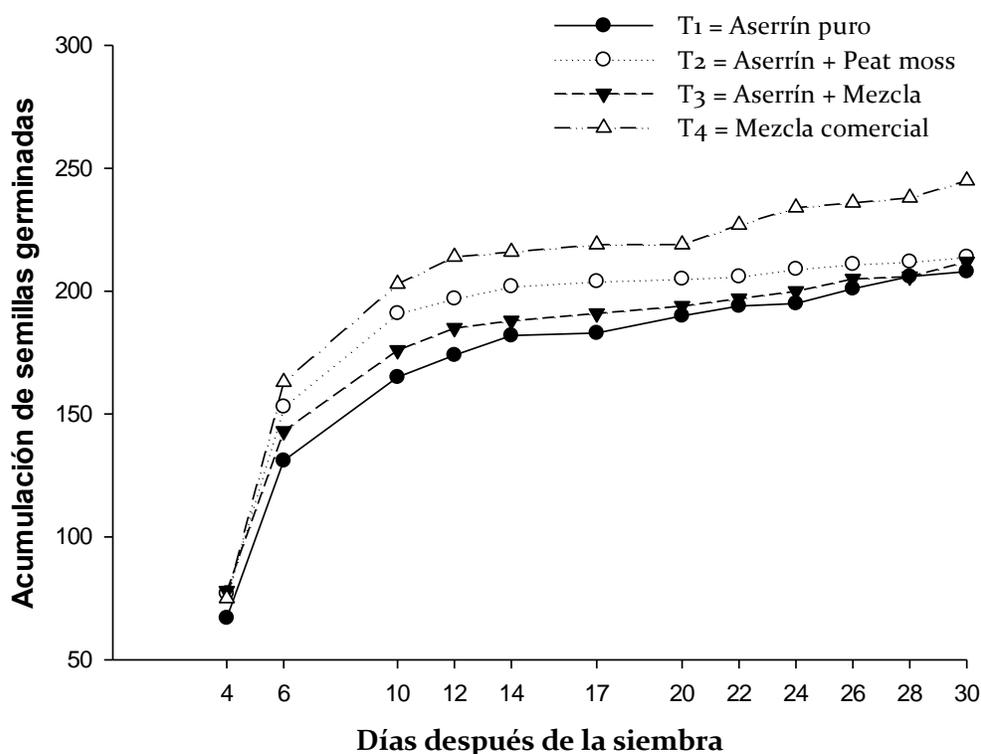
**Figura 10.** Germinación de *P. laevigata* en cuatro mezclas de sustrato en invernadero.

Con la intención de conocer la velocidad de germinación en las semillas de mezquite se evaluó cada 2 días el número de semillas germinadas y se encontró que entre los 4 y 6 días después de la siembra, se presenta la mayor emergencia de semillas para todos los tratamientos (Figura 11), en el sustrato de mezcla comercial en los días 5 y 6 germinaron un total de 88 semillas, mientras que el sustrato de aserrín puro sólo germinaron 64 semillas, para el día 7 y 8 la germinación disminuyó abruptamente germinando sólo 20 semillas en el tratamiento de mezcla comercial. Posteriormente la germinación fue disminuyendo hasta llegar a cero en el día 15 hasta el 18, sin embargo se continuó la evaluación obteniendo pocas semillas germinadas por día. No obstante, la germinación se continuó presentando hasta después de 81 días de manera irregular en cada tipo de sustrato.



**Figura 11.** Semillas germinadas por día de *P. laevigata* en cuatro mezclas de sustrato en invernadero.

Los tipos de sustrato evaluados presentan un comportamiento similar en el número de semillas germinadas, aunque después de los 6 días al sumar el número de semillas germinadas el tratamiento mezcla comercial mostró superioridad (163) en relación al resto de los tratamientos evaluados (Figura 12), dicho tratamiento mantuvo esta tendencia así durante toda la evaluación (30 días) teniendo al final un total de 245 semillas germinadas. El tratamiento de aserrín puro durante el mismo periodo de evaluación presentó 131 y 210 semillas germinadas a los 6 y 30 días respectivamente.



**Figura 12.** Germinación acumulativa en un periodo de 30 días después de la siembra de *P. laevigata* en cuatro mezclas de sustrato en invernadero.

Estos resultados inferiores en el sustrato de aserrín puro coinciden con lo encontrado por Garzón *et al.* (2005) donde evaluó sustratos a base de aserrín para *Quercus humboldtii* donde menciona que la germinación de las semillas sembradas en aserrín al 100% presentó mayor porcentaje de pérdida del 2% en comparación con el sustrato a base de acículas de pino.

Se realizó una evaluación de germinación a los 81 días después de la siembra, y se encontró que en el tratamiento de mezcla comercial germinaron 289 semillas lo que representa el 65%, mientras que para el tratamiento de aserrín puro germinaron 246 semillas representando el 55.8%, la germinación promedio general del experimento fue de 59.6%. El sustrato de mezcla comercial presentó mayor aireación y de acuerdo con Killian y Rigotti (2002) el aumento de oxígeno disuelto no modifica el ingreso de agua, pero incrementa la velocidad y los porcentajes de germinación, lo que sugiere no emplear aserrín puro como sustrato, sino mezclarlo con otros materiales como recomienda Villareal (1981) en un estudio con *P. arizonica* en vivero donde obtiene mejores resultados sobre la germinación con el uso de aserrín, perlita y tierra de monte en proporciones iguales.

## **5.2 Altura**

La altura de la planta alcanzada en vivero contribuye a la toma de decisiones para realizar la plantación en campo, del mismo modo se refleja las prácticas de manejo realizadas en vivero. El análisis de varianza mostró para la variable altura diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre los tratamientos en las diferentes fechas de evaluación (Cuadro 4). El tratamiento de mezcla comercial tuvo la altura

promedio mayor con 6.1 cm desde la primera evaluación (29 días) hasta el final de la evaluación alcanzando una altura promedio de 18 cm a los 111 días. Por el contrario el tratamiento de aserrín puro presentó los valores menores tanto a los 29 días como a los 111 días después de la siembra con valores de 5.5 y 10.1 cm, respectivamente.

Entre los tratamientos con valores extremos existe una diferencia de 7.9 cm lo que representa un 43.9% de mayor crecimiento de las plantas producidas en la mezcla comercial. No obstante, en la última evaluación las diferencias en altura fueron más notorias entre los tratamientos (Figura 13). Reyes *et al.* (2005) reporta que a los 7.5 meses obtuvieron una altura (18.58 cm) en *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en un sustrato a base de 80% aserrín + 20% de peat moss.

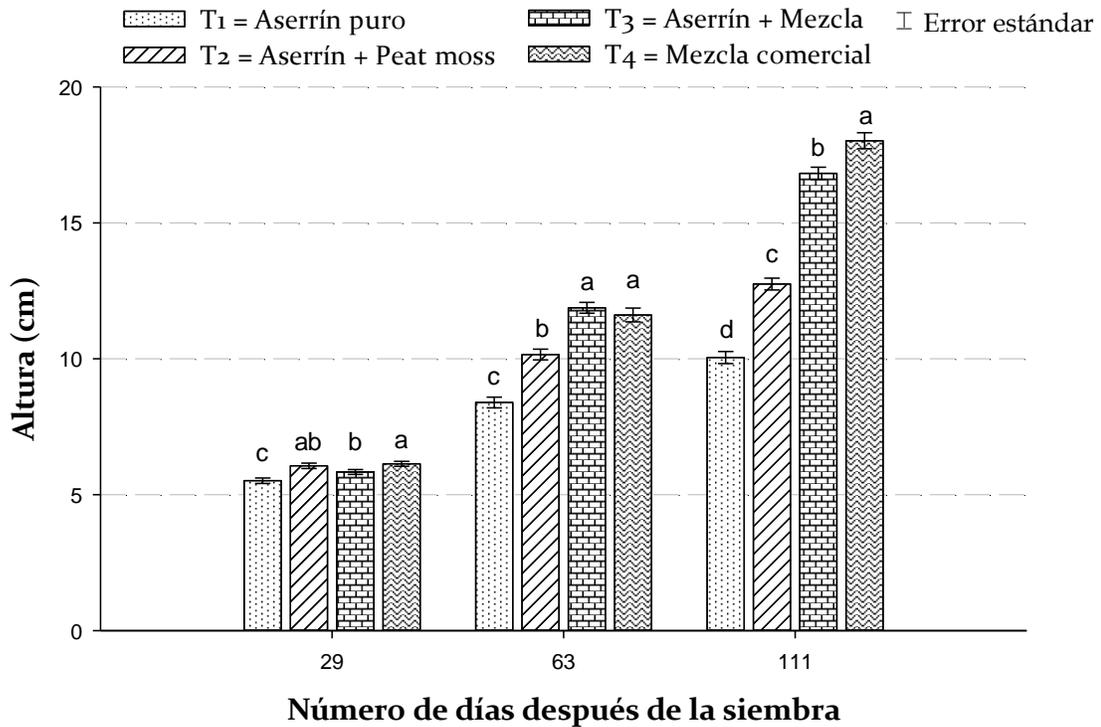
**Cuadro 4.** Análisis de varianza para altura en diferentes fechas de medición en plantas de *P. laevigata* en cuatro mezclas de sustratos.

Fuente de variación	Cuadrados medios		F value	Pr >F
	Tratamiento (3) <sup>a</sup>	Error (709) <sup>a</sup>		
Medición 1 (29 días)	15.03	1.75	8.59	<0.0001
Medición 2 (63 días)	487.45	8.55	56.98	<0.0001
Medición 3 (111 días)	2647.81	11.74	225.36	<0.0001

<sup>a</sup>= Grados de libertad

Los resultados obtenidos en altura en este estudio son distintos a los reportados por Reyes (1998) para *P. laevigata*, en donde menciona un crecimiento en altura promedio de 11.28 cm al tercer mes de establecido el experimento con una mezcla de sustrato que consistió en germinaza (sustrato hidropónico de fibra de coco)

+ hortiperl (perlita mineral expandida para uso en las industrias de horticultura y jardinería) + tierra de monte. A su vez Prieto *et al.* (2013a) encontró para la misma especie alturas por encima de los 20 cm a los 5 meses de edad en un sustrato a base de 70% corteza compostada + 30% peat moss en condiciones de vivero, en otro estudio realizado por Prieto *et al.* (2013b) pero con 50% corteza compostada + 50% de mezcla base (55% peat moss, 24% vermiculita, 21% agrolita) obtiene a los 5 meses de edad la mayor altura promedio de 25.67 cm. Los resultados obtenidos para altura en este estudio son menores a los reportados por Prieto *et al.* (2013b), debido al tiempo de evaluación, siendo para este estudio de 3.7 meses.



**Figura 13.** Altura promedio en plantas de *P. laevigata* en cuatro mezclas de sustrato en invernadero. Letras distintas indican diferencias significativas por grupos de barras en el número de días después de la siembra (Tukey, 0.05).

Los valores bajos obtenidos en el sustrato a base de aserrín en la variable altura se pueden explicar con lo afirmado por Landis *et al.* (1990) donde señalan que los materiales orgánicos no compostados, como el aserrín o la corteza, limitan la disponibilidad de nitrógeno, ya que los organismos que se encargan de la descomposición de la materia orgánica utilizan este nutriente y por consecuencia su capacidad de intercambio catiónico (CIC) se reduce, manifestándose una deficiencia nutrimental. En el mismo sentido Burés (1997) menciona que una CIC elevada incrementa la eficiencia en la adición de fertilizantes, mientras que si se emplean materiales con baja CIC, los fertilizantes solamente se aplicaran a través del sistema de riego (fertirrigación), puesto que el sustrato no tiene la capacidad de retener los nutrimentos y por consiguiente no están disponibles para la planta.

### 5.3 Diámetro

Los resultados del análisis de varianza para la variable diámetro mostraron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.001$ ) entre los tratamientos en las tres evaluaciones (Cuadro 5). Desde la primera evaluación (29 días) las plantas del tratamiento de mezcla comercial presentaron un diámetro promedio de 1.9 mm superior al resto de los tratamientos aplicados. La superioridad la mantuvo hasta la última evaluación (111 días), con un diámetro al cuello de la planta de 3.2 mm. Dicho tratamiento superó en un 21.9% en el diámetro de las plantas del tratamiento de aserrín puro (Figura 14). Cabe señalar que la tasa de incremento en el diámetro en las plantas del tratamiento de mezcla comercial fue de 0.87 mm por mes mientras que las

plantas del tratamiento de aserrín puro tuvieron una tasa de incremento en diámetro de 0.67 mm por mes.

Reyes (1998) reporta para la misma especie bajo invernadero un diámetro promedio de 1.5 mm a la edad de 3 meses. Dichos resultados fueron inferiores a los obtenidos en este estudio, ya que a los 3.7 meses se obtuvieron diámetros promedio de 3.2 mm en el tratamiento de mezcla comercial y de 2.5 mm en el tratamiento con aserrín puro.

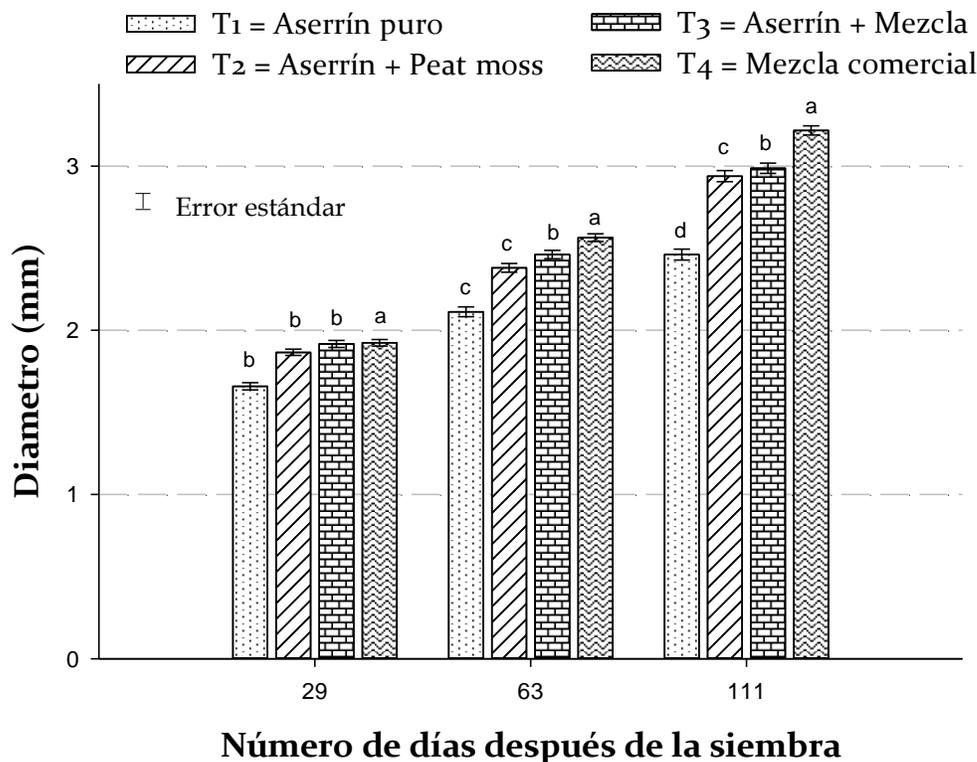
**Cuadro 5.** Análisis de varianza para diámetro en plantas de *P. laevigata* en cuatro mezclas de sustratos en invernadero.

Fuente de variación	Cuadrados medios		F value	Pr >F
	Tratamiento (3) <sup>a</sup>	Error (709) <sup>a</sup>		
Medición 1 (29 días)	2.92	0.08	35.34	<0.001
Medición 2 (63 días)	7.16	0.13	51.98	<0.001
Medición 3 (111 días)	19.36	0.19	99.36	<0.001

<sup>a</sup> = grados de libertad

No obstante Prieto *et al.* (2013b) con sustrato a base de 50% corteza compostada + 50% mezcla base (55% peat moss, 24% vermiculita, 21% agrolita) para *P. laevigata* obtuvo un diámetro promedio de 3.05 mm a una edad de 5 meses. Sin embargo no fue así para los diámetros obtenidos en la mezcla base donde presentó un diámetro promedio de 2.91 mm, además de que agregó 7 kg m<sup>-3</sup> de fertilizante granulado Multicote® (15-07-15) que comparado con este estudio, el sustrato hecho de mezcla comercial en proporción 3:1:1 más 10 kg m<sup>-3</sup> de fertilizante de liberación lenta con

formulación 14-14-14 se consiguió un diámetro de 3.2 mm a 3.7 meses después de la siembra de las semillas de *P. laevigata*.



**Figura 14.** Diámetro promedio en plantas de *P. laevigata* en cuatro mezclas de sustrato bajo invernadero. Letras distintas indican diferencias significativas por grupos de barras en el número de días después de la siembra (Tukey, 0.05).

#### 5.4 Número de nudos

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre tratamientos en la variable número de nudos formados en la planta para las tres mediciones realizadas (Cuadro 6). En la primera medición (29 días), las plantas de los cuatro tratamientos habían formado en promedio 3.4 nudos. Transcurridos dos meses (63 días) en el tratamiento de mezcla comercial las plantas presentaron el número mayor de nudos formados (9.4), mientras que las plantas del tratamiento de aserrín

puro formaron en promedio 7.1 nudos, sin embargo las diferencias en número de nudos formados por las plantas en los tratamientos fueron mayores después de 3.7 meses de la siembra (111 días). Para esa fecha el promedio del total de las plantas habían formado 11.2 nudos en el experimento, sin embargo, en el tratamiento de mezcla comercial las plantas tenían 13.7 nudos, representando un 38.6% más de nudos por planta comparado con las plantas del tratamiento de aserrín puro que formaron en promedio 8.4 nudos (Figura 15). En el tratamiento de mezcla comercial se formaron 0.86 nudos por semana superando a las plantas de aserrín puro que formaron 0.52 nudos por semana.

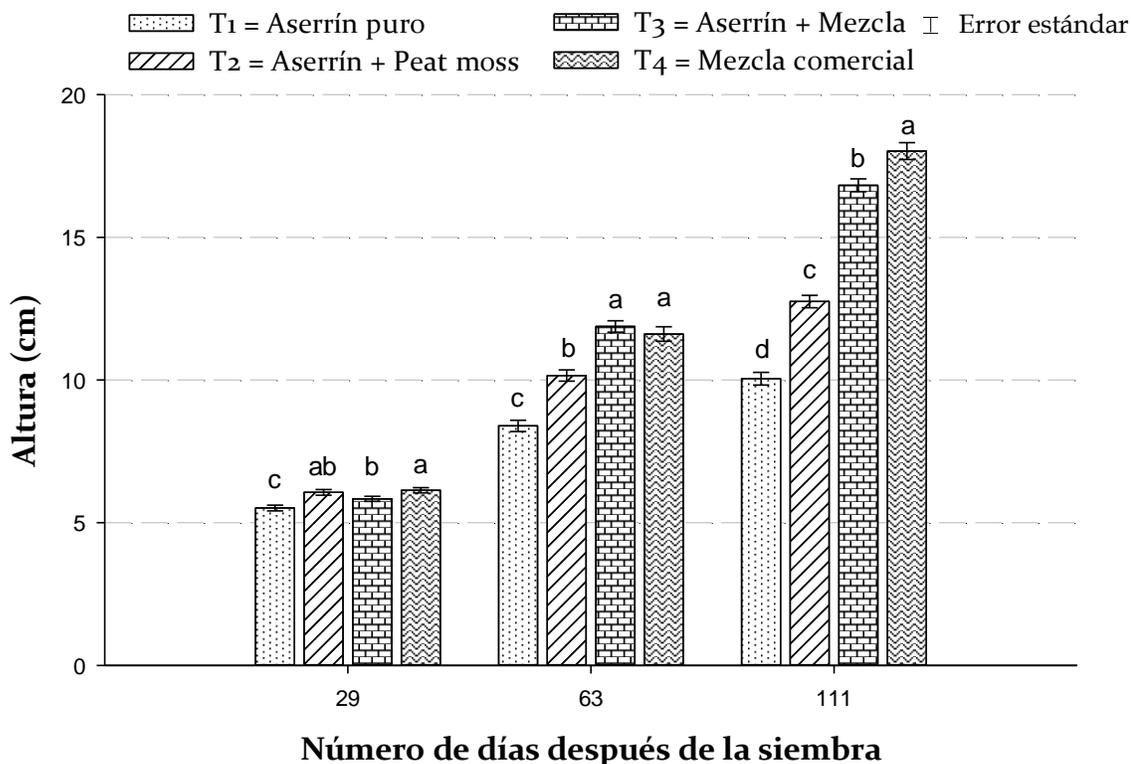
**Cuadro 6.** Análisis de varianza para número de nudos por planta de *P. laevigata* en cuatro mezclas de sustratos.

Fuente de variación	Cuadrados medios		F value	Pr >F
	Tratamiento (3) <sup>a</sup>	Error (709) <sup>a</sup>		
Medición 1 (29 días)	1.70	0.69	2.43	<0.0641
Medición 2 (63 días)	221.81	2.72	81.37	<0.0001
Medición 3 (111 días)	1222.51	5.34	228.61	<0.0001

<sup>a</sup>= Grados de libertad

Existe nula información sobre la formación de nudos en plántulas de mezquite en la producción bajo invernadero, sin embargo, como afirma López (2005) la elongación del tallo (crecimiento primario), así como la formación de nudos (diferenciación) está regulado por estímulos externos como la temperatura e internos

como la concentración de fitorreguladores activadores del metabolismo (giberelinas, auxinas y citocininas), importantes para la brotación.



**Figura 15.** Formación de nudos por planta de *P. laevigata* producidos en cuatro mezclas de sustrato. Letras distintas indican diferencias significativas por grupos de barras en el número de días después de la siembra (Tukey, 0.05).

### 5.5 Biomasa aérea y radicular

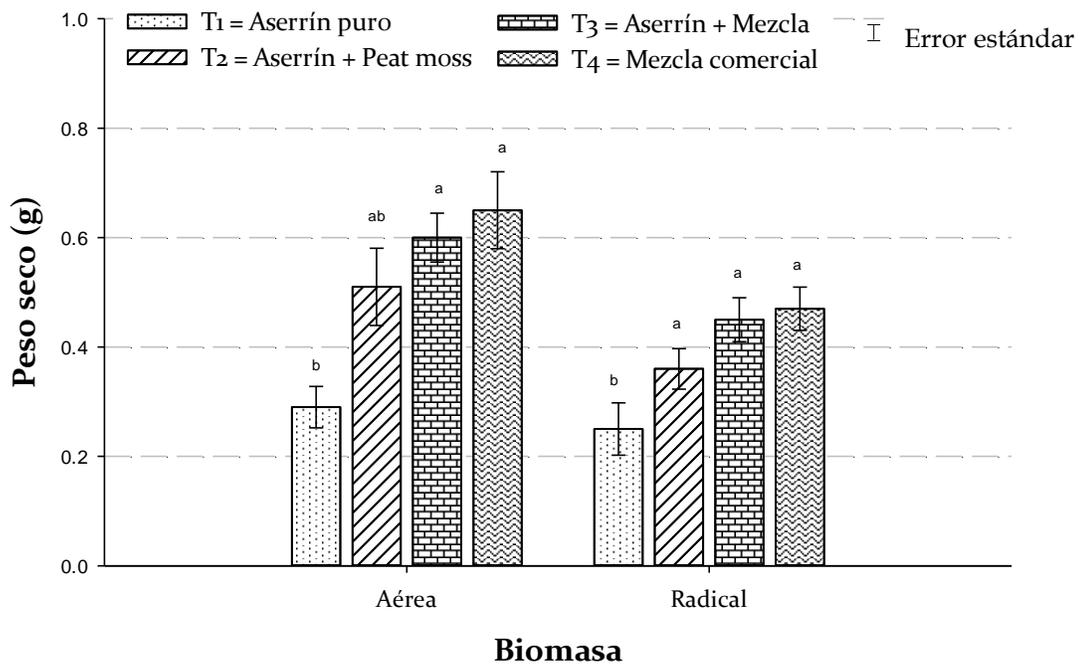
El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.01$ ) para la biomasa aérea y radicular entre los tratamientos (Cuadro 7). El tratamiento de mezcla comercial tuvo el mayor valor en la biomasa aérea con  $0.65 \text{ g planta}^{-1}$ , mientras que el tratamiento con aserrín puro tuvo  $0.29 \text{ g}$  habiendo una diferencia de  $0.36 \text{ g}$  lo que representa un 55.4% más de producción de biomasa aérea en 3.7 meses. La biomasa radicular tuvo la misma respuesta al presentar la mezcla comercial  $0.47 \text{ g}$

y el aserrín puro 0.25 g, habiendo un 46.8% más de biomasa radicular (Figura 16). Estos datos difieren a los obtenidos por Mejía (2007) en su estudio de producción de *Pinus patula* a los 8 meses donde el sustrato a base de aserrín crudo al 100% presenta valores de 0.43 g para la especie *Pinus patula*.

**Cuadro 7.** Análisis de varianza para la producción de biomasa aérea y radicular en plantas de *Prosopis laevigata* en cuatro mezclas de sustratos.

Fuente de variación	Cuadrados medios		F value	Pr >F
	Tratamiento (3) <sup>a</sup>	Error (34) <sup>a</sup>		
Peso seco raíz (g)	0.10	0.013	7.40	<0.0006
Peso seco follaje (g)	0.25	0.031	8.02	<0.0004

<sup>a</sup>= Grados de libertad



**Figura 16.** Producción de biomasa aérea y radicular en plantas de *P. laevigata* a los 111 días después de la siembra en cuatro mezclas de sustratos. Letras distintas indican diferencias significativas por grupos de barras en el número de días después de la siembra (Tukey, 0.05).

Prieto *et al.* (2013b) obtuvo el mejor promedio de biomasa seca a los 5 meses con 1.15 g planta<sup>-1</sup> empleando un sustrato a base de 50% corteza compostada + 50% de mezcla base, sin embargo los resultados menores los obtuvo con el sustrato de mezcla base con 0.97 g planta<sup>-1</sup>, mientras que en este estudio el mejor tratamiento fue el de mezcla comercial con 1.12 g planta<sup>-1</sup>. En otro estudio pero para la misma especie Prieto *et al.* (2013a) empleando sustrato a base de 70% corteza compostada y 30% de peat moss obtuvo un valor de 1.11 g planta<sup>-1</sup>.

Los resultados obtenidos por diversos autores señalan que el uso de aserrín hasta valores de 70% mezclados con otros sustratos tienen influencia positiva sobre el crecimiento de las plantas en vivero, lo anterior, lo reporto Reyes *et al.* (2005) al producir *P. pseudostrobus* var *apulcensis* donde el sustrato estaba constituido por 80% aserrín fresco + 20% peat moss obtuvo el mayor peso seco radicular (1.16 g planta<sup>-1</sup>) a los 7.5 meses, por el contrario en el trabajo realizado por Mejia (2007) al producir *Pinus patula* empleando 30% de aserrín crudo + 70% de peat moss (3:1:1) obtiene mayor biomasa seca aérea (2.29 g planta<sup>-1</sup>) al igual que biomasa seca radicular con un valor de 0.83 g planta<sup>-1</sup> a 8 meses de edad.

De acuerdo con Wenny *et al.* (1998) cuando se presenta mayor sistema radicular, se tiene mayor densidad de raíces finas, con lo cual aumenta la posibilidad de supervivencia en campo ya que explorará una extensa área de suelo y por tanto se optimiza la capacidad de absorber agua y nutrientes.

## 5.6 Pruebas realizadas a los sustratos

En el cuadro 8 se observa uniformidad en la densidad aparente entre los sustratos evaluados ya que presentan un promedio de  $0.15 \text{ g cm}^{-3}$ , dicha propiedad está influenciada por la forma y tamaño de las partículas de los mismos. Una densidad baja representa una porosidad alta y elevada fase gaseosa, lo que permite una mayor retención de humedad por parte de los sustratos, sin embargo el valor más alto de retención de humedad lo presentó el sustrato hecho a base de aserrín + peat moss y el más bajo la mezcla comercial.

**Cuadro 8.** Características físicas de los sustratos empleados en la germinación y crecimiento inicial de *P. laevigata* en invernadero.

Tratamiento	DA	EPT	CRH	EA
	( $\text{g cm}^{-3}$ )		(%)	
Aserrín puro	0.16	87.4	74	13.31
Aserrín + peat moss	0.15	84.2	75.2	8.96
Aserrín + mezcla	0.15	81	71.68	9.32
Mezcla comercial	0.15	76.4	61.18	15.22

DA = Densidad aparente; EPT = Espacio poroso total; CRH = Capacidad de retención de humedad; EA = Espacio con aire.

En un estudio realizado por Sánchez *et al.* (2008) donde hace una caracterización de medios de crecimiento obtiene para la mezcla constituida por 60% peat moss, 30% agrolita y 10 vermiculita una porosidad total de 84% mientras que en este estudio para el mismo tipo de sustrato mezcla comercial se obtuvo un espacio poroso total de 76.4%, lo que significa que el 23.6% es material sólido. De esta forma

Landis *et al.* (1990) señalan que muchos autores recomiendan de 60 a 80% de porosidad total, de acuerdo con los autores anteriores las mezclas (aserrín + peat moss y mezcla comercial) se encuentran dentro de los rangos.

Respecto al espacio con aire en este estudio todas las mezclas están entre 8 y 15%, siendo la mezcla comercial la que presentó mayor porcentaje, Havis y Hamilton (1976) recomiendan que la porosidad de aireación debe ser de 20 a 25%, mientras que Puustjarvi y Robertson (1975) recomienda de 45 a 50%, los valores adquiridos en este estudio muestran que las mezclas tienen pocos macro poros y que las raíces de las plántulas tienen poca aireación, como consecuencia las raíces podrían presentar pudrición por la falta de oxígeno como señala Ansorena (1994).

Lo anterior se ratifica con la capacidad de retención de humedad, ya que todas las mezclas están entre 60 y 75%. De acuerdo con Burés (1997) el aserrín presenta altos valores de retención de humedad por lo que se recomienda mezclarse con materiales de partículas más gruesas que aporten aireación, sin embargo en este estudio el sustrato a base de aserrín presentó valores dentro del rango aceptable de porosidad propuesto por Zapata *et al.* (2005). La OIRSA (2002) señala que un sustrato puede tener baja capacidad de retención de humedad debido a la baja porosidad total, mayor cantidad de macro poros que provoca la pérdida de agua por gravedad.

No obstante *P. laevigata* no demanda mucha agua para su crecimiento por lo que el factor hídrico no es una limitante en su crecimiento y desarrollo debido a que esta especie es de ecosistemas semiáridos formando parte del matorral espinoso y que se adapta a condiciones de escasas de agua.

## 5.7 Análisis de correlación

Se determinaron las características físicas de las mezclas de sustratos utilizados como tratamientos, con los datos obtenidos se realizó una correlación con las variables evaluadas en las plantas. La germinación obtenida a los 111 días después de la siembra presentó una correlación negativa significativa ( $p \leq 0.01$ ) con el espacio poroso total y la capacidad de retención de humedad ( $-0.85^{**}$  y  $-0.83^{**}$  respectivamente) que tuvieron los sustratos (Cuadro 9). Lo que significa que sustratos con menor espacio poroso total y menor capacidad de retención de humedad presentaron una mayor germinación, esto corrobora el hecho de que las semillas del género *Prosopis* germinan aun en condiciones de estrés hídrico, comprobado por Arce *et al.* (1987) donde germinaron semillas de *Prosopis alba* y lograron resultados de hasta 80% de poder germinativo en condiciones de gran estrés hídrico de  $-3.0$  Mpa.

En las variables respuesta de las plantas como son altura, diámetro y número de nudos se presentó una correlación negativa significativa ( $p \leq 0.05$ ) con la densidad, espacio poroso total y la capacidad de retención de humedad de los sustratos. La biomasa radicular se correlacionó ( $p \leq 0.05$ ) con la densidad y el espacio poroso total con valores de  $-0.61^*$  y  $-0.54^*$ , respectivamente (Cuadro 9). Lo anterior significa que las plantas con mayor biomasa aérea y radicular se encontraban en un sustrato con mayor densidad, espacio poroso total y capacidad de retención de humedad.

**Cuadro 9.** Correlación de germinación, altura, diámetro, formación de nudos, biomasa aérea y radicular de plantas de *P. laevigata* con características físicas de los sustratos usados.

		Germinación	Altura	Diámetro	Formación	Biomasa seca	
					de nudos	Aérea	Radicular
Características físicas	DA	-0.30 <sup>ns</sup>	-0.64*	-0.63*	-0.64*	-0.80*	-0.61*
	EPT	-0.85**	-0.82**	-0.83*	-0.83**	-0.74*	-0.54*
	CRH	-0.83**	-0.69*	-0.61*	-0.69*	-0.51*	-0.38 <sup>ns</sup>

\* =  $p \leq 0.05$ , \*\* =  $p \leq 0.01$ , ns = no significativo. DA=densidad aparente; EPT= Espacio poroso total; CRH= Capacidad de retención de humedad.

El sustrato de mezcla comercial fue el mejor por sus características físicas ya que presentó valores que favorecen la germinación, mayor altura, diámetro, número de nudos, biomasa aérea y radicular para este estudio con *Prosopis laevigata*. Como ya se indicó en los apartados anteriores. No obstante en otros estudios se han obtenido valores alentadores con el uso de aserrín para especies de pinos como el trabajo elaborado por Reyes *et al.* (2005) donde encontró para *P. patula* empleando hasta 80% de aserrín los mejores valores en altura, diámetro y biomasa seca aérea y radicular con una dosis de 5 kg m<sup>-3</sup> de fertilizante de lenta liberación. Por lo que se puede afirmar que al emplear altos porcentajes de aserrín crudo es necesario realizar aplicaciones de nutrimentos esencialmente nitrógeno, elemento que favorece el crecimiento de las plantas principalmente para pinos.

## VI. CONCLUSIONES

Las plantas de *Prosopis laevis* obtuvieron mayor respuesta en altura (18 cm), diámetro (3.2 mm), número de nudos formados (13.7) y materia seca (1.12 g) por planta en el sustrato compuesto por peat moss, agrolita, vermiculita en relación 3:1:1 en volumen, a la edad de 3.7 meses en invernadero. Por el contrario el sustrato de aserrín puro provocó en las plantas los menores valores para las mismas variables.

El sustrato de mezcla comercial (57.1%) mejoró en un 9.5% la germinación en semillas de *P. laevis* en comparación con el sustrato de aserrín puro (47.6%) al mes después de la siembra.

Las características físicas de las mezclas de sustratos utilizadas (densidad, espacio poroso total, capacidad de retención de humedad) presentaron una correlación negativa con las variables de altura, diámetro y número de nudos por planta. Lo que significa que las plantas con mayor altura, diámetro al cuello y número de nudos formados fueron los que crecieron en un sustrato con menor densidad aparente, espacio poroso total y capacidad de retención de humedad, dichas características las presentó el sustrato de mezcla comercial.

## VII. LITERATURA CITADA

- Alarcón, A., Almaraz, J., Ferrera, R., González, M., & Lara, M. (2001). Manual: Tecnología de hongos micorrízicos en la producción de especies forestales en vivero. Montecillo, Texcoco, México: PRONARE-CONAFOR 98 p.
- Ansorena, J. (1994). Sustratos. Propiedades y caracterización. Madrid, España: Mundi-prensa 380 p.
- Arce, P., Medina, M.C., & Balboa, O. (1987). Tolerancia a la salinidad en la germinación de tres especies de *Prosopis* (*P. alba*, *P. chilensis* y *P. tamarugo*). Informe IADIZA 67 p.
- Bidwell, R. (1979). Fisiología vegetal. México, D.F: AGT 75-78 pp.
- Bolzón, M., Graciela I., Nisgoski, S., & Lomelí, R. M. G. (2010). Anatomía y ultraestructura de la madera de tres especies de *Prosopis* (Leguminosae-Mimosoideae) del Parque Chaqueño seco, Argentina. *Madera y Bosques* 16 (4), 21-38.
- Burés, S. (1997). Sustratos. Madrid, España: Agrotecnica S.L 342 p.
- Camacho, M.F., Velázquez, S.A & Morales, V.G. (2010). Mejoramiento de la germinación de *Prosopis laevigata* con tratamientos de agua caliente y ácido sulfúrico. CENID-COMEF-INIFAP. Universidad Nacional Autónoma de México 5 p.
- Carrillo, F., Gómez, F., & Arreola, J. (2007). Efecto de poda sobre potencial productivo de mezquitales nativos en la comarca lagunera, México. *Revista Chapingo*, 8 p.

- Cervantes, M. (2003). Plantas de Importancia Económica en las Zonas Áridas y Semiáridas de México. Temas Selectos de Geografía de México. I. Textos Monográficos. 5. Economía. Instituto de Geografía, UNAM.153 p.
- CONANP (Comisión de Áreas Naturales Protegidas). (2003). Programa de manejo Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán. México, D.F: CONANP 202 p.
- CONAZA (Comisión de Zonas Áridas). (1994). Mezquite, cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. México, D.F 30 p.
- Cony, M.A., & Trione, S.O. (1996). Germination with respect to temperature of two Argentinian *Prosopis* species. Journal of arid environments 236 p.
- Dickson, A., Leaf, A., & Hosner, I. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. Forest Chronicle pp. 10-13.
- Estrada, S. (1993). Estudios sobre el potencial técnico de aprovechamiento de la goma, vainas, hojas y madera del mezquite (*Prosopis spp*) en México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México pp. 20-25.
- Felker, P. (1981). Uses of tree legumes in semiarid regions. New York Botanical Garden.
- Flores, F. (1992). Atributos ecológicos y aprovechamientos del mezquite. Investigación y ciencia 30 p.
- García, R.J., Herrera, J.G & León, R.I. (2010). Métodos de escarificación aplicados a cuatro especies forestales, nativas de la región huasteca. **In:** Memoria de la V reunión nacional de innovación forestal. Veracruz, Ver.

- Garzón, M.G., Montenegro, R.E., & López, B.F. (2005). Uso de aserrín y acículas como sustrato de germinación y crecimiento de *Quercus humboldtii* (Roble). Universidad Francisco José de Caldas, Colombia 33 p.
- Golubov, J., Mandujano, M., & Eguiarte, L. (2001). The paradox of mezquites (*Prosopis spp*): invading species of biodiversity enhancers. Bol. Soc. Bot. Mex, 28 p.
- Gómez, L., Signoret, J., & Abuin, M. (1970). Mezquites y huizaches, algunos aspectos de la economía, ecología y taxonomía de los géneros *Prosopis* y *Acacia* en México. Instituto Mexicano de los Recursos Naturales Renovables, A.C 192 p.
- Greenwood, C., & Morey, P. (1979). Gummosis in honey mezquite. Bot. Baz, 141.
- Hartman, H., & Kester, D. (1971). Propagación de plantas, principios y prácticas. México 809 p.
- Hartmann H., & Kester, D. (1988). Propagación de plantas. México: Continental 760 p.
- Havis, J.R & Hamilton, W.W. (1976). Physical properties of containers media. Journal of Arboriculture 12 p.
- Herrera, Q., Alizaga, R., & Guevara, V. (2006). Germinación y crecimiento de la planta. Costa Rica: UCR 20-30 p.
- Hodgson, J. (1987). Muestreo y descripción de suelos. Barcelona, España: Oxford University 57 p.
- INE (Instituto Nacional de Ecología). (1994). Mezquite *Prosopis spp*. Cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. México: Instituto Nacional de Ecología 30 p.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (5 de Enero de 2009).  
Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos  
Mexicanos. Obtenido de INEGI: [ww.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)
- Jann, R., & Amen, R. (1977). What is the germination? Amsterdam: Khan.
- Killian, S., Paz, I. & Rigotti, J. (2002). Efecto de la presión parcial de oxígeno sobre la  
germinación y emergencia de semillas de melón *Cucumis melo* (L) y Rabanito  
*Raphanus sativus* (L). 2° Congreso de Ambiente y Calidad de Vida. Congreso  
Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida 65 p.
- Landis D., Tinus W., MacDonald E., Barnett P. 1990. The container Tree Nursery  
Manual. Department of Agriculture, Forest Service, Washington D.C, U.S. 2:  
41-89.
- Landis, T., Tinus, R., MacDonald, S., Barnett, J., Nisley, R., Rodríguez, D., & Sánchez,  
R. (2004). Manual: Planeación, establecimiento y manejo del vivero.  
Departamento de Agricultura de los Estados Unidos 192.
- Ledesma, G.G.P. (2010). Evaluación de tres tratamientos pre-germinativos con cuatro  
tipos de sustratos para la propagación de Pumamaqui (*Oreopanax ecuadorensis*  
kunt) Tesis Profesional. Facultad de Recursos Naturales. Escuela Superior de  
Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador 102 p.
- López, F., Goycoolea, F., Valdez, M., & De la Barca, A. (2006). Goma de mezquite: una  
alternativa de uso industrial. Ciencia y tecnología, 189 p.
- López, R. (2005). Eco fisiología de árboles. México: Universidad Autónoma Chapingo  
484 p.

- Mateo S., J.J. (2002). Potencial del aserrín como alimento para rumiantes y sustrato para plantas. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México 92 p.
- Mejía, J. (2007). Producción de *Pinus patula* Schl. et Cham. en sustratos a base de aserrín crudo y dosis de fertilización. Tesis Profesional, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo 98 p.
- Meza, S., & Osuna, L. (2003). Estudio dasométrico del mezquite en la zona de las pocitas, B.C.S. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental todos los santos., Centro de Investigación Regional del Noroeste, B.C.S 15 p.
- Mohedano, C. (1999). Micorrización y poda aérea en la calidad de planta de *Pinus cembroides* Zucc., Producida en vivero. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México 90 p.
- Montoya, J., & Cámara, M. (1996). La planta y el vivero forestal. Madrid, España: Mundi-prensa 127 p.
- Niembro, R.A. & Fierros, G.A.M. (1990). Factores ambientales que controlan la germinación de las semillas de pinos. **In:** Memoria Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales. Centro de Genética Forestal, A. C. Chapingo, México 124-144.
- OIRSA (Organismo Integrado de Información en Sanidad Agropecuaria). (2002). Producción de sustratos para viveros. Costa Rica 47 p.

- Osuna, E., & Meza, R. (2003). Alternativas para la explotación sostenible del mezquital de Baja California Sur. La Paz, B.C.S: INIFAP-CIRNO 33 p.
- Palacios, R. (2006). Los Mezquites Mexicanos: Biodiversidad y distribución. Bol. Soc. Argent. Bot, 41 p.
- Pastor, J. (2000). Utilización de sustratos en viveros. Terra 33 p.
- Penington, T., & Sarukhán, S. (2005). Árboles Tropicales de México. México: Universidad Nacional Autónoma de México 413 p.
- Pimentel, B. (2009). Producción de árboles y arbustos de uso múltiple. Colegio de Postgraduados. México: Limusa 160 p.
- Prichet, W. (1991). Suelos forestales. México: Limusa 20 p.
- Prieto, J., & Sánchez, A. (1991). Guía básica de la reforestación. México: SARH-UACH 69 p.
- Prieto, J.A., Mejía, J.M., Madrid, R.E., García, J.L. (2013a). Evaluación de fechas de siembra en la producción de *Prosopis laevigata* en vivero. Reunión Nacional de Innovación Forestal, Veracruz, Veracruz 140 p.
- Prieto, J.A., Mejía, J.M., Madrid, R.E., García, J.L. (2013b). Producción de *Prosopis laevigata* en diferentes mezclas de sustrato en vivero. **In:** Memoria VIII Reunión Nacional de Innovación Forestal, Veracruz, Ver. 140 p.
- Puustjarvi, V., & Robertson. (1975). Physical and chemical properties. Peat in Horticulture. Academic Press, Londres 22 p.

- Reyes, F. (1998). Análisis de dos sistemas de producción de plántulas de tres especies de leguminosas en el matorral tamaulipeco, Linares, Nuevo León, México. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León 100 p.
- Reyes, R.J., Aldréte, A., Cetina, M., López, U.J. (2005). Producción de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en sustratos a base de aserrín. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México 90 p.
- Ríos, S., Trucios, C., Valenzuela, N., Sosa, P., & Rosales, S. (2011). Importancia de las poblaciones de mezquite en el norte-centro de México. Durango, México: CENID-RASPA 20 p.
- Rodríguez, R.L. (2010). Manual de prácticas de viveros forestales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Ingeniería Forestal, Pachuca, Hidalgo 51 p.
- Ruiz, T. (2011). Uso potencial de la vaina de mezquite para la alimentación de animales domésticos del Altiplano Potosino. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México 120 p.
- Rzedowski, J. (2005). Flora fanerogámica del valle de México (2 ed.). México: Instituto de Ecología 1406 p.
- Sánchez, C.T., Aldrete, A., Cetina A, V.M., López U, J. (2008). Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques* 14 (2): 41-49 p.
- Sosebee, R.E & Wan, C. (1987). Plant ecophysiology: a case study of honey mezquite. presented at the Symposium on Srub Ecophysiology and biotechnology 20 p.

- Toral, I.M. (1997). Concepto de calidad de plantas en viveros forestales. Documento técnico 1. Programa de desarrollo forestal integral de jalisco. SEDER. Fundacion chile, consejo agropecuario de jalisco. México 28 p.
- UNIATMOS (Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales). (28 de Enero de 2014). Centro de Ciencias de la Atmósfera. Obtenido de UNAM: <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>
- Villareal, G.R. (1981). Comportamiento de *Pinus arizonica* Engelm., en invernadero y vivero a la intemperie. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de enseñanza, investigación y servicio en bosques. Chapingo, México 95 p.
- Wenny, D.L., Liu, Y., Dumroese, R.K, Osborne, H.L. (1998). First year field growth of chemically root pruned containerized seedlings. *New Forest* 25 p.
- Zapata, N., Guerrero, F., & Polo, A. (2005). Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de sustratos de cultivo. *Agricultura Técnica* 56 p.