

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE DOS ESPECIES DE ARBUSTOS DEL  
SEMIDESIERTO EN DIVERSOS SUSTRATOS

POR:

JUAN PABLO GRIMALDO MARTÍNEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO FORESTAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAH., MEXICO

AGOSTO 1998

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE DOS ESPECIES DE ARBUSTOS DEL  
SEMIDESIERTO EN DIVERSOS SUSTRATOS

POR:

JUAN PABLO GRIMALDO MARTÍNEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO FORESTAL

APROBADA

ASESOR PRINCIPAL \_\_\_\_\_  
DR. MIGUEL ANGEL CAPÓ ARTEAGA

ASESOR \_\_\_\_\_  
M.C. SALVADOR VALENCIA MANZO

ASESOR \_\_\_\_\_  
M.C. LUIS MORALES QUIÑONES

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE AGRONOMIA

CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE DOS ESPECIES DE ARBUSTOS DEL  
SEMIDESIERTO EN DIVERSOS SUSTRATOS

TESIS:  
QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRONOMO FORESTAL

PRESENTA

JUAN PABLO GRIMALDO MARTÍNEZ

APROBADA

PRESIDENTE DEL JURADO

COORDINADOR DE LA  
DIVISION DE AGRONOMIA

---

DR. MIGUEL ANGUEL CAPÓ ARTEAGA

---

M.C. MARIANO FLORES DAVILA

## DEDICATORIA

A mi madre María del Pilar Martínez Carmona por darme siempre ánimos para salir adelante; MUCHAS GRACIAS.

A mi padre Vicente Grimaldo Loera por su apoyo moral y económico durante mi formación profesional.

A mi esposa Lorena y a mi pequeña hija Alondra Yaneth, quienes son mi aliento para superarme y salir adelante en la vida.

A mis hermanos Vicente Eduardo, José Eutimio, Miguel Angel, por brindarme su confianza y apoyo.

A mis tíos Paulino Martínez Carmona Y Vicenta Duarte por el apoyo moral y económico.

A todos mis familiares.

## AGRADECIMIENTOS.

A Dios, por haberme dejado llegar a ser y a lograr lo que me propuse. Gracias virgen de Guadalupe, por facilitarme el camino y darme la oportunidad de brindar a mis padres esta humilde satisfacción. Todos los sacrificios y buenos momentos de mi carrera, no hubieran sido posibles de asimilar sin tu ayuda y apoyo.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, especialmente al personal académico del Departamento Forestal que participó en mi formación profesional.

Al Dr. Miguel Angel Capó Arteaga, mi eterno agradecimiento por su ayuda y conocimientos. Invaluable apoyo en la realización de este trabajo. Gracias por ayudarme a lograr mi realización profesional. Gracias por su ejemplo de tenacidad en el trabajo.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo por sus valiosas sugerencias para el enriquecimiento del presente trabajo.

A todos mis compañeros y amigos que de alguna u otra forma contribuyeron a la realización del presente trabajo, en especial a Sergio, Rubén, Amparo, Aniceto, Héctor Darío, Mario y Carlos.

## INDICE DE CONTENIDO

	Página
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	v
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>I INTRODUCCION</b> .....	1
1.1 Objetivos .....	3
1.2 Hipótesis .....	3
<b>II REVISION DE LITERATURA</b> .....	4
2.1 Descripción del mimbre ( <i>Chilopsis linearis</i> ) .....	4
2.2 Descripción de la tronadora ( <i>Tecoma stans</i> ) .....	5
2.3 Conceptos generales de los hongos micorrízicos .....	6
2.3.1 Definición .....	6
2.3.2 Importancia económica .....	7
2.3.3 Utilización comercial de hongos micorrízicos .....	7
2.3.4 Beneficio de las micorrizas .....	8
2.3.5 Desarrollo de las micorrizas en el vivero .....	9

2.3.6 Clasificación de los hongo micorrízicos .....	10
2.3.7 Formación de los hongos micorrízicos .....	16
2.4 Factores que afectan el desarrollo de las micorrizas .....	17
2.4.1 Suelo .....	18
2.4.2 Intensidad de la luz .....	18
2.4.3 Temperatura .....	19
2.4.4 Fertilización .....	20
2.4.5 Fumigación .....	22
2.4.6 Medios de crecimiento .....	24
2.4.7 El estrés hídrico .....	29
2.5 Las micorrizas y la productividad de suelos áridos y semiáridos .....	32
<b>III MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>34</b>
3.1. Experimento N°1 .....	34
3.1.1 Diseño experimental .....	36
3.1.2 Variables .....	37
3.2 Experimento N°2 .....	38
3.2.1 Diseño experimental .....	39
3.2.2 Variables .....	39
3.3 Experimento N°3 .....	40
3.3.1 Diseño experimental .....	41
3.3.2 Variables .....	42

3.4 Experimento N°4 .....	43
3.4.1 Diseño experimental .....	44
3.4.2 Variables .....	44
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>45</b>
4.1 Experimento N°1 .....	45
4.1.1 Evaluación del porcentaje de germinación .....	45
4.1.2 Evaluación de la altura de las plantas .....	47
4.1.3 Observación de las estructuras de la endomicorriza (VA) .....	50
4.2 Experimento N°2 .....	52
4.2.1 Evaluación del crecimiento en altura .....	51
4.2.2 Observación de las estructuras de la endomicorriza (VA) .....	54
4.3 Experimento N°3 .....	55
4.3.1 Evaluación del crecimiento en altura .....	55
4.4 Experimento N°4 .....	55
4.4.1 Respuesta de las plantas a la disponibilidad de agua	
en el suelo .....	55
4.4.1.1 Crecimiento en altura .....	55
4.4.1.2 Crecimiento en diámetro .....	60
4.4.2 Respuesta de las plantas después del estrés hídrico .....	61
4.4.2.1 Crecimiento en altura .....	61
4.4.2.2 Crecimiento en diámetro .....	63
<b>V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>74</b>
<b>VI LITERATURA CITADA .....</b>	<b>76</b>

<b>VII ANEXOS .....</b>	<b>76</b>
<b>VIII APENDICE .....</b>	<b>80</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro.	Página
1 por ciento de germinación del mimbre ( <i>Chilopsis linearis</i> ) y la tronadora ( <i>Tecoma stans</i> ) a diferentes días .....	81
2 Altura (cm) de el mimbre ( <i>Chilopsis linearis</i> ) y la tronadora ( <i>Tecoma stans</i> ) en los seis sustratos diferentes .....	82
2 Crecimiento en altura (cm) de el mimbre y la tronadora en cinco sustratos esteriles y uno con endomicorriza (VA).....	83
3 Altura (cm) de las plantas después de someterlas a estrés hídrico, inoculados con <i>Glomus intraradix</i> y las provenientes de los cuatro sustratos estériles .....	84
4 Diámetro (mm) de las plantas después de someterlas a estrés hídrico, inoculadas con <i>Glomus intraradix</i> y las provenientes de los cuatro sustratos estériles .....	85
5 Altura (cm) de las plantas con buena humedad del suelo, inoculadas con <i>Glomus intraradix</i> y las provenientes de los cuatro sustratos estériles .....	86
6 Diámetro (mm) de las plantas con buena humedad del suelo, inoculadas con <i>Glomus intraradix</i> y las provenientes de los cuatro sustratos estériles .....	87

## INDICE DE FIGURAS

Figura.	Página
1 Por ciento de germinación del mimbre ( <i>Chilopsis linearis</i> ) y la tronadora ( <i>Tecoma stans</i> ), (a) 9 días, (b) 15 días (c)39 días .....	46
2 a) Medias de alturas de las plantas que crecieron en las mezclas de los sustratos con agrupación Tukey, experimento N° 1 .....	48
3 a) Medias de alturas de las plantas que crecieron en las mezclas de los sustratos con agrupación Tukey, experimento N° 2 .....	52
4 Altura (cm) de el mimbre ( <i>Chilopsis linearis</i> ) y la tronadora ( <i>Tecoma stans</i> ) .....	54
5 Altura (cm) de el mimbre ( <i>Chilopsis linearis</i> ) y la tronadora ( <i>Tecoma stans</i> ) después de someterse 15 días a estrés hídrico; b) medias de las alturas de las plantas que crecieron en sustratos con agrupaciónTukey, experimento N° 4.....	57
6 Altura de el mimbre ( <i>Chilopsis linearis</i> ) y la tronadora ( <i>Tecoma stans</i> ) después de someterse 15 días a estrés hídrico .....	58
7 Altura de el mimbre ( <i>Chilopsis linearis</i> ) y la tronadora ( <i>Tecoma stans</i> ), provenientes de cinco sustratos estériles y las inoculadas con <i>Glomus intraradix</i> .....	59
8 a) Medias de las alturas de las plantas que crecieron en las mezclas de los sustratos con agrupación Tukey. Después de un tratamiento de estrés hídrico, experimento N° 4 .....	62
9 a) Diámetro (mm) de el mimbre y la tronadora con buena humedad del suelo; b) medias de los diámetros de las plantas que crecieron en las mezclas de los sustratos con agrapación Tukey, experimento N° 4 .....	64
10 Diámetros del mimbre y la tronadora con buena humedad de suelo .....	65

## RESUMEN

Se evaluó el crecimiento en altura y diámetro de el mimbre (*Chilopsis linearis*) y la tronadora (*Tecoma stans*) en diferentes mezclas de sustratos, así como también se observaron las estructuras de hongos micorrízicos.

En el primer experimento no se mostraron diferencias significativas con respecto al porcentaje de germinación de las semillas de ambas especies, pero existieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las especies. Las plantas presentaron un mejor crecimiento en altura en las mezclas de los sustratos Pro-Mix BX, vermiculita, perlita (2:1:1), en la mezcla de sustrato con endomicorrizas y en la mezcla de sustrato germinaza, vermiculita, perlita (2:1:1).

En el segundo experimento las plantas presentaron un mejor crecimiento en altura en la mezcla de sustrato Pro-Mix BX, vermiculita, perlita (2:1:1).

En el tercer experimento realizado en una cama semillera no se mostraron diferencias en cuanto al crecimiento en altura de las plantas inoculadas con el sustrato con endomicorrizas y sin inocular.

En el cuarto experimento se transplantaron las plantas del segundo experimento en bolsas de polietileno negras, las cuales se sometieron a un estrés hídrico y a la disponibilidad de agua en el suelo, las plantas provenientes de las mezclas de los sustratos Pro-Mix BX, vermiculita, perlita, en la mezcla de sustrato con endomicorrizas y en la mezcla de sustrato germinaza, vermiculita, perlita (2:1:1).

## I INTRODUCCION

Las técnicas culturales utilizadas en la producción vegetal han experimentado rápidos y notables cambios durante las últimas tres décadas, tales como en diseño de invernaderos, riego automatizado, etc; unido a estos rápidos cambios tecnológicos se ha producido una notable sustitución del cultivo tradicional en el suelo por el uso de otros soportes o sustratos, más o menos inertes (Ballester, 1993).

Sin embargo este tipo de sustratos artificiales son comúnmente esterilizados para eliminar patógenos y algunas plagas, pero también eliminan el hongo micorrízico que es benéfico para el desarrollo de las plantas, las cuales pueden crecer perfectamente bien bajo condiciones del invernadero, donde les suministran grandes cantidades de agua y fertilizantes, aún sin ese hongo simbiote. No obstante, la ausencia de el hongo micorrízico en plántulas provoca o causa un inadecuado desarrollo y/o mortandad de gran número de individuos en plantaciones forestales, por lo que muchos viveristas utilizan tierra de monte para introducir el inóculo de algunos hongos micorrízicos, pero además de las consecuencias ecológicas y costos de movimientos de grandes volúmenes de suelo, existen riesgos de introducir hongos patógenos (Reséndiz *et al.*, 1992)

En la actualidad existen inóculos comerciales de hongos micorrízicos, que se aplican al suelo o al sustrato artificial, también existen sustratos artificiales los cuales contienen hongos micorrízicos ya sea en forma de esporas o micelio, los que proveen a la planta del hongo para que se forme la micorriza al ser sembradas o transplantadas.

En el semidesierto existen muchas plantas que son útiles para diferentes fines como es el caso de los arbustos de mimbre (*Chilopsis linearis*) y la tronadora (*Tecoma stans*), ya que la utilización de estas especies en plantaciones, podría reducir la erosión del suelo, además de embellecer el área con las flores y obtener madera para la fabricación de cabos para herramientas, para combustible, para postería, así como para uso medicinal.

Pocas especies del semidesierto se utilizan para plantaciones con fines ecológicos en zonas áridas y semiáridas. Es importante contemplar la riqueza florística de estas zonas y fomentar el uso de ellas, ya que es una fuente de germoplasma para generaciones futuras.

Es por lo tanto, justificado un estudio sobre la influencia que ciertos inóculos micorrízicos comerciales pudieran tener en el desarrollo y la sobrevivencia de estos arbustos del semidesierto.

## 1.1 Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son:

- a) Evaluar la germinación y crecimiento de plántulas de dos especies arbustivas en distintos sustratos.
- b) Evaluar las diferencias en incremento en altura de las dos especies en los distintos sustratos.
- c) Observar la infección micorrízica, en las plantas que crecieron en el sustrato micorrizado.
- d) Evaluar el crecimiento y desarrollo de plantas micorrizadas y no micorrizadas al ser transplantadas a un suelo con déficit hídrico.

## 1.2 Hipótesis

Las hipótesis nulas consideradas son:

- a)  $H_0$ : Las plantas de las dos especies presentan la misma germinación, sobrevivencia y crecimiento en todos los sustratos.

b) Ho: Las plantas inoculadas y sin inocular presentan el mismo crecimiento bajo un estrés hídrico.

## II REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Descripción del mimbre (*Chilopsis linearis*)

Niembro (1988) señala la clasificación del mimbre como sigue:

Nombre botánico: *Chilopsis linearis* (av) Sweet

Sinonimia: *Bignonia linearis* (av). *Chilopsis saligna*, D. Don.

Familia: Bignoniaceae

Nombre común: mimbre.

El mimbre es una especie de árbol pequeño o arbusto, algunas veces con 9 metros de altura, con un tronco de 30 centímetros de diámetro, el tronco corto, la corteza delgada, irregularmente rígida, escamosa; hojas opuestas y alternas, lineales, de 10 a 30 cm de longitud, pubescentes o glabras; flores de tono morado o blancas, terminan en racimos o panículas; cáliz bilateral; corola de 2.5 a 3.5 cm de longitud algunas veces bilateral, 5 lobulos; 4 estambres; fruto lineal, de 10 a 30 cm de longitud, aproximadamente de 6 mm de ancho, suave; la semilla esta cubierta de pelos; madera suave, blanda, de grano cerrado, castaño; el peso específico de la madera es de aproximadamente 0.59 (Standley, 1923).

En México la especie se distribuye en Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, y Zacatecas (Niembro, 1988). En los Estados Unidos se encuentra en el Oeste de Texas y Sur de California (Standley, 1923); crece a lo largo de ríos y arroyos (Niembro, 1988; Standley, 1923).

El principal uso que se le da a esta especie es como planta de sombra y ornato en patios, avenidas, parques y jardines, por la belleza de sus flores de color morado; en algunos lugares se utiliza para controlar la erosión; la madera se emplea localmente para leña y carbón, postes y mangos para herramientas; la infusión que se obtiene del cocimiento de las flores se utiliza en medicina casera como estimulante del corazón (Niembro, 1988).

## 2.2 Descripción de la tronadora (*Tecoma stans*)

Niembro (1988) señala la clasificación de la tronadora como sigue:

Nombre botánico: *Tecoma stans*. (L.) Juss. ex H.B.K

Sinonimia: *Bignonia stans*. L.

Familia: Bignoniaceae.

Nombre común: Tronadora, trompeta, trompetilla, retama, palo de arco.

La tronadora es una especie de arbusto o árbol pequeño, de 1 a 8 metros de altura; hojas opuestas pinadas, distribuidas de 5 a 13, lineales-lanceoladas, ovalada lanceoladas o elípticas, borde agudo o acuminado, serrado, rara vez entero,

frecuentemente pubescentes; flores de color amarillo, que terminan en racimos o panículas; cáliz tubular campanulado, corola rara vez bilabiada, 5 lóbulos; 4 estambres; el fruto es una cápsula lineal, de 10 a 20 cm de longitud, ancho aproximadamente de 6 mm, locularmente dehiscente, comprimido, semillas aladas (Standley, 1923).

La especie se distribuye en Tamaulipas, Veracruz, Yucatán, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Sonora, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Durango, México, Hidalgo y Morelos; forma parte del bosque tropical caducifolio. (Niembro, 1988)

El principal uso que se le da es como planta de sombra y ornato en patios, parques y jardines por la belleza de sus flores de color amarillo; la madera se utiliza localmente como leña, en construcciones rurales, para artículos torneados y carpintería (Niembro, 1988); en la india la madera se usa para la fabricación de armas (Standley, 1923).

La infusión que se obtiene del cocimiento de la raíz se utiliza en la medicina casera como diurético, tónico, vermífugo y antisifilítico, la que se obtiene del cocimiento de las flores se usa como remedio para la diabetes (Niembro, 1988).

## 2.3. Conceptos generales de hongos micorrízicos

### 2.3.1. Definición

El término micorriza (plural micorrizas) es derivado de dos palabras griegas, mycos que significa hongo, y rhizome, que significa raíz, y es aplicada a las estructuras resultantes de la asociación del micelio del hongo con las raíces de las plantas (French, 1988).

Las micorrizas son descritas principalmente por Theodore Harting en las plantas coníferas, pero él no investigó sus funciones, Frank y German, publicaron en 1885 los resultados sobre la relación micorrízica para el crecimiento de árboles y el crecimiento de los hongos en los bosques y propusieron el término micorriza (French, 1988).

### 2.3.2 Importancia económica

El fracaso de plantaciones de coníferas en diferentes países, como Puerto Rico, Filipinas, Java y algunos sitios de los Estados Unidos, ha sido atribuido a la ausencia de hongos micorrízicos; la introducción de humus de los bosques o de cultivos puros de hongos micorrízicos aumenta la posibilidad de éxito en la sobrevivencia y crecimiento de los árboles en esas áreas; en Florida, la siembra directa de coníferas para la recuperación de las tierras pantanosas tiene éxito siempre que se apliquen hongos micorrízicos con las semillas; muchas semillas

comerciales para el crecimiento de orquídeas, requieren de una buena germinación y ésta se presenta sólo cuando el hongo micorrízico apropiado está presente, o cuando ciertos abonos orgánicos suplementarios son añadidos en el suelo (French,1988).

### 2.3.3 Utilización comercial de los hongos micorrízicos

La gran mayoría de las plantas requieren de una simbiosis con hongos micorrízicos para llevar a cabo su crecimiento y desarrollo en suelos pobres en nutrientes; la presencia natural de la micorriza en los suelos, muchas veces desplaza el uso de la inoculación con un hongo micorrízico producido en laboratorio con fines comerciales; los hongos micorrízicos económicamente factibles pueden agruparse en tres grandes áreas: agrícolas (en sitios perturbados), en suelos fumigados, en invernaderos o como sustitutos de fertilizantes (Menje, 1983).

### 2.3.4 Beneficios de las micorrizas

Davey y Shenck (1990) citan los siguientes beneficios de las micorrizas:

- a.- Aumentan la capacidad de las plantas para captar nutrientes móviles o inmóviles.
- b.- Incrementa la absorción de agua y facilitan el movimiento de iones en el suelo seco.

- c.- Contrarrestan las toxicidades causadas por el intercambio de aluminio, por el medio ácido, salino y por metales pesados.
- d.- Contienen una mayor tolerancia a altas temperaturas.
- e.- Mejoran la agregación del suelo y por lo tanto protege, de la erosión causada por el viento y el agua.
- f.- Optimiza la conservación de nutrimentos en el ecosistema a través del reciclaje de nutrientes que se vuelven asimilables.
- g.- Protegen a la raíz a enfermedades a través de antibiosis, barrera física para la penetración de patógenos del tejido huésped, mejora la nutrición del árbol que puede rápidamente compensar por la baja alimentación de las raíces, y evitan la infección a través de un aumento de la suberización de raíces finas.

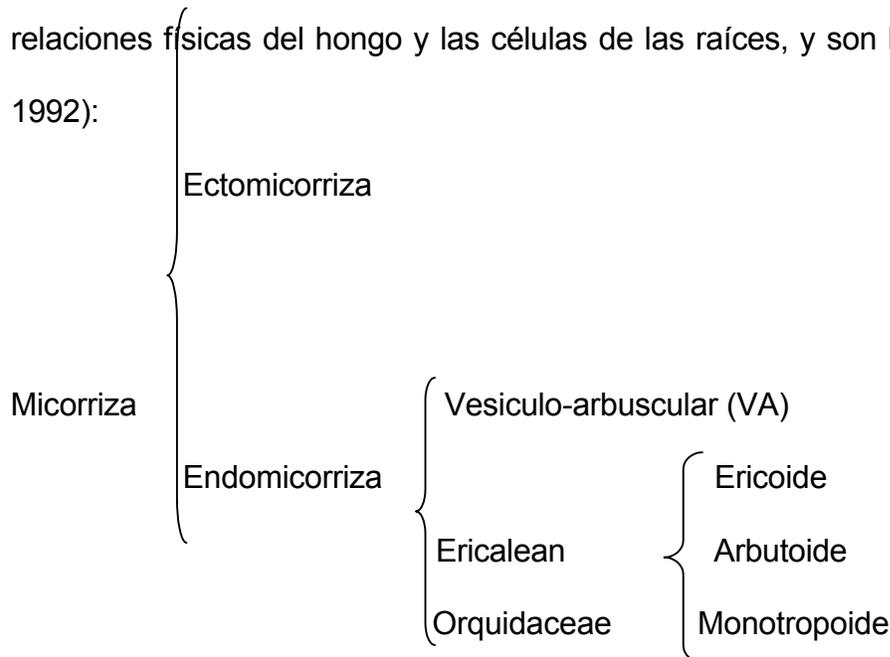
### 2.3.5 Desarrollo de las micorrizas en los viveros

Si bien las plantas silvestres llegan a ser inoculadas con hongos micorrízicos poco después de que germinan, la práctica de inoculación en los viveros es poco utilizada, o eliminada por las prácticas culturales; sin embargo, ocurre una variación considerable en la presencia de las ectomicorrizas y micorrizas vesículo-arbuscular, cuando las plantas se cultivan a raíz desnuda o en contenedores de viveros; al fumigarse los suelos se eliminan todas las especies de hongos y así la colonización micorrízica es retrasada; la inoculación ocurre más rápido con los hongos ectomicorrízicos; muchos suelos fumigados llegan a ser recolonizados al final de la primera estación de crecimiento; la propagación de esporas llevadas por el aire pueden lentamente invadir el suelo esterilizado por el crecimiento del micelio o por

transferir el suelo colonizado; la colonización por el hongo micorrízico vesículo-arbuscular puede tomar meses o aún años para que éste se establezca completamente en el semillero; la colonización micorrízica es más deficiente en viveros con contenedores a causa del medio artificial donde crecen, son esencialmente estériles y los contenedores son esterilizados antes de iniciar la producción de plantas; las plántulas en contenedores crecen perfectamente normales sin micorriza a causa que todos o varios factores que limitan el crecimiento son suministrados por prácticas culturales (Landis, 1993). Sin embargo la ausencia de los hongos micorrízicos en plántulas de vivero, propicia el desarrollo inadecuado y/o mortandad de gran número de individuos en las plantaciones forestales (Reséndiz *et al.*, 1992)

### 2.2.6 Clasificación de los hongos micorrízicos

Las micorrizas son clasificadas en dos grandes tipos basados en las relaciones físicas del hongo y las células de las raíces, y son las siguientes (Isaac, 1992):



Ectomicorrizas: este tipo de hongos micorrízicos son más comunes en comunidades de baja diversidad (Torrey, 1992); en árboles forestales de regiones templadas especialmente en las familias pinaceae (pinos), betulaceae (abedules), fagaceae (hayas, robles, castaños), y las juglandaceae (nogales) (Brady, 1974).

Los hongos que forman ectomicorrizas son especies de Agaricales (Boletaceae, Tricholomataceae, Amanitaceae, Cortinariaceae, Paxillaceae, Gomphidiaceae), Gastromycetes; Phycomycetes y ocasionalmente Deuteromycotina, Ascomycotina. Muchas especies de hongos son específicas para ciertas especies de árboles, *Suillus grevillei* y *Suillus cavipes* aparentemente forman micorrizas en 14 especies de pinos y *Thelephora terrestris* en 21 especies, *Cenococcum graniforme* es quizás el hongo micorrízico más prolífico en las plantas; en los pinos del Sur de los Estados Unidos *Laccaria laccata*, *Cenococcum graniforme*, *Suillus brevipes* y *Lecopaxillus ceralis var piceina* forman micorrizas, en los pinos de Virginia; especies de *Amanita*, *Boletus*, *Paxillus*, *Russula* y *Rhizopogon* forman micorrizas; muchos tipos de estos hongos pueden formar micorrizas sobre algunos árboles y tantos como siete diferentes hongos pueden ser encontrados sobre las raíces de una planta de pino (French, 1988).

Endomicorrizas: este grupo de asociación es muy diverso en estructuras; en todos los casos las hifas de los hongos penetran dentro de las células corticales de las raíces de la planta huésped y forman una íntima relación mutua; la red de Harting puede o no estar presente (French, 1988).

Vesículo-arbuscular: (micorrizas endotróficas; formadas por hongos con hifas no septadas), este tipo de micorrizas es generalmente llamado vesicular-arbuscular o endomicorriza (VAM) (French, 1988).

Esta simbiosis de hongos produce esporas grandes ovoides y globosas, las esporas son agrupadas en esporocarpos. Están presentes en el suelo o en las raíces de las plantas, estos esporocarpos o esporas viven en la hojarasca o en el suelo mineral, ocasionalmente son llevadas por el aire durante una tormenta de polvo en las regiones semiáridas, este hongo es comúnmente extendido por el crecimiento de las raíces secundarias, y con el tiempo, son diseminados por el movimiento de agua, suelo, insectos y animales (Ruehle y Marx, 1979).

Este tipo de simbiosis comprende hongos que forman mucho más íntima la asociación intercelular con las raíces de la planta huésped que las ectomicorrizas, los filamentos de las hifas entran en las células de las raíces hospederas por la epidermis o por los pelos de la raíz, penetran dentro de las células corticales de las raíces y allí proliferan sin distinguirse, causan un evidente cambio en la morfología externa en el sistema radicular; el diagnóstico de la presencia de esta asociación, usualmente implica un clareo y tinción de las raíces para demostrar la presencia del hongo (Torrey, 1992). Bajo un microscopio, las micorrizas VA son diagnosticadas por la presencia de vesículas (estructuras esféricas al final que contiene gotas de aceite) y arbuscula (estructuras complementarias formadas por ramas de hifas dicotómicas) (Ruehle y Marx, 1979).

Las hifas externas se extienden varios centímetros más allá de las raíces y facilitan el suministro de elementos inorgánicos especialmente el fósforo, la esporulación externa ocurre con la formación muy grande de esporas muy grandes (aproximadamente 80 micras)(Torrey, 1992).

La asociación micorrízica vesículo-arbuscular es la más extensa en el reino de las plantas, comúnmente se encuentran en las bryophytas (musgos), pteridophytas (helechos) y son encontrados en las angiospermas de casi todas las familias, con las gimnospermas excepto en las pináceas; se encuentran desde los trópicos hasta las regiones árticas del mundo, frecuentemente en comunidades de alta diversidad de especies (Torrey, 1992).

Los hongos involucrados en la asociación micorrízica vesículo-arbuscular son de la familia endogonaceae (zygomycotina, del orden mucorales), estos hongos están presentes en cuatro géneros, *Acaulospora*, *Gigaspora* y *Sclerocystis*; la clasificación de estos hongos se realiza por medio de las características morfológicas de las esporas; no es posible la identificación de los hongos dentro del tejido huésped ya que la morfología de sus partes puede cambiar con la asociación; las Zygosporas y Chlamydoesporas son muy grandes (arriba de 800  $\mu\text{m}$  de diámetro) (Isaac, 1992). Estas pueden o no producir un esporocarpo sobre las raíces superficiales o libremente en el suelo, estas esporas generalmente funcionan en el invierno, los propágulos son la fuente de inóculo de la siguiente temporada de crecimiento (French, 1988).

Ericalean: hay tres tipos de micorrizas de el orden ericales (ericoide, arbutoide, monotropoide); las plantas que están involucradas en esta asociación son arbustos leñosos o pequeños árboles que frecuentemente crecen sobre suelos ácidos o en suelos pobres en nutrientes. Aunque hay similitudes entre las formas de estas asociaciones pero son variables (Isaac, 1992).

Ericoide: las micorrizas tipo ericoide se encuentran sobre plantas pertenecientes a las ericoideae (erica, calluna), rhododendroideae (rhodendron), vaccinioideae (vaccinium), además en las familias Epachridaceae y Empetraceae; estas plantas son pequeños arbustos y árboles que crecen sobre turba, o en suelos ácidos; las raíces de estas plantas son extremadamente finas y morfológicamente simples; el pequeño cilindro central del tallo es rodeado por pocas capas de células corticales (1-3 células gruesas); estas raíces no tienen una epidermis y no forman pelos radicales; la infección micorrízica sólo se presenta en células corticales y las hifas de los hongos nunca penetran dentro del cilindro central del tallo (Isaac, 1992).

Monotropoide: las micorrizas tipo monotropoide son formas especializadas que difieren de las otras micorrizas; la familia monotropaceae incluye plantas herbáceas que carecen de clorofila las que son totalmente dependientes de estos hongos micorrízicos para el suministro de carbohidratos lo cual ayuda al crecimiento; las raíces de *Monotropa hypopitys* forman una raíz en forma en una forma de bola que es colonizada por el micelio del hongo; durante el crecimiento de la raíz se produce el hongo y la red de Harting; adicionalmente el contacto cerrado

con las células corticales es logrado por el hongo, el hongo puede proveer a la planta huésped importantes nutrientes lo que coincide con el máximo desarrollo de la planta (Isaac, 1992).

Orquidaceae: este tipo de micorrizas incluyen miles de especies que se distribuyen mundialmente y que exhiben una gran variedad de formas; todas las orquídeas están micorrizadas y forman asociaciones con el hongo en la etapa temprana de su desarrollo; las semillas son muy pequeñas frecuentemente con pocas células, que están extremadamente limitadas de nutrientes de reserva; es importante para continuar el desarrollo de los embriones que la formación micorrízica se forme rápidamente después de la germinación; los hongos implicados son miembros de la basidiomycotina, frecuentemente del género *Rhizoctonia* (Isaac, 1992)

Hay algunos autores como (French, (1988) y Pritchett, (1990) mencionan que existe un tercer tipo de micorriza, que a continuación se describe:

Ecto-endomicorrizas: (micorrizas ectendotrópicas), las ecto-endomicorrizas son intermedias entre los tipos anteriores, son caracterizadas por tener hifas intercelulares en las células corticales y en la red de Harting, el manto de hongos puede o no estar presente; este tipo de micorrizas es considerado relativamente raro, aunque las ecto-endomicorrizas son comunes en los viveros de plántulas de pino en Finlandia y otros estados; en los Estados Unidos las ecto-endomicorrizas son reportadas en pino ponderosa y pino rojo; este tipo de micorrizas también

puede ser encontrado en especies de los géneros *Pinus*, *Larix*, *Abies*, *Picea*, además de varias especies de latifoliadas; los hongos de las ecto-endomicorrizas son especies de Agaricales (Basidiomycotina) y Deuteromycotina.

Por otro lado Castellano *et al.*, (1989) hace la siguiente clasificación de los hongos micorrízicos.

TIPO DE MICORRIZA ... REPRESENTATIVO	CLASE	GENERO
Ectomicorriza	Basidiomycotina	Boletus, Sulluis, Leccinum Cortinarius, Trichiloma, Russula, Rhizopogon, Amanita, Hymenogaster, Gautieria, Hysterangium, Lactarius, Paxillus, Gastroboletus, Martellia, Scleroderma.
	Ascomycotina	Tuber, Genea, Elaphomyces, Tydrotrya, Geopora, Balsamia, Spherosporella, Cenococcum.
	Zygomycotina	Endogone.
Ecto-endomocorrizas	Ascomycotina	Phialophora, Chloridium, "E-strain".
Endomicorriza (VA)	Zygomycotina	Acaulospora, Endogone Entrophospora, Gigaspora, Géneros, Sclerocyttis, Scutellospora.

### 2.2.7 Formación de los hongos micorrízicos

Existen diferencias en cuanto a la formación de los hongos micorrízicos, las cuales se describen a continuación:

Ectomicorrizas: La infección del huésped por los hongos ectomicorrizicos surge cuando comienza el crecimiento de los árboles, el inóculo consiste en micorrizas activas, esporas y el resto de estructuras del hongo micorrízico; las raíces grandes son infestadas primero y las raíces pequeñas son infestadas después de presentar corteza, las raíces pueden cambiar por las características de raíces micorrizadas ya una vez que comienza la invasión por el hongo; el número de pequeñas raíces es aproximadamente el doble sobre las plantas infestadas comparándolas con las plantas sin infección y la presencia del hongo retrasa el aborto o pérdida de pequeñas raíces, la cantidad de raíces micorrizadas se deben relativamente a deficiencias de nitrógeno, fósforo y posiblemente potasio; si las plántulas de pino tienen buen suministro de nutrientes pocas micorrizas se desarrollarían, por eso las plantas en un suelo fértil normalmente tiene pocas micorrizas comparadas con suelos infértiles (French, 1988).

Endomicorriza vesículo-arbuscular: en este tipo de hongos micorrízicos, las hifas penetran la raíz joven por la epidermis detrás de la región meristemática o por los pelos radicales, la entrada es usualmente vía directa; las hifas colonizadas de la corteza de la raíz no hacen la penetración de la endodermis, raíces vasculares o regiones meristemáticas; las hifas pueden ser intra o intercelulares pero en la última

instancia, el desarrollo no es tan extensivo como las hifas intercelulares en ectomicorrizas (French, 1988).

#### 2.4 Factores que afectan el desarrollo de las micorrizas

Los hongos micorrízicos son sensibles a varios factores del medio ambiente, y a muchas prácticas culturales en el vivero (Landis, 1993).

##### 2.4.1 Suelo

Las características físicas y químicas del suelo o medio de crecimiento son importantes para formación de micorrizas, muchos hongos micorrízicos prefieren un medio ligeramente ácido con alto porcentaje de materia orgánica; la porosidad afecta a las micorrizas directamente e indirectamente; el suelo con buen drenaje del medio de crecimiento promueve de buenas raíces fibrosas y provee más oxígeno para las raíces y los hongos (Landis, 1993), aparentemente, todos los hongos micorrízicos son aerobios estrictos, y se supone que el crecimiento de los micelios disminuye con menores concentraciones de oxígeno (Pritchett, 1990).

Los efectos de la fauna del suelo sobre la actividad de la micorriza vesículo-arbuscular no deben de ser ignorados: algunos colembolos y posiblemente nemátodos pueden alimentarse de muchos de los micelios en el suelo adjunto con las raíces y eso reduce la actividad de las micorrizas (Hayman, 1982).

##### 2.4.2 Intensidad de la luz

La elevada intensidad de luz y la fertilidad del suelo de baja a moderada estimulan el desarrollo de las micorrizas, en tanto que las condiciones opuestas pueden reducir o incluso impedir dicho desarrollo; estos factores pueden influir en la condición bioquímica de la raíz controlando el nivel de los azúcares reductores y pueden afectar la formación de las raíces; la baja intensidad de luz, que suprime el crecimiento de las yemas, redonda en una cantidad baja de carbohidratos solubles en las raíces y una supresión similar de la formación micorrízica (Pritchett, 1990).

#### 2.4.3 Temperatura

La temperatura puede tener un efecto profundo sobre el crecimiento de ciertas micorrizas, las temperaturas óptimas para el crecimiento de los micelios se hallan entre los 18 y 27<sup>0</sup>C para la mayoría de las especies (Pritchett, 1990).

Las altas temperaturas del suelo pueden afectar el crecimiento de las raíces y la sobrevivencia y la infección de las raíces por microorganismos incluyendo el hongo micorrízico (Haugen y Smith 1992).

Grey (1991) realizó un experimento con las plantas de cebada, las cuales se inocularon con dos mezclas de hongos endomicorrízicos vesículo-arbuscular, bajo tres temperaturas distintas; las conclusiones fueron que la temperatura tiene un efecto sobre la infección inicial. Las micorrizas se desarrollaron con un rango de temperaturas de 11 a 26<sup>0</sup>C, una gran proporción se desarrollaron con temperaturas

altas. Los hongos de VAM de montaña principalmente con géneros *macrocarpus* fueron más tolerantes a suelos frescos con temperaturas de 11 a 14<sup>0</sup>C. Los hongos de Syria, principalmente *Glomus hoi*, fueron más tolerantes a suelos calientes.

#### 2.4.4 Fertilización

Este es probablemente el factor más crítico por que el desarrollo de los hongos micorrízicos se manifiesta más en suelos o medios con relativamente baja fertilida; muchos hongos micorrízicos son inhibidos por los altos índices de fertilización comúnmente usados en el vivero, especialmente nitrógeno y fósforo (Landis, 1993).

Teóricamente, el más eficiente nivel de fertilizante para la planta es aquel cuyo nivel suministrado de concentraciones de elementos minerales en el tejido es justo por encima de "concentraciones críticas" necesarias para un óptimo crecimiento; al añadir más fertilizante, éste puede consumirse, pero es consumo de "lujo"; muchas plantas sin micorriza son incapaces de absorber cantidades adecuadas de fósforo, zinc, y cobre y quizás otros nutrientes del suelo agrícola normal; los hongos micorrízicos pueden mejorar la absorción significativa de nutrientes, e incrementar la concentración de elementos por arriba de la "concentración crítica" en los tejidos de las plantas sin micorriza, que requieren la adición de fertilizante; actualmente el costo por el inóculo de micorrizas por hectárea es similar por el fertilizante de fósforo (Menje, 1983).

Bolgiano *et al.* (1983) observaron el efecto de 4 niveles de fertilización de fósforo en cebolla con y sin inóculo micorrízico de *Glomus etunicatus*; ellos encontraron que la colonización micorrízica fue relativamente nula con el bajo nivel de fósforo suministrado el inóculo de *Glomus etunicatus* incrementó significativamente la colonización con los niveles de fósforo de (30, 97 y 193 kg/ha). La adición del inóculo incrementó significativamente el peso de la planta con 30 kg/ha de fósforo después de tres meses.

Menje *et al* (1980) realizaron un trabajo con plántulas de aguacate, las cuales fueron fertilizadas; las plántulas se inocularon con *Glomus fasciculatus*; ellos encontraron que el crecimiento de las plántulas sin micorriza (peso seco) fue influenciado significativamente sólo por el fertilizante -Zn+10xP tratamiento que incrementó en un 142% y 133% sobre las plantas no fertilizadas, todas las plantas micorrizadas excepto aquellas provistas de -Zn+10xP, presentaron mayor peso seco (98% más sobre el promedio) que las plantas sin micorriza provistas de fertilizante; ninguna de las plantas con micorriza presentó diferencia en altura con las plantas sin micorriza conteniendo -Zn+10xP.

Maronek *et al* (1980) realizaron un experimento con plántulas de magnolia inoculada con *Glomus fasciculatus*, aplicándole 1.1 kg/m<sup>3</sup> y 4.5 kg/m<sup>3</sup> de osmocote (18N-6P-12K); ellos encontraron que las plántulas inoculadas son aproximadamente el doble de tamaño en altura que las plántulas sin inoculación. A pesar de la aplicación de fertilización, la diferencia en altura entre plántulas micorrizadas y sin micorriza incrementó con el tiempo en ambos niveles de fertilización; el porcentaje de

fertilizantes influyó en la altura de la planta de magnolia sin micorriza, la dosis de 4.5 kg/m<sup>3</sup> de fertilizante recomendado por el fabricante produjo plantas de baja altura.

Brown *et al* (1981) realizaron un experimento con plántulas de liquidámbar inoculados con hongos endomicorrízicos *Glomus etunicatus*, a las cuales se les aplicaron diferentes regímenes de fertilización de nitrato de amonio, sulfato de amonio, y nitrato de potasio; ellos encontraron que el porcentaje de infección micorrízica fue bajo en plántulas que recibieron altos niveles de nitrógeno. La formación de arbusculos fue pobre con altos niveles de nitrógeno, muy pocas micorrizas fueron observadas, la aplicación del régimen de nitrato de amonio de 280 y 560 kg/ha presentaron el mayor porcentaje de colonización micorrízica.

#### 2.4.5 Fumigación

Algunos productos tales como el bromuro de metilo, cloropiclina, formaldehído, vapam y vorlex, reducen considerablemente la infección micorrízica, en el campo y en el invernadero. Los fumigantes nematicidas DBCP, 1,3-D, y el bromuro de etileno aparentemente no reducen la población micorrízica, y son reportados por incrementar la infección micorrízica y la producción de esporas en el campo y en el invernadero (Menje, 1982)

Los fungicidas que se utilizan en el control de enfermedades de las plantas pueden inhibir en ciertas condiciones el desarrollo de los hongos micorrízicos, o pueden estimular el desarrollo de las micorrizas reduciendo la competencia

microbiana. Erradicar los hongos ectomicorrízicos de los suelos de los viveros mediante la fumigación no es problema en la mayor parte de las regiones, pero la inoculación artificial de los viveros fumigados, empero, puede ser requisito necesario en los climas fríos; los fungicidas aplicados a plántulas jóvenes en los viveros pueden tener un efecto inhibitor sobre el desarrollo de las micorrizas vesículo-arbusculares; la alteración del metabolismo del hospedero pueden deberse a las aplicaciones de fungicidas sistémicos, pueden suprimir a los hongos invasores, pero el efecto parecer ser efímero (Pritchett, 1990).

Cuando las plantas crecen en un suelo esterilizado en el vivero, el uso de la inoculación con hongo micorrízico es imperativo por las siguientes razones: (1) las plántulas crecen mejor, (2) hay una disminución de la fertilización específicamente de fósforo, zinc, y cobre, resultando una disminución del costo de fertilizantes y conservación de energía (Menje, 1983).

Riffle (1980) realizó un experimento, donde determinó la presencia natural de 4 hongos micorrízicos, las cuales incluyen *Glomus fasciculatus*, *Glomus mosseae* y *Gigaspora* sp; en una mezcla de suelo donde se desarrollaron 4 especies de plántulas durante la primera estación de crecimiento, la cual fue tratada con diferentes fumigantes (bromuro de metilo, Vorlex, Mylone) en diferentes cantidades, los resultados indicaron que el porcentaje de esporas viables fue reducido en un 33% con los fumigantes; sin embargo no hubo diferencias significativas de esporas viables entre los tratamientos con fungicidas y suelo sin fungicidas. Entre los

fumigantes, la reducción en el porcentaje de esporas viables fue mayor en el tratamiento con bromuro de metilo.

William *et al.* (1988) realizaron un trabajo con plantas de fresa, inoculadas con *Glomus vesiculifer*, *G. clarum* y una mezcla de inóculos, con el propósito de conocer el efecto de el fumigante vorlex, en la viabilidad y desarrollo de hongos micorrízicos. Antes de la fumigación, un amplio número de propágulos estaba presente en el suelo; después de la fumigación se redujo el número de propágulos notablemente. La inoculación con *Glomus vesiculifer* y la mezcla de inóculo incrementó significativamente la producción de flores y frutos, el peso seco de la fruta y el peso seco de la planta.

#### 2.4.6 Medios de crecimiento

En los países desarrollados los invernaderos más tecnificados utilizan como medios de crecimiento varios materiales como: corteza de pino, vermiculita, perlita, arena y peat-moss, que están desprovistos de hongos micorrízicos; además los viveristas esterilizan, o tratan con químicos sus mezclas para eliminar los patógenos dañinos, al hacer ésto también eliminan a los hongos micorrízicos; para compensar esta ausencia de hongos micorrízicos aplican grandes de cantidades de fertilizantes pesados que no sólo es costosa, sino que en muchos lugares el agua es derramada por medio de riego de aspersion con nitratos y otros nutrientes dentro del invernadero (Menje, 1983).

Bermann y Linderman (1983) realizaron un experimento con geranio y trébol subterráneo en varios medios de crecimiento inoculados con *Glomus fasciculatum* y *Glomus mosseae*, añadiendo varios tipos de fertilizante de fósforo. Ellos encontraron que el desarrollo del hongo micorrízico fue generalmente inferior en medios de crecimiento pobres.

Graham y Timmer (1984) realizaron un experimento con limón inoculado con *Glomus intraradices* en diferentes medios de crecimiento, se les aplicaron varios niveles de fósforo. Después de tres meses las plántulas fueron seleccionadas uniformemente en altura y fueron trasplantadas dentro de tubos de 250 cm<sup>3</sup>, conteniendo las mezclas de los tratamientos y el inóculo micorrízico. Las plantas crecieron dentro de un invernadero durante cinco meses. Los resultados que ellos obtuvieron fue que el máximo crecimiento de las plantas con micorriza y sin micorriza se presentó en los medios de crecimiento de suelo y arena y en peat-moss-perlita con los altos niveles de roca fosfórica y superfosfato.

Bermann y Linderman (1993) realizaron un experimento con plantas de geranio inoculadas con *Glomus fasciculatum* con varios niveles de fertilizante fosforado. Después que las plantas germinaron, éstas fueron transplantadas individualmente a celdas de 6 cm<sup>3</sup> con un medio de crecimiento de vermiculita, durante 6 semanas bajo condiciones de invernadero. Después las plantas fueron transplantadas en bolsas de plástico de 10 cm<sup>3</sup> con suelo de mantillo esterilizado donde crecieron durante 6 semanas. Ellos encontraron que las plantas micorrizadas

con bajos niveles de fertilización de fósforo fueron iguales en crecimiento que las plantas sin micorriza con altos niveles de fertilizante de fósforo.

Sherman (1987) realizó un experimento con estacas de 20 especies de latifoliadas colocadas en turba esterilizada, las cuales fueron tratadas con inóculo endomicorrízico. Se encontró que todas las estacas de latifoliadas, excepto *Amelanchier alnifolia* Nutt. enraizaron exitosamente en un medio de turba, no hubo efecto aparente del inóculo en el porcentaje de colonización de las estacas enraizadas en 20 semanas; el número total de hojas, número de brotes por planta y el tamaño, fueron incrementados con el inóculo micorrízico, lo cual indicó que la colocación del inóculo *Glomus intraradices* en las estacas de estos árboles ornamentales es un medio efectivo para incrementar el desarrollo de la planta.

Wang *et al* (1993) realizaron un experimento con la micropagación de tres especies de plantas ornamentales; *Gerbera jamesonii*, *Nephrolepis exaltata* y *Syngonium podophyllum*, las cuales crecieron en tres sustratos preparados por la compañía Canadiense Premier a base de peat-moss (estos sustratos presentaron características físicas y químicas diferentes unos de otros). Estos sustratos se inocularon con *Glomus intraradices* y *Glomus vesiculiferum*. Después de 26 semanas de crecer bajo condiciones de invernadero, todas las especies presentaron los más altos porcentajes de colonización con *Glomus vesiculiferum* que con *Glomus intraradices*. En general el tercer sustrato permitió el mayor porcentaje de colonización de VAM en las plantas. Los dos inóculos micorrízicos influyeron en la sobrevivencia de las plantas y no se observó interacción entre los dos factores. El

crecimiento y el peso seco fue significativamente mayor en todas las muestras tomadas en el tercer sustrato comparándolas con el primer y segundo sustrato.

Kormanik *et al* (1981) realizaron un experimento con 9 familias (genéticas) de liquidámbar, las cuales crecieron en el vivero en una mezcla de 2:1:1 de marga arenosa de suelo forestal, arena y finos granos de corteza de pino. El sustrato se inóculo con 3 diferentes mezclas del género *Glomus*; *Glomus mosseae* y *Glomus etunicatus*, *Glomus fasciculatum* y *Glomus* con *Gigaspora*. Los resultados que ellos obtuvieron fue que la inoculación con *Glomus fasciculatus* fue el que presentó una mejor respuesta en el crecimiento en las plantas; en diámetro (0.77 cm), altura (34.6 cm), en el peso seco de la raíz (5.4 gramos).

Kormanik *et al* (1982) realizaron un experimento con 8 especies de plantas ornamentales latifoliadas, las cuales crecieron en el vivero en microparcels, con una mezcla de 2:1:1 de marga arenosa de suelo forestal, arena y gránulos finos de corteza de pino. Se fertilizaron con varios fertilizantes comerciales, inoculado con la mezcla de *Glomus mosseae* y *Glomus etunicatus*, con *Glomus fasciculatus*, y una mezcla de *Glomus* y *Gigaspora*. Se observó que solo el 40% de las plántulas de *Prunus serotina* sobrevivieron. Las plantas sin micorriza no crecieron tan rápido como aquellas con VAM.

Ponton *et al* (1990a) realizaron un experimento con helecho de boston, las plántulas crecieron en macetas con tres diferentes mezclas de sustratos, todos con un pH entre 5.8 y 6.2. Los sustratos fueron inoculados con *Glomus intraradices*. Las

plantas crecieron dentro del invernadero durante 18 semanas, fertilizadas con régimen bajo en fósforo. Los resultados al final del experimento fueron que el mayor desarrollo del helecho ocurrió en la tercera mezcla de sustrato la cual contenía 50% de peat-moss negro, 25% de peat-moss blanco y 25% de vermiculita el cual fue favorable para el crecimiento del helecho y para la actividad fisiológica de VAM.

Ponton *et al* (1990b) en un segundo experimento con plantas de helecho de boston, las plantas fueron trasplantadas después de 7 semanas a una mezcla de sustrato que contenía el 75% de peat-moss blanco y 25% de vermiculita, creciendo bajo condiciones de invernadero, y fertilizadas con una solución comercial, con dos tratamientos el primero consistió en una baja fertilización de fósforo a las plantas con micorriza, el segundo fue una alta fertilización de fósforo a las plantas sin micorriza. Se inocularon las mezclas con diferentes inóculos; *Glomus intraradices* (Gi), *Glomus vesiculiferum* (Gve), *Glomus clarum* (Gc) y *Glomus vesiforme* (Gvm). Las características de crecimiento del helecho fueron evaluadas después de 20 semanas, las plantas sin micorriza y con una alta fertilización de fósforo, presentaron el mejor crecimiento y peso seco de la planta, la inoculación con Gvm mostró un significativo incremento en el peso seco de la planta comparado con las plantas sin inoculación con un baja fertilización de fósforo.

Pedersen *et al* (1991) realizaron un experimento para ver el crecimiento de el espárrago en un sustrato comercial con mezcla de peat-moss fertilizado, se inóculo con *Glomus clarum* (Gc), *G. intradix* (Gi), *G. monosporum* (Gm) y *G. vesiculiferum* (Gvr). Se encontró que el efecto de los diferentes inóculos de VAM en el crecimiento

de espárrago en invernadero y en campo fueron diferentes. El peso seco de la planta inóculada con Gi fue significativamente más grande en el campo (300% de incremento) y en el invernadero solo (43% de incremento), con Gc, Gm y Gvr no hubo diferencias significativas en el peso seco de las plantas que crecieron en el invernadero.

Haugen y Smith (1992) realizaron un experimento con plantas de frijol y anacardo (*Anacardium occidentale*) las cuales se inocularon con *Glomus intraradices*, las plantas crecieron en dos mezclas de suelo. La primera mezcla fue de 4:1:4 de arena, peat-moss, perlita con nutrientes extras, con un pH aproximadamente de 6.4. La segunda mezcla contenía 2:1:1 de arena, mantillo, perlita con nutrientes extras, con un pH aproximado de 7.0 a 7.5, fueron sacadas las plantas a las tres semanas y después de 6 semanas de crecimiento las plantas inoculadas fueron significativamente más grandes que las plantas sin micorriza con la temperatura del suelo de 30, y 38<sup>0</sup> C, pero no con 22<sup>0</sup> C.

### 2.5.7 El estrés hídrico

Es importante considerar la tolerancia de los hongos micorrízicos con respecto al potencial hídrico en varios aspectos: (1) la germinación y crecimiento del hongo en el suelo y la raíz huésped, (2) la infección y formación de estructuras micorrízicas, y (3) la función del hongo micorrízico en la captación de nutrientes y transporte de agua a la raíz de la planta; el estrés del agua afecta el índice de crecimiento de la raíz que puede afectar la formación micorrízica; muchas

micorrizas pueden tolerar moderadamente el estrés de humedad del suelo; las micorrizas puede ser benéficas bajo condiciones de sequía (Reid, 1978).

Plascencia (1995) encontró que la inoculación de *Eucalyptus camaldulensis* con *Glomus* sp, bajo condiciones de sequía, las plantas inoculadas presentaron un mayor crecimiento en altura y acumulación de biomasa que las plantas no inoculadas, e inclusive que aquellas plantas no inoculadas creciendo en condiciones favorables de humedad del suelo. La inoculación mejoró la tolerancia a la sequía de esta especie de eucalipto.

Bolgiano *et al* (1983) realizaron un experimento en cebolla para ver la respuesta de las micorrizas vesículo-arbuscular y el fósforo bajo dos regímenes hídricos. La irrigación disminuyó el porcentaje de colonización de las raíces por las micorrizas, en cambio con bajos regímenes de irrigación y poco fósforo aplicado la colonización aumentó considerablemente.

Dixon *et al* (1994) realizaron un trabajo con plántulas de *Leucaena leucocephala*, las cuales fueron inoculadas con cuatro especies distintas de hongos micorrízicos vesículo-arbuscular (VAM); *Gigaspora margarita*, *Glomus deserticola*, *Glomus etunicatum*, y *Glomus intraradices* y dos especies de hongos ectomicorrízicos; *Pisolithus tinctorius* y *Laccaria laccata*. Después de 16 semanas bajo condiciones de invernadero. Las plantas inoculadas con hongos VAM fueron significativamente más grandes en (biomasa y área foliar) que las plantas sin micorriza. Las plantas inoculadas presentaron mayor biomasa y área foliar,

mantuvieron un insignificante potencial de agua en la hoja, el comportamiento de los estomas y relativa fotosíntesis, que aquellas plantas sin micorriza con la máxima sequía.

Huang *et al* (1985) realizaron un experimento con plantas de *Leucaena leucocephala*, las cuales fueron inoculadas con *Glomus fasciculatum*, después de 2 meses bajo condiciones de invernadero. Las plantas con el hongo micorrizico superaron significativamente a las no inoculadas, con diferencias de 45% (altura y longitud de la raíz), hasta alrededor de un 80% (área foliar), el peso seco de la raíz aumentó un 40%, el comportamiento foliar en la difusión de vapor de agua fue casi el 50% mayor en plantas con la micorriza. Sin embargo las diferencias entre la presión potencial del xilema y el potencial hídrico del suelo fueron considerablemente bajas en las plantas con la micorriza en comparación con las plantas sin micorriza.

Weterer y Coltman (1989) realizaron un experimento con plantas de pimiento inoculadas con *Aggregatum*, las cuales crecieron en el invernadero y en el campo, bajo dos regímenes hídricos y con diferentes niveles de fósforo; ellos encontraron que al disminuir el régimen hídrico en el invernadero se redujo la producción del fruto, mientras que en el campo la producción del frutos no se afecto por el estrés del agua; en el invernadero y en el campo, la interacción del suelo con fósforo, la inoculación micorrizica y el agua asimilable, afectan significativamente la producción de frutos; en el suelo con bajo fósforo, la producción de frutos fue incrementada significativamente por la inoculación.

Hetrick *et al* (1986) realizaron un experimento con pastos de la pradera los cuales se inocularon con varios hongos micorrízicos tipo vesículo-arbuscular. Al ser sometidos a un estrés hídrico; se encontró que los pastos que estaban inoculados con *Glomus etunicatus*, crecieron significativamente más que las plantas no inoculadas bajo estas condiciones.

## 2.6 Micorrizas y la productividad de suelos áridos y semiáridos

Las asociaciones de comunidades de plantas en zonas áridas son poco estudiadas; muchas plantas del desierto pueden sufrir una drástica transformación morfológica y cambios fisiológicos para adaptarse al medio ambiente en el cual viven. La endomicorriza puede contribuir para la sobrevivencia y características de esas plantas (Willians y Aldon, 1976). Las micorrizas de plantas del desierto no solo suministran a las plantas nutrientes, también suministran humedad durante la temporada de sequía (Khundairi, 1969).

Muchas plantas forrajeras de suelos áridos y semiáridos están micorrizadas. El hongo micorrízico absorbe nutrientes del suelo y los traslada a la planta huésped. El huésped provee de fotosintatos al hongo micorrízico; el micelio de las micorrizas de esta manera ayuda a una alta eficiencia de las extensiones de el sistema radical. Las micorrizas son un importante componente en la máxima productividad del hábitat, debido a que las plantas dependen de las micorrizas y no podrían sobrevivir sin la asociación del hongo. Los requerimientos ecológicos de los

hongos micorrízicos son particularmente relevantes en programas para el mejoramiento de suelos degradados por erosión, compactación sobre pastoreo, salinidad o contaminación con aceite, metales pesados etc. Este tipo de trabajos no es común en suelos de ecosistemas áridos y semiáridos, no obstante, se requiere generar más sobre la distribución y adaptabilidad de los hongos micorrízicos en estas zonas (Trappe, 1981).

### III MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en cuatro experimentos; cada uno de éstos pretendió cumplir de manera específica a cada uno de los objetivos propuestos. Enseguida se describen los experimentos.

#### 3.1 Experimento N°1

En este experimento se realizó una evaluación de la germinación y el crecimiento de las dos especies arbustivas, el mimbre (*Chilopsis linearis*) y la tronadora (*Tecoma stans*), en seis diferentes mezclas de sustratos; así como la observación de las raíces de las dos especies para verificar la presencia de micorrizas.

El experimento se realizó en el invernadero de alta tecnología de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Las especies que se probaron fueron el mimbre y la tronadora, para lo cual se utilizaron 2560 semillas de cada especie.

Las mezclas de sustratos utilizadas son las siguientes:

Mezcla N°1.- peat-moss negro + perlita + vermiculita (2:1:1).

Mezcla N°2.- Mezcla N°3 + perlita + vermiculita (2:1:1).

Mezcla N°3.- Germinaza + perlita + vermiculita (2:1:1).

Mezcla N°4.- Pro-Mix BX sin micorriza + perlita + vermiculita (2:1:1)

Mezcla N°5.- Testigo (vermiculita + perlita 1/1 vol).

Mezcla N°6.- Pro-Mix BX con micorriza + perlita + vermiculita (2:1:1)

Para realizar el experimento se utilizaron contenedores de 160 cavidades (16 hileras de 10 cavidades cada hilera); cada cavidad de una capacidad de 72 cm<sup>3</sup>; las medidas de cada contenedor son 35cm de ancho x 58cm de largo x 23cm de alto.

Para verificar la presencia de los hongos endomicorrízicos vesículo-arbuscular, utilizando el sistema radical de una planta para cada una de las mezcla de sustrato se utilizó el procedimiento de clareo y tinción descrito por Hayman y Phillips que consiste en colocar raíces libres de suelo en cápsulas esterilizables, en un vaso de precipitado al que se le agrega suficiente KOH al 10% para cubrir las. Se procede a calentar por 10 minutos bajo 10 libras de presión (clareo). El KOH es retirado y las cápsulas con las raíces se enjuagan con agua destilada. Se agrega H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 10% en suficiente cantidad para que cubra las raíces durante tres minutos, pasando este tiempo se procede a enjuagar con agua destilada (blanqueo). Las raíces se cubren con HCl al 10% por tres minutos, se elimina el ácido y sin enjuagar se procede a la tinción (acidificación). Las cápsulas que contienen las raíces se

cubren con la solución colorante (azul tripano al 0.05 en lactoglicerol) y se calientan por 10 minutos a 10 libras de presión (tinción). El colorante se elimina y se decoloran las raíces con lactoglicerol limpio (decoloración) (Ferrera *et al.*, 1993).

### 3.1.1 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas, en donde los sustratos son las parcelas grandes y las especies en cada sustrato son las parcelas chicas. Cada parcela chica corresponde a 50 cavidades, y son cuatro repeticiones; de lo anterior se genera un total de 48 parcelas chicas.

El modelo estadístico que se utilizó es:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + E_{ik} + B_j + AB_{(ij)} + E_{ijk}$$

Donde:

$\mu$  = Media                       $i = 1 \dots 6$  = sustratos

A = Sustrato                       $j = 1 \dots 2$  = especies

B = Especies                       $k = 1 \dots 4$  = repeticiones

E = Error

### 3.1.2 variables

Las variables se registraron y se analizaron mediante el análisis de varianza las cuales fueron: porcentaje de germinación y altura total de la planta.

La toma de datos se realizó cuando la semilla germinó, posteriormente cada tres días, durante un mes. Para la variable altura se midieron cinco plantas por cada parcela chica cuando esta cumplió un mes de crecimiento, posteriormente se midieron cada semana durante otro mes.

Se realizaron labores culturales como riego, fertilización y fumigación. Se utilizó el riego automatizado, se regaron diariamente durante un mes, posteriormente éste se realizó cada tercer día. Se utilizó una fertilización foliar con producto comercial (grofol 20N-30P-10K) por medio del riego. Así como también una fumigación con un fungicida comercial (Flonex M2400 mancozeb).

### 3.2 Experimento N°2

En este experimento se realizó una evaluación de la altura del mimbre (*Chilopsis linearis*) y la tronadora (*Tecoma stans*), en cinco mezclas de sustratos diferentes, así como la observación de las raíces de las plantas del mimbre, la tronadora, cebolla, maíz y trigo que crecieron en los distintas mezclas de los sustratos para verificar la presencia de micorrizas.

Este experimento también se realizó dentro del invernadero de alta tecnología de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".

Las especies que se probaron fueron el mimbre y la tronadora, para lo cual se utilizaron 800 semillas por cada especie.

Se usaron las siguientes mezclas de sustratos:

Mezcla N°1.- peat-moss blanco + perlita + vermiculita (2:1:1).

Mezcla N°2.- mezcla N°3 + perlita + vermiculita (2:1:1).

Mezcla N°3.- Germinaza + perlita + vermiculita (2:1:1).

Mezcla N°4.- Pro-Mix BX + perlita + vermiculita (2:1:1).

Mezcla N°5.- Pro-Mix BX con micorriza + perlita + vermiculita (2:1:1).

En este experimento se utilizaron contenedores de 160 cavidades (16 hileras de 10 cavidades cada hilera); cada cavidad tiene una capacidad de 37 cm<sup>3</sup>; las medidas de el contenedor son 35cm de ancho, 58cm de largo y 13cm de alto.

Para la observación de las estructuras micorrízicas se utilizó el mismo procedimiento realizado en el experimento N°1.

### 3.2.1 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 5x2, donde el factor A son los 5 sustratos, y el factor B son las dos especies, generándose 10 tratamientos. Cabe mencionar que las repeticiones quedan dentro del contenedor, o sea que cada hilera de 10 plantas sería la repetición, resultando 16 repeticiones por cada contenedor.

El modelo estadístico que se utilizó es:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

$\mu$  = Media                       $i = 1 \dots 5$  = sustratos

$A$  = Sustrato                       $j = 1 \dots 2$  = especies

$B$  = Especies                       $k = 1 \dots 16$  = repeticiones

$E$  = Error

### 3.2.2 Variables

Mediante el análisis de la varianza se analizó la variable altura de planta. La altura de las plantas se midió después de tres meses de crecimiento.

Se realizaron labores culturales como el riego y fertilización. Se utilizó el riego automatizado, se regaron diariamente durante un mes, posteriormente éste se realizó cada tercer día. Se utilizó una fertilización foliar con producto comercial (grofol 20N-30P-10K), y sulfato de amonio (21N-0P-0K).

### 3.3 Experimento N°3

La mitad de todas las plantas de el mimbre (*Chilopsis linearis*) y la tronadora (*Tecoma stans*) que crecieron en las diferentes mezclas de los sustratos del experimento N°1 se inocularon con el sustrato con micorriza de la Compañía Premier, el cual contiene hongos endomicorrízicos VA (*Glomus intraradix*).

Se utilizaron 264 plantas de cada especie del mimbre y la tronadora con y sin micorriza.

Después de 7 semanas con el inoculo las plantas, se transplantaron a una cama semillera de 5 metros de largo x 1.30 m de ancho x 50 cm de profundidad, conteniendo una capa de arena y grava para el drenaje y tierra de monte. Simulando de esta manera las condiciones del campo. Esta cama semillera se encuentra ubicada en el vivero forestal de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", en Buenavista, Saltillo., Coah.

Para Buenavista, Saltillo, Coah; se reporta una temperatura media anual es de 17.8°C, siendo los meses más cálidos. Junio, Julio y Agosto con temperaturas

máximas de hasta 38<sup>0</sup>C. Durante Enero Y diciembre se registran temperaturas bajas, de hasta -10<sup>0</sup>C.

### 3.3.1 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas subdivididas; en donde las plantas con y sin micorriza son las parcelas grandes, con cuatro repeticiones; las dos especies el mimbre y la tronadora son las parcelas medianas y las parcelas chicas son las plantas con y sin micorriza que crecieron en las diferentes mezclas de los sustratos, se utilizaron seis plantas por repetición, siendo un total de 88 parcelas.

El modelo estadístico es:

$$Y_{ijkl} = \mu + M_i + (I) + B_j + MB_{ij} + (II) + A_k + MA_{ik} + BA_{jk} + MBA_{ijk} + \Sigma(III)$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  = Variable aleatoria observable del i-ésimo sustrato micorrizado y no micorrizado, la j-ésima especie, el k-ésimo sustrato y la l-ésima repetición.

$\mu$  = Media general.

$M_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento; sustrato micorrizado y no micorrizado.

$E(1)$  = Error de la parcela grande.

$B_j$ = Efecto de la  $j$ -ésima especie.

$MB_{ij}$ = Efecto conjunto del  $i$ -ésimo sustrato micorrizado y no micorrizado y la  $j$ -ésima especie.

$E(II)$ = Error de la parcela mediana.

$A_k$ = Efecto del  $k$ -ésimo sustrato.

$MA_{ik}$ = Efecto conjunto del  $i$ -ésimo sustrato micorrizado y no micorrizado y el  $k$ -ésimo sustrato.

$BA_{jk}$ = Efecto conjunto de la  $j$ -ésima especie y el  $k$ -ésimo sustrato.

$MBA_{ijk}$ = Efecto conjunto del  $i$ -ésimo sustrato micorrizado y no micorrizado, la  $j$ -ésima especie y el  $k$ -ésimo sustrato.

$E(III)$ = Error de la parcela chica.

### 3.3.2 Variables

Después de dos meses de crecimiento en la cama semillera se les midió la altura a las plantas.

Se realizaron labores culturales como el riego y el deshierbe. Se aplicaron riegos diarios hasta que la planta se estableció, después se realizaron cada tercer día. El deshierbe se realizó cuando se necesitó.

La variable de altura se registró y se analizó mediante un análisis de varianza

### 3.4 Experimento N°4

Las plantas del experimento N°2 se transplantarán en bolsas de polietileno con una capacidad de 1615 cm<sup>3</sup>, con una mezcla de suelo de monte, arena y limo en proporción 2:1:1. Después de tres semanas de crecimiento se sometieron a un estrés hídrico de 2 semanas, el cual consistió en tapar a las plantas y no regarlas.

Este experimento se ubicó en una área situada detrás del invernadero de alta tecnología de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".

Se utilizaron 300 plantas de cada especie.

#### 3.4.1 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 5x2, donde el factor A son los 5 sustratos, y el factor B son las dos especies, con 10 tratamientos, con una unidad experimental de 10 plantas en hilera con 6 repeticiones.

El modelo estadístico que se utilizó es:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

$\mu$ = Media                     $i= 1.....5$ = sustratos

A= Sustrato                  $j= 1.....2$ = especies

B= Especies                  $k= 1.....6$ = repeticiones

E= Error

### 3.4.2 Variables

Las variables que se registraron y analizaron mediante un análisis de varianza fueron: la altura total y el diámetro de la base del tallo.

Después de 2 semanas de someterlas a estrés hídrico, se les midió la altura y diámetro a las plantas.

Se realizaron labores culturales como el riego y el deshierbe. Antes del estrés hídrico se realizaron riegos diarios. El deshierbe se realizó cuando fue necesario.



Posiblemente esta diferencia se debió a que las semillas de la tronadora sean mas viables que las semillas del mimbre.

En el análisis de varianza se detectaron efectos significativos ( $p < 0.05$ ) en la interacción sustrato X especie en esta variable. Sin embargo, dado que no hubo efecto de sustrato, la interacción puede considerarse prácticamente sin interpretación.

#### 4.1.2 Evaluación de la altura de las plantas

El análisis de variación mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los sustratos respecto a su efecto de el crecimiento en altura producidas por las plantas del mimbre (*Chilopsis linearis*) y la tronadora (*Tecoma stans*), desde la primera hasta la ultima medicion. Las plantas presentaron un mejor crecimiento en altura en las mezclas de sustrato Pro-Mix BX, vermiculita, perlita (2:1:1), en la mezcla de sustrato con endomicorrizas y en la mezcla de sustrato germinaza, vermiculita, perlita (2:1:1). Por lo que estas tres mezclas de sustratos fueron estadísticamente iguales (Figura 2).

Posiblemente las plantas que se inocularon con la mezcla del sustrato con endomicorrizas no sobresalieron en altura, por el espacio de el contenedor y la cantidad del sustrato que fue poca, o también porque la mezcla del sustrato no contenga suficientes nutrientes, por lo que las plantas no mostraron un crecimiento superior a las demás.



Dado que al inocular las plantas con hongos micorrízicos, éstos requieren de nutrientes de la planta, y la planta necesita nutrientes para su crecimiento. Alarcon y Ferrera (1995) encontraron efectos significativos por la inoculación con *Glomus* spp en la altura y peso seco del follaje de *Casuarina equisetifolia* L, respecto al testigo, Ellos mencionan que las diferencias se mantuvieron hasta las 110 días pero en los últimos muestreos (130 y 150 días) no se encontró diferencias significativas en el crecimiento de las plantas inoculadas, lo que provocó que no existieran diferencias estadísticas al final del experimento. Esto pudo deberse a que el espacio del contenedor y la cantidad del sustrato (250g) fueron insuficientes, ya que una relación directa entre factores con el crecimiento y desarrollo del las plantas.

Es posible que la especie de hongo endomicorrízico (VA) no es efectiva en estas dos especies de plantas arbustivas. Agrios (1991) menciona que debe tenerse en cuenta que hay muchas asociaciones distintas que se establecen entre el hongo y su hospedero y que cada combinación puede tener efectos diferentes sobre la planta; así mismo, algunos ellos benefician a un mayor grado a un determinado hospedero que otros hongos, y algunos hospederos sacan un mejor provecho al asociarse con ciertos hongos micorrízicos que con otros hospederos.

No se detectaron efectos significativos entre las especies, lo que indica que el crecimiento en la altura de la tronadora y el mimbre fue similar. Posiblemente aun no se manifiestan las diferencias en cuanto a el crecimiento en altura debido al poco tiempo que llevan creciendo en las mezclas de los sustratos.

No se detectaron efectos significativos en la interacción sustrato x especie en esta variable. Indicando que el efecto de las mezclas de los sustratos sobre esta variable fue similar en las dos especies de arbustos en cuanto al crecimiento en altura.

#### 4.1.3 Observación de las estructuras de la endomicorriza (VA)

Al realizar este procedimiento en el laboratorio, se observaron las raíces de las dos especies arbustivas que habían crecido en las mezclas de los sustratos estériles y la mezcla del sustrato con endomicorrizas (VA), las cuales al ver las muestras bajo el microscopio a 100X, no se observaron las estructuras de hongos micorrízicos, al parecer la fumigación que se realizó después de medir las plantas, con el fungicida flonex M2400 (mancozeb), eliminó los hongos micorrízicos. Pritchett (1990), menciona que la fumigación del suelo puede reducir de manera efectiva las poblaciones del hongo endomicorrízico en el suelo. Por otra parte Menge (1982) menciona que los fungicidas no sistémicos como; Demosan, DBLP, mancozeb no inhibe la germinación de esporas. Posiblemente en este caso las varias aplicaciones de este fungicida afectó el desarrollo de el hongo endomicorrízico.

## 4.2 Experimento 2

### 4.2.1 Evaluación del crecimiento en la altura

Durante tres meses y medio las plantas crecieron en condiciones de invernadero. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los diferentes sustratos, con respecto al crecimiento en la altura de el mimbre y la tronadora, en una sola medición que se realizó. El sustrato en el que presentaron mayor crecimiento en altura las plantas fue la mezcla del sustrato Pro-Mix BX, vermiculita perlita 2:1:1, con una altura promedio de las plantas de 4.33 cm la tronadora fue la que presentó mayor altura, sobresaliendo a las demás plantas de los diferentes sustratos, siguiéndole la mezcla de sustratos, germinaza, vermiculita, perlita (2:1:1), con una altura promedio de 3.91 cm., la mezcla de sustrato con el hongo endomicorrízico presentó un crecimiento en la altura de promedio de 3.77 cm (Figura 3).

Estas diferencias significativas se debieron posiblemente a que se aumentó el numero de repeticiones (16) por tratamiento, ó quizás por que la respuesta en crecimiento de las plantas depende en el medio en que se desarrollen. Cabe mencionar que al igual que en el experimento N° 1, las plantas inoculadas con la mezcla del sustrato con endomicorrizas no sobresalieron en altura con respecto a las demás plantas, tal vez se deba a que la asociación de esta especie de hongo endomicorrízico (*Glomos intraradix*) con estos hospederos no tuvo efecto en el crecimiento en la altura.



No se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las especies del mimbre y la tronadora en cuanto a esta variable. Posiblemente por el poco tiempo que llevan creciendo en las mezclas de los sustratos, aun no se manifiesta una diferencia en cuanto al crecimiento en altura en estas dos especies.

La interacción sustrato X especie fué estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ )(Figura 4). La cual se debio a que en la mezcla de sustrato germinaza, vermiculita, perlita (2:1:1), el crecimiento de ambas especies fue igual, lo que indica que el sustrato favorecio el crecimiento de las especies. Posiblemente el contenido de nutrientes que existe en este sustrato es factible para el crecimiento de las dos especies de arbustos.

#### 4.2.2. Observación de las estructuras de la endomicorriza (VA)

Se utilizó el método de clareo y tinción para verificar la presencia de los hongos endomicorrízicos en las raíces de el mimbre, tronadora, cebolla, maíz y trigo, estas tres ultimas especies son muestras de raíces testigo las cuales se sembraron en la mezcla del sustrato inoculado con el hongo endomicorrízico *Glomus intraradix*. Las raíces teñidas de las plantas se colocaron en laminillas, las cuales se observarán bajo en microscopio con un aumento a 100X. Se observaron todas las laminillas de las diferentes muestras de las raíces y se pudo constatar la presencia de muchas estructuras del hongo endomicorrízico tales como micelio, vesículas y arbusculos. Cabe mencionar que no se realizó una evaluación cuantitativa al respecto.



### 4.3 Experimento 3

#### 4.3.1 Evaluación del crecimiento en la altura

Después de 2 meses de transplantadas en la cama semillera, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas en cuanto a las plantas que se inocularon con la mezcla del sustrato con endomicorrizas (VA) y sin inocular. Posiblemente el suelo de monte contenía suficiente nutrientes por lo cual ambas plantas (con y sin inoculación) presentaron un crecimiento similar. Dado de que la asociación simbiótica entre la planta y el hongo es mas eficaz en suelos pobres de nutrientes o en condiciones de estrés hídrico. Tal vez las plantas sin inocular al estar en contacto con el suelo de monte se inocularon con otra especie de hongo micorrízico, ya que el suelo de monte no se esterilizó.

### 4.4 Experimento 4

#### 4.4.1 Respuesta de las plantas a la disponibilidad de agua en el suelo

##### 4.4.1.1 Crecimiento en altura

Después de dos semanas de someter las plantas al estrés hídrico al análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las plantas provenientes de las distintas mezclas de los sustratos. Presentando mayor altura las plantas provenientes de la mezclas de los sustratos Pro-Mix BX, vermiculita, perlita (2:1:1), siguiendole las plantas provenientes de la mezcla del sustrato con endomicorrizas (VA) en la cual presentó mayor altura el mimbre y las plantas

provenientes de la mezcla de sustrato germinaza, vermiculita, perlita (2:1:1); siendo estas tres mezclas de sustratos las mejores estadísticamente, que las demás plantas provenientes de otros sustratos. Posiblemente la asociación micorrízica favoreció el crecimiento en altura de esta especie en estas condiciones. Las plantas que presentaron el menor crecimiento en altura fueron las provenientes de la mezcla del sushine N<sup>o</sup>3, vermiculita, perlita (2:1:1) (Figura 5).

Entre las especies del mimbre y la tronadora se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), presentando mayor crecimiento en la altura las plantas del mimbre que las plantas de la tronadora (Figura 6). En comparación con el experimento N<sup>o</sup>3, el crecimiento de estas dos especies varió, posiblemente se deba a las características fisiológicas de cada especie.

Se detectaron efectos significativos ( $p < 0.05$ ) en cuanto a la interacción sustrato X especie, la cual se debió a que entre el sustrato número dos y el sustrato número tres, el crecimiento del mimbre y la tronadora llegó a un punto donde fue similar, sin embargo en el sustrato número tres las diferencias en cuanto a crecimiento se manifiestan en ambas especies. Posiblemente las mezclas del sustrato número dos y tres contienen nutrientes similares por lo que se manifestó una altura similar en ambas especies (Figura 7).







#### 4.4.1.2 Crecimiento en diámetro

En cuanto a esta variable el análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los diámetros de las plantas provenientes de las diferentes mezclas de los sustratos que después se transplantaron en las bolsas. Las plantas del mimbre y la tronadora mostraron mayor crecimiento en diámetro en las mezclas número tres la cual contenía Germinaza, Perlita, Vermiculita (2:1:1); en la mezcla Pro-Mix BX, vermiculita (2:1:1) y en la mezcla de sustrato Pro-Mix BX con endomicorrizas. Posiblemente estas plantas se adaptaron mejor a las condiciones del estrés hídrico.

Entre las especies se encontraron diferencias significativas al ( $p < 0.05$ ). Presentando mayor crecimiento en diámetro las plantas del mimbre (*Chilopsis linearis*), que las plantas de la tronadora (*Tecoma stans*). Dado que presentan diferencias fisiológicas en cuanto crecimiento es decir presentan características genéticas diferentes.

No se encontraron diferencias en cuanto a la interacción sustrato X especie en esta variable.

#### 4.4.2 Respuesta de las plantas después del estrés hídrico

##### 4.4.2.1 Crecimiento en altura

Después del estrés hídrico, a las plantas se les suministró agua durante 20 días y se midieron nuevamente. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las plantas provenientes de las diferentes mezclas de los sustratos. Presentando mayor crecimiento en altura las plantas en tres mezclas de sustratos, en la mezcla del sustrato con endomicorriza (VA); la mezcla de germinaza, vermiculita, perlita (2:1:1) y en la mezcla Pro-Mix, vermiculita, perlita (2:1:1) (Figura 8). Lo cual indica que la inoculación con la mezcla del sustrato con endomicorriza (VA) fue exitosa el final de este experimento. Posiblemente la disminución del agua afectó a la actividad de los hongos micorrízicos, ya que después de suministrarles agua, las plantas inoculadas mostraron mayor crecimiento, por lo que en este caso el suministro de agua acelera el crecimiento de las plantas inoculadas haciendo más rápida su recuperación luego del estrés hídrico.

No se detectaron efectos significativos entre las especies del mimbre y la tronadora en esta variable.

Se detectaron efectos significativos ( $p < 0.05$ ) en cuanto a la interacción de las plantas provenientes de las mezclas de los sustratos X especie. Dado que no



hay efecto de especie, la interacción puede considerarse prácticamente sin interpretación.

#### 4.4.2.2 Crecimiento en diámetro

En cuanto a esta variable el análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los diámetros de las plantas provenientes de las diferentes mezclas de los sustratos. Las plantas que presentaron mayor crecimiento en diámetro fueron las inoculadas con la mezcla del sustrato con edomicorriza (VA) (Fig. 9). Por lo que en ambas variables la inoculación fue exitosa después del estrés hídrico. La asociación de el hongo endomicorrízico *Glomus intraradix* con las plantas del mimbre y la tronadora presento mejores resultados después del estrés hídrico, esto debido a que después del estrés hídrico la asociación del hongo simbionte con la planta posiblemente mejoró la captación de humedad y la disponibilidad de nutrientes, lo cual se demostró en el crecimiento.

Entre las especies se encontraron diferencias significativas al ( $P < 0.05$ ). Presentando mayor crecimiento en diámetro las plantas del mimbre (*Chilopsis linearis*) que las plantas de la tronadora (*Tecoma stans*) (Fig. 10).

No se detectaron diferencias en cuanto a la interacción de las plantas provenientes de los sustratos X especie.





## V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Basándose en los resultados obtenidos y la discusión hecha comparados con los objetivos e hipótesis se llegan a las siguientes conclusiones:

El porcentaje de la germinación de las semillas de las plantas del mimbre y la tronadora en las seis diferentes mezclas de sustratos, depende de la viabilidad de la semilla para germinar.

El mejor crecimiento en cuanto a diámetro y altura de las plantas del mimbre y la tronadora se presentaron en las siguientes mezclas de los sustratos: Pro-Mix Bx con endomicorrizas, vermiculita, perlita (2:1:1); germinaza, vermiculita, perlita (2:1:1) y en Pro-Mix BX, vermiculita, perlita (2:1:1). Por lo que la hipótesis nula se rechaza.

Se observaron las estructuras de los hongos endomicorrízicos en las raíces de las plantas del mimbre, la tronadora, la cebolla, el trigo y el Maíz, que crecieron en la mezcla del sustrato con endomicorrizas y a la vez no se encontraron estructuras de hongos micorrízicos en las demás mezclas de los sustratos.

No se encontraron diferencias entre las plantas inoculadas con el hongo endomicorrízico y sin inocular, por lo que la inoculación de las plantas del mimbre y la tronadora no tuvo efecto en cuanto a crecimiento en altura y diámetro. Por lo que la hipótesis nula se aprueba.

Se recomienda a los productores de planta utilizar en las siguientes mezclas de sustratos: Pro-Mix BX con endomicorriza, vermiculita, perlita (2:1:1), Pro-Mix Bx, Vermiculita, perlita (2:1:1) y germinaza, vermiculita, perlita (2:1:1); para producir el mimbre y la tronadora.

También se recomienda hacer otro trabajo para evaluar la colonización micorrízica en el mimbre y la tronadora inoculando con el sustrato Pro-Mix Bx con endomicorrizas.

## IV LITERATURA CITADA

Ballester O., J. F. 1993. Substratos para el cultivo de plantas ornamentales.

Hojas Divulgadoras. Madrid., España 11(2):1-44.

Bermann, B. J. y R. G. Linderman. 1983a. Effect of container plant growth

medium and fertilizer phosphorus on establishment and host growth

response to vesicular-arbuscular mycorrhizae. J. Amer. Soc. Hort. Sci.

108(6):962-971.

Bermann, B. J. y R. G. Linderman. 1983b. Increased growth using

pretransplant inoculation with a mycorrhizal fungus. J. Amer. Soc. Hort.

Sci. 108(6):972-976.

Bolgiano, M. C., G. F. Safir, y D. D. Warncker. 1983. Mycorrhizal infection and

growth of onion in the field in relation to phosphorus and water

availability. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108(5):819-825.

Brady, C. N. 1974. The nature and properties of soils. 8 Edition. Macmillan Publishing Co.125-126.

Brown, R. W., R. C. Schultz. y P. P. Kormanik. 1981. Response of vesicular-arbuscular endomycorrhizal sweetgum seedling to three nitrogen fertilizers. Forest Sci. 27(2):413-420.

Castellano, M. A., R. Molina, T. D. Landis, R. W. Tinus, S. E McDonald, y J. P. Barnett. 1989. The container tree nursery manual, Volume 5. Agric. Handbok. U. S. Department of Agriculture, Forest Service: pp 101-167.

Davey, C. B., y C. A. Schenck. 1990. Mycorrhizae and realistic nursery management, chapter 6. En; Target seedling symposium: Proceedings, combined meeting of the Wester forest nursery associations.

Dixon, R.K., M.V. Rao y V.K. Garg. 1994. Water relations and gas exchange of mycorrhizal *Leucaena leucocephala* seedlings. Journal of Tropical Forest Science. 6(4):542-552.

Donahue, L. R., W. R. Miller, y C. J. Schickluna. 1983. An introduction to soils and plant growth. 5 th Edition. Printce-Hall, Inc., Englewood cliffs, New Jersey.

Ferrera C., R., M. A. González Ch y M.N. Rodríguez M. 1993. Manual de agromicrobiología. Editorial Trillas. 142p.

French, W. D. 1988. Forest and shade tree pathology. University of Minnesota Department of Pathology.

Graham, J. H. y L. W. Timmer. 1984. Vesicular-arbuscular mycorrhizal development and growth response of rough lemon in soil and soilless media: Effect of Phosphorus source. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109(1):118-121.

Grey, E. W. 1991. Influence of temperature on colonization of spring barleys by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. Plant and Soil. 137:181-190.

Hayman, D. S. 1982. Influence of soils and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Phytopathology. 72 (8):1119-1124.

Haugen, M. L. y E. S. Smith. 1992. The effect of high temperature and follow period on infection of mung bean and cashew roots by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. Plant and Soil. 145:71-80.

Hetrick, B. A. D., D. G. Kitt. y G. T. Wilson. 1986. The influencia de phosphorus fertilization, drought, fungal species, and nonsterile soil on mycorrhizal growth response in tall grass prairie plants. *Can. J. Bot.* 64:1199-1203.

Huang, R.S., W.K. Smith y R.S. Yort. 1985. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal on growth, water relations, and leaf orientation in *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit. *New Phytol.* 99:229-243.

Isaac, S. 1992. *Fungal-Plant Interactions*. Chapman and Hall-Great Britain, Cambridge. 418p.

Khundairi, A. K. 1969. Mycorrhizal in desert soils. *BioScience.* 19(7):598-599.

Kormanik, P. P., R. C. Schultz. y W. C. Bryan. 1981. Effects of three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on sweetgum seedlings from nine mother trees. *Forest Sci.* 27(2):327-335.

Kormanik, P. P., R. C. Schultz. y W. C. Bryan. 1982. The influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on the growth and development of eight hardwood tree species. *Forest Sci.* 28(3):531-539.

Landis, T. D. 1993. A practical look at mycorrhizal fungi in nurseries, Part 2. En: *Forest Nursery Notes*. July 1993. USDA Forest Service. pp. 12-16.

- Maronek, M. D., W. J. Hendrix. y J. Kiernan. 1980. Differential growth response to the mycorrhizal fungus *Glomus fasciculatus* of southern Magnolia and bar harbor juniper grown in containers in composted hardwood bark-shale. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105(2):206-208.
- Menje, J. A. 1980. The effect of two mycorrhizal fungi up on growth and nutrition of avocado seedlings grown with six fertilizer treatments. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105(3):400-404.
- Menje, J. A. 1982. Effect of soil fungicides on vesicular-arbuscular fungi. Phytopathology. 72(8):1125-1132.
- Menje, J. A. 1983. Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. Can. J. Bot. 61:1015-1024.
- Niembro R., A. 1988. Semillas de árboles y arbustos ontogenia y estructura. Editorial Limusa. Chapingo, México.
- Plascencia E., F. O. 1995. Efecto de la micorrización sobre la respuesta a la sequía en las plántulas de eucalipto. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 110p.
- Ponton, F., Y. Piché, S. Parent. y M. Caron. 1990a. The use of vesicular-arbuscular mycorrhizae in Boston fern production: I. Effects of peat-based mixes. Hort Science. 25(2):183-189.

Ponton, F., Y. Piché, S. Parent. y M. Caron. 1990b. Use of vesicular-arbuscular mycorrhizae in Boston fern production: II. Evaluation of four inocula. Hort Science. 25(4):416-419.

Pedersen, C. T., G. R. Safir, S. Parent. y M. Caron. 1991. Growth of asparagus in a comercial peat mix containing vesicular-arbuscular (VAM) fungi and the effects of applied phosphorus. Plant and Soil. 135:75-82.

Pritchett, W. L. 1990. Suelos forestales. Editorial Limusa, México. 634 p.

Reid, C. P. P. 1978. Mycorrhizae and stress. Department of Forest and Wood Sciences Colorado State University. pp. 392-408.

Riffle, W. J. 1980. Growth and endomycorrhizal development of broadleaf seedlings in fumigated nursery soil. Forest Sci. 26(3): 403-413.

Reséndiz, M. F., C. P. Olvera. y F. L. Verela. 1992. Determinación, aislamiento y manejo de cultivos puros de hongos micorrízicos en un pinar de desierto de los leones. En Reunión Científica Forestal y Agropecuaria. Centro de Investigaciones de la Región Centro. Campo experimental Coyoacan. Memoria. p 171-174.

Ruehle, L. J. y H. D. Marx. 1979. Fiber, food, fuel, and fungal symbionts. Science. 206: 406-419.

Sherman, D. N. 1987. Rooting and subsequent growth of woody ornamental softwood cuttings treated with endomycorrhizal inoculum. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112(2): 263-266.

Standley, C. P. 1923. Trees and shrubs of Mexico. Washington Government printing office. Volume 23, Part 3.

Torrey, J. G. 1992. Can plant productivity be increased by inoculation of tree roots with soil microorganisms? Can. J. For. Res. 22: 1815-1823.

Trappe, M. J. 1981. Mycorrhizae and productivity of arid and semiarid rangelands. En advences in food producing systems for arid and semi arid lands. Acad. Press, Inc., New York. Purchased by USDA Forest Service.

Wang, H., S. Parent, A. Gosselin. y Y. Desjardins. 1993. Vesicular-arbuscular mycorrhizal peat-based substrates enhances symbiosis establishment and growth of three micropropagated species. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118(6): 896-901.

Waterer, R. D. y R. R. Coltman. 1989. Response of mycorrhizal bell peppers to inoculation timing, phosphorus, and water stress. Hort Science. 24(4): 688-690.

William J. R., C. D. Boyle. y L. H. Brown. 1988. Endomycorrhizal status of certified strawberry nursery stock. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113(4):525-529

## VIII APENDICE













## **VII ANEXOS**

ANEXO 1. Análisis de varianza de la variable germinación de las dos especies de arbustos en seis sustratos diferentes con una  $\alpha = 0.05$ , experimento N°1.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	SIG
SUS	5	508.3275	101.6655	0.76	0.6072	NS
REP*SUS	6	798.1351	133.0225	2.29	0.0617	NS
ESP	1	8024.1389	8024.1389	137.93	0.0001	**
SUS*ESP	5	1577.4611	315.4922	5.42	0.0011	**
ERROR	30	1745.2668	58.1755			
TOTAL	47	13555.2243				

ANEXO 2. Análisis de varianza de la variable altura de las dos especies de arbustos en seis sustratos diferentes con una  $\alpha = 0.05$ , experimento N°1

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	SIG
SUS	5	26.6236	5.3247	5.11	0.0359	*
REP*SUS	6	6.2528	1.0421	2.72	0.0314	*
ESP	1	0.0013	0.0013	0.00	0.9526	NS
SUS*ESP	5	2.8546	0.5709	1.49	0.2226	NS
ERROR	30	11.4961	0.3833			
TOTAL	47	247.5127				

ANEXO 3. Análisis de varianza de la variable altura de las dos especies de arbustos en cinco sustratos diferentes con una  $\alpha = 0.05$ , experimento N°2.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	SIG
SUS	4	96.7962	24.1990	91.07	0.0001	**
ESP	1	4.0587	4.0587	15.27	0.0001	**
SUS*ESP	4	3.1768	0.7942	2.99	0.0208	*
ERROR	150	39.8600	0.2657			
TOTAL	159	143.8919				

ANEXO 4. Prueba de Tukey de la variable plantas micorrizadas y no micorrizadas de las dos especies de arbustos en cinco sustratos diferentes con una  $\alpha = 0.05$ , experimento N°3.

VARIABLE	MEDIAS	DES VIACION ESTANDAR	ERROR ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	T	DF	PROB >   T
MICORRIZADA	5.7345	0.45382	0.2269	5.3500	6.2833	1.6179	4.8	0.1689
NO MICORRIZADA	5.3100	0.2657	0.1328	5.0800	5.5500	1.6179	6.0	0.1568

ANEXO 5. Análisis de varianza de la variable diámetro de las dos especies de arbustos en cinco sustratos diferentes, con estrés hídrico con una  $\alpha = 0.05$ , experimento N°4.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	SIG
SUS	4	3.5906	0.8976	15.85	0.0001	**
ESP	1	2.2041	2.2041	38.92	0.0001	**
SUS*ESP	4	0.2433	0.0608	1.07	0.3792	NS
ERROR	50	2.8316	0.0566			
TOTAL	59	8.8698				

ANEXO 6. Análisis de varianza de la variable altura de las dos especies de arbustos en cinco sustratos diferentes, con estrés hídrico con una  $\alpha = 0.05$ , experimento N°4.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	SIG
SUS	4	83.0356	20.7589	42.60	0.0001	**
ESP	1	2.6460	2.6460	5.43	0.0239	*
SUS*ESP	4	9.2990	2.3247	4.77	0.0024	**
ERROR	50	24.3666	0.4873			
TOTAL	59	119.3473				

ANEXO 7. Análisis de varianza de la variable altura de las dos especies de arbustos en cinco sustratos diferentes, después del estrés hídrico con una  $\alpha = 0.05$ , experimento N°4.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	SIG
SUS	4	139.5743	34.8935	12.76	0.0001	**
ESP	1	4.0041	4.0041	1.46	0.2319	NS
SUS*ESP	4	38.1650	9.5412	3.49	0.0137	*
ERROR	50	136.6850	2.7337			
TOTAL	59	318.4285				

ANEXO 8. Análisis de varianza de la variable diámetro de las dos especies de arbustos en cinco sustratos diferentes, después del estrés hídrico con una  $\alpha = 0.05$ , experimento N°4.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	SIG
SUS	4	5.1116	1.2779	4.81	0.0023	**
ESP	1	4.4826	4.4826	16.86	0.0001	**

SUS*ESP	4	1.2290	0.3072	1.16	0.3415	NS
ERROR	50	13.2900	0.2658			
TOTAL	59	24.1133				