

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**CARRERA DE BIOLOGÍA**

**Establecimiento de *Yucca filifera* mediante el uso de micorrizas y de microclimas generados por nodrizas en una parcela de Tezontepec de Aldama, Hidalgo**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGO

PRESENTA:

**GONZÁLEZ RANGEL ARIADNA RAQUEL**

DIRECTOR DE TESIS: DR. ARCADIO MONROY ATA

UNIDAD DE INVESTIGACION EN ECOLOGÍA VEGETAL

Investigación realizada con financiamiento de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (UNAM), mediante el proyecto PAPIIT IN26610



MÉXICO, D.F., JUNIO DE 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

Dedicada a mis padres por su amor, su apoyo, su constante esfuerzo para conmigo, en estos años de mi vida académica.

## AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por guiarme y permitirme conseguir un logro más para mi vida.

A mi familia por su paciencia, comprensión y palabras de aliento para seguir adelante y poder concluir satisfactoriamente.

A mi director de tesis así como a mis sinodales pues sus consejos siempre fueron de manera acertada, de este modo mi trabajo se pudo enriquecer.

Finalmente a todos mis amigas(o), que estuvieron conmigo en esta etapa, compartiendo momentos de tranquilidad así como de estrés pero siempre teniendo en la mente que si uno caía el otro lo levantaría.

INDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. ANTECEDENTES.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1 Zonas áridas y semiáridas.....	5
3.2 Recuperación vegetal.....	6
3.3 Hongos micorrizógenos arbusculares.....	6
3.4 Micrositio.....	10
3.5 Nodrizaje.....	10
3.6 Cactáceas.....	11
3.6.1. Género <i>Opuntia</i> .....	11
3.7 <i>Yucca filifera</i> Chabaud.....	12
3.7.1 <i>Uso de Yucca filifera</i> .....	13
4. JUSTIFICACIÓN.....	14
5. PROBLEMÁTICA CIENTIFICA.....	15
6. HIPÓTESIS.....	15
7. OBJETIVO GENERAL.....	15
7.1 Objetivos Particulares.....	15
8. ZONA DE ESTUDIO.....	16
9. METODOLOGÍA.....	18
9.1 Trabajo en laboratorio.....	18
9.2 Trabajo en campo.....	22
9.3 Trabajo en gabinete.....	24
9.3.1 Diseño experimental.....	25
10. RESULTADOS.....	25
11. DISCUSIÓN.....	33
12. CONCLUSIONES.....	36
13. RECOMENDACIONES.....	37
14. REFERENCIAS.....	38
15. ANEXOS.....	46

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Diversidad y densidad de esporas de HMA en 100 g de suelo del Parque Ecológico “Cubitos” de Pachuca, Hgo.....	pág. 18
TABLA 2. Técnicas utilizadas para la obtención de las propiedades físicas y químicas del suelo.....	pág.20
TABLA 3. Método para obtener el promedio de cada parámetro registrado mensualmente.....	pág.24
TABLA 4. Resultados del Análisis físico-químico del suelo.....	pág.26
TABLA 5. Sinopsis de resultados en los diferentes tratamientos que se llevaron a cabo en el experimento.....	pág.36

## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Diagrama de hongos micorrizógenos arbusculares mostrando cómo las hifas penetran el córtex de una raíz para formar arbusculos y vesículas. Imagen realizada por Mariano García Díaz (De la Rosa y Monroy, 2006).....pág. 9
- Figura 2. Agavaceae. A. *Yucca filifera* Chabaud (Sánchez, 1979).....pág. 13
- Figura 3. Zona de estudio. Granja Integral de Policultivo de Tezontepec de Aldama, Hgo.....pág. 17
- Figura 4. Ubicación de los puntos de muestreo del suelo.....pág. 21
- Figura 5. Nodrizas seleccionadas para el estudio.....pág.22
- Figura 6. Croquis de la ubicación de *Yucca filifera* con su respectivo tratamiento....pág. 23
- Figura 7. Porcentaje de supervivencia a los 396 días del trasplante de *Yucca filifera* en tratamientos M+ plantas inoculadas con HMA (hongos micorrizógenos arbusculares) y M- plantas sin inóculo de HMA.....pág. 26
- Figura 8. Supervivencia de *Yucca filifera* a los 396 días del trasplante a) inoculación hongos micorrizógenos arbusculares (M+); b) sin inóculo de hongos micorrizógenos arbusculares.....pág. 27
- Figura 9. Altura promedio de *Yucca filifera* en dos tratamientos, con hongos micorrizógenos arbusculares (M+) y sin hongos micorrizógenos arbusculares

(M-).....pág. 28

Figura 10. Aspecto de *Yucca filifera* a los 177 días de trasplante a) inoculada con HMA; b) sin inóculo de HMA (hongos micorrizógenos arbusculares).....pág. 28

Figura 11. Cobertura promedio de *Y. filifera* durante, los tratamientos con hongos micorrizógenos arbusculares (M-) y sin hongos micorrizógenos arbusculares.....pág.29

Figura 12. Cobertura de *Yucca filifera* a los 365 días del trasplante a) inoculada con HMA (M+); b) sin HMA (M-).....pág. 30

Figura 13. Promedio del número de hojas de *Yucca filifera* en tratamiento con hongos micorrizógenos arbusculares (M+) y sin inóculo micorrizógenos arbusculares (M-).....pág. 31

Figura 14. Número de hojas de *Yucca filifera* a los 335 días del trasplante a) con inóculo de HMA (M+); b) sin inóculo de HMA (M-).....pág. 32

Figura 15. Resultados del registro de temperatura y precipitación, durante el estudio.....pág.32

---

**González R.A.R.**

---



## RESUMEN

Las zonas áridas y semiáridas en México presentan algún grado de perturbación y se requieren técnicas eficientes de reintroducción de especies nativas, a fin de mitigar el deterioro de la vegetación y del suelo. Por ello, en este trabajo, se trasplantaron individuos de *Yucca filifera*, previamente inoculados con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), a una parcela ubicada en Tezontepec de Aldama, en el estado de Hidalgo. Cada individuo, micorrizado y no micorrizado, fue trasplantado bajo la cobertura de una planta nodriza perteneciente al género *Opuntia* con 10 repeticiones de cada tratamiento en condiciones de campo. Posteriormente se hizo el seguimiento mensual del desarrollo de las plantas de *Yucca filifera* mediante los siguientes parámetros: supervivencia, altura, diámetro mínimo y máximo y número de hojas de cada individuo, y así determinar el efecto de la micorrización en *Yucca filifera*. Los datos registrados se procesaron mediante un análisis de varianza de un factor: micorrización, es decir, con y sin inóculo micorrícico.

Los resultados mostraron que la supervivencia de las plantas micorrizadas fue significativamente mayor (100%) ( $p= 0.0001$ ), respecto a las no micorrizadas (50%). En relación a la altura, cobertura y número de hojas, también fueron significativamente mayores éstas en las plantas inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), ( $p= 0.0062$ ,  $p=0.00016729$ , y  $p=0.00008$ , respectivamente). Por lo anterior se concluye que la inoculación de HMA en plantas de *Yucca filifera* es favorable en la reintroducción de especies nativas, lo cual se puede emplear en programas de rehabilitación vegetal, a fin de promover su desarrollo y supervivencia en condiciones de campo, mitigando el deterioro de la vegetación y del suelo.

## 1. INTRODUCCIÓN

En México, los ecosistemas áridos y semiáridos cubren más del 60% del territorio nacional, además de ser depositarios de aproximadamente 6000 especies de plantas y de elevados niveles de endemismos (Montaño *et al.*, 2007). Sin embargo, estas zonas presentan distintos grados de deterioro en su vegetación y suelo, debido a que la cobertura vegetal es continuamente fragmentada y eliminada por la extracción de leña, la sobreexplotación de algunas especies, incendios, la expansión de la frontera agrícola y la ganadería, entre otras causas (Cavazos, 1997).

Por lo anterior, es importante contar con estrategias ecológicas como modelos de reconstrucción de ecosistemas áridos y semiáridos, que permitan rehabilitar el suelo, incrementar la captación hídrica y mantener una comunidad vegetal, a fin de preservar procesos ecológicos y el hábitat de numerosos endemismos (De la Rosa y Monroy, 2006).

Una estrategia ecológica que actualmente ha dado resultados positivos en la recuperación de la cubierta vegetal es trasplantar individuos inoculados con simbiontes radicales que aumentan la supervivencia, promoviendo un mejor desarrollo y crecimiento de la plantas. Dentro de las simbiosis mutualistas de los vegetales, los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), son las más extendidas, ya que se estima que entre el 80 y 90% de las plantas terrestres la presenta (Barea, 1998).

El Valle del Mezquital, Hgo, forma parte del Valle de Mixquiahuala este se caracteriza por ser un ambiente semiárido donde se ubica la Granja Integral de Policultivo de Tezontepec de Aldama, las actividades que se realizan en esta zona son diversas, en espacios reducidos con alta rentabilidad, entre las que destacan la producción de lombricomposta, la crianza y reproducción de peces como la Carpa Koi entre cinco especies más, la siembra de frutas y hortalizas como fresa, limón, melón, tomate, calabaza, granada, ciruelos y duraznos.

Las micorrizas pueden formar asociaciones entre las raíces de las plantas terrestres y determinados hongos del suelo como los de la división *Basidiomycota*, *Ascomycota* y *Glomeromycota* (Frank, 1885; Lynch, 1990). Las ventajas de esta asociación micorrícica ha sido documentada en las últimas décadas (Gadkar *et al.*, 2001; Jakobsen *et al.*, 2002) donde el aporte de los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), se destaca en los aspectos de mejorar el estado hídrico y la nutrición mineral de la planta. A cambio, ésta proporciona fotoasimilados a los hongos. En los ambientes áridos esta asociación parece ser crucial para la supervivencia de las plantas (Beena *et al.*, 2000; Stutz *et al.*, 2000). Una de las especies ampliamente distribuida en estos ambientes, es la palma china, por su alta resistencia a la sequía y su valor económico es importante propagarla y reintroducirla en hábitats deteriorados para la rehabilitación de la vegetación. Sin embargo, se sabe que puede inducirse con mayores probabilidades de éxito, si se micorrizan las plantas a reintroducir con inóculo de HMA nativo (Monroy *et al.*, 2007).

## 2. ANTECEDENTES

Estudios de establecimiento vegetal que se han desarrollado de manera favorable a nivel de campo en zonas semiáridas empleando hongos micorrizógenos arbusculares.

De la Rosa y Monroy (2006), desarrollaron una investigación sobre mosaicos de vegetación para la restauración ecológica en una zona semiárida, esto, mediante la inoculación de los hongos micorrizógenos arbusculares de las especies vegetales (huizache y gatuño), los cuales influyeron en la supervivencia y desarrollo de las plantas a diferencia de las no micorrizadas.

Monroy *et al.* (2007), realizaron un trabajo sobre el establecimiento de plantas mediante el uso de micorrizas y de isla de recursos en un matorral xerófilo deteriorado. En este estudio se registró la supervivencia de plantas de (mezquite y de huizache), previamente inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares,

en condiciones de campo, durante un año. Cada individuo micorrizado y no micorrizado fue trasplantado bajo una planta nodriza. Los resultados mostraron que la micorrización de plantas de mezquite y de huizache aumenta de manera significativa la supervivencia. Respecto a la planta nodriza no se encontraron diferencias en el porcentaje de supervivencia.

Asimismo, Monroy y García (2009), reportaron un estudio sobre hongos micorrizógenos arbusculares en prácticas de cubierta vegetal en un ambiente semiárido. En este trabajo se determinó la influencia de la aplicación de un inóculo, con hongos micorrizógenos arbusculares, sobre el desarrollo de cuatro especies leñosas, en condiciones de invernadero y campo. Los resultados en condiciones de invernadero muestran que las especies presentan mayores tasas de crecimiento y una mayor eficiencia en el uso de agua. En el experimento en condiciones de campo, la supervivencia de las plantas micorrizadas fue significativamente mayor.

Más de la mitad del territorio mexicano está cubierto en su mayor parte por diversos tipos de comunidades arbustivas, que se alternan con pastizales y aislada vegetación que reciben el nombre genérico de matorral xerófilo. Estas comunidades poseen un potencial de recursos naturales considerados como forestales, susceptibles de ser aprovechados de manera sostenible, por lo que en los últimos 100 años se aceleró la sobreexplotación de especies vegetales en matorrales xerófilos. En el presente trabajo se seleccionaron plantas representativas de zonas semiáridas con diversidad de usos como: *Yucca filifera*, y a que es endémica de ambientes semiáridos debido a que es resistente a las sequías, sin embargo se reintrodujo a campo vigorizada (con hongos micorrizógenos arbusculares) y no vigorizada, ya que las ventajas de ésta asociación son determinantes para la supervivencia de *Y. filifera*, estas se situaron dentro de microsítios, los cuales aportan condiciones de humedad. La otra especie vegetal forma parte del género *Opuntia*, que fungirá como planta nodriza, ya que éste forma parte de la vegetación *in situ* de la zona de estudio, proporcionándole

sombra a *Yucca filifera*. Este sistema (HMA, micrositio y nodrizaje vegetal), en conjunto, favorecen la recuperación de la cubierta vegetal.

Asimismo, *Yucca filifera* forma parte de la cadena alimenticia de animales con lo que coexiste en campo como conejos, liebres, etc.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS**

Las tierras áridas y semiáridas ocupan más de la mitad del territorio mexicano distribuyéndose en más de 500 municipios de los principales estados del norte y centro de México, con un territorio cercano a 100 millones de ha. En estas zonas se desarrollan diversos tipos de comunidades arbustivas, alojando 10 tipos de vegetación de ambientes secos o matorral xerófilo así como una gran variedad de pastizales y vegetación halófito (Rzedowski, 1968).

En los últimos 100 años, los matorrales y pastizales xerófilos han sido sometidos a un intenso sobrepastoreo, debido a la introducción del ganado bovino y en especial del ganado caprino, lo que acelera la sobreexplotación selectiva de algunas especies de plantas, propias del matorral xerófilo, tales como la lechuguilla y candelilla, alterando la estructura y diversidad de sus comunidades (Challenger, 1998) por lo que es necesario revertir la perturbación, ya que albergan más de 6000 especies de las cuales un 40% son endémicas.

### **3.2 RECUPERACIÓN DE CUBIERTA VEGETAL**

La vegetación juega un papel fundamental en la conservación del suelo (Thornes, 1990), por lo que es habitual que se considere a la recuperación de la cubierta vegetal como una de las técnicas adecuadas para mitigar, o incluso revertir, los efectos de la desertificación (Reynolds, 2001). La revegetación es el proceso en donde las plantas colonizan un área de la cual ha sido removida su cobertura vegetal original por efecto de un disturbio. Se ubica como la primera etapa dentro de la restauración ecológica, siendo esta la disciplina que estudia los procesos ecológicos que promueven la reconstrucción de ecosistemas deteriorados, analiza técnicas que favorecen la sucesión ecológica, la descontaminación de suelo y agua, la reintroducción de especies, la rehabilitación edáfica, la captación y retención de humedad en el suelo y el establecimiento de una nueva cubierta vegetal, entre otras (Monroy y García, 2009).

### **3.3 HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES**

En la última década se han trabajado con los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), por los beneficios que éstos aportan a las plantas, los cuales son los siguientes:

- Los HMA contribuyen a la nutrición mineral de la planta, en especial mediante el aporte de fósforo por adsorción, translocación y transferencia; también participan en la nutrición nitrogenada de la planta y en la adquisición de otros nutrimentos como zinc y cobre; se considera que los HMA probablemente podrían translocar potasio, calcio, magnesio y azufre.
- Control biológico para algunos parásitos provenientes del suelo e incremento de la tolerancia de la planta a patógenos.
- Efecto positivo sobre el desarrollo y distribución de la biomasa vegetal.

- Introducción de la producción de hormonas estimulantes o de reguladores de crecimiento vegetal.
- Incremento en la relación parte aérea/raíz de la planta micorrizada.
- Interacción positiva con fijadores libres y simbióticos de nitrógeno y otros microorganismos de rizósfera.
- Mejoramiento de la tolerancia a condiciones de estrés hídrico y de salinidad, debido a que las hifas de los HMA exploran un mayor volumen edáfico, en relación al suelo en contacto con las raíces. Por ello los HMA son fundamentales en zonas áridas y semiáridas (De la Rosa y Monroy, 2006).

Tradicionalmente se reconocen cinco grupos de micorrizas basándose en criterios morfológicos, anatómicos y sistemáticos tanto de las plantas como de los hongos (Lynch, 1990).

Tales grupos son ectomicorrizas, micorrizas de ericales, micorrizas de Orchidaceae, ectoendomicorrizas y micorrizas arbusculares, también llamadas endomicorrizas.

Se estima que cerca del 95% de las especies de plantas superiores son micotróficas, es decir que se asocian con hongos micorrizógenos (Trappe, 1987), pero existen reportes de micorrizas arbusculares que ocurren también en pteridofita (helechos) y en plantas no vasculares como las briofitas (Scagel *et al*, 1982; Brown, 1982; Bonfante-Fasolo, 1984).

Un grupo de micorrizas omnipresente en la mayoría de los ecosistemas es el de los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), los cuales en el presente constituyen un *phylum novo*: Glomeromycota (Schulber *et al.*, 2001). Los HMA pueden explorar mayores volúmenes de suelo que las raíces, aportando minerales (esencialmente fosfatos) y agua a las plantas mediante sus hifas, en tanto, los vegetales (fitobionte) transfieren entre el 10 y el 20% de sus azúcares al hongo

micorrízico (micobionte) (Gerdeman, 1968): esta asociación contribuye al establecimiento, crecimiento, productividad y supervivencia de comunidades vegetales, tanto cultivadas como naturales. Los HMA predominan en ecosistemas donde la mineralización de materia orgánica es lo suficientemente rápida para evitar su acumulación, en hábitats donde los fosfatos edáficos son escasos y en zonas donde las plantas presentan regularmente estrés hídrico (Wilcox, 1996).

Asimismo, los HMA de una comunidad vegetal madura constituyen una malla que interconecta las raíces de las plantas mediante una densa y extensa red de hifas, las cuales, por un lado, crecen a lo largo del córtex radical, en el interior de raicillas finas; por otro lado, las hifas externas se expanden en el sustrato, estas últimas son alargadas, dimórficas y están compuestas de una pared tosca, irregular y gruesa; también, las hifas del suelo son capaces de producir células auxiliares y esporas de cubierta múltiple (Gerdeman, 1968).

Según De la Rosa y Monroy (2006), los componentes que conforman la morfología de los HMA son los siguientes.

a) Arbúsculos

Los arbúsculos son normalmente terminales que actúan como órganos de intercambio de nutrimentos entre la célula vegetal y el huésped (Gerdeman, 1968). La formación de arbúsculo aumenta la actividad metabólica de la célula del hospedero, la cual es principalmente debida a la transferencia bidireccional de metabolitos y nutrimentos entre la planta y el hongo (Sieverding, 1991).

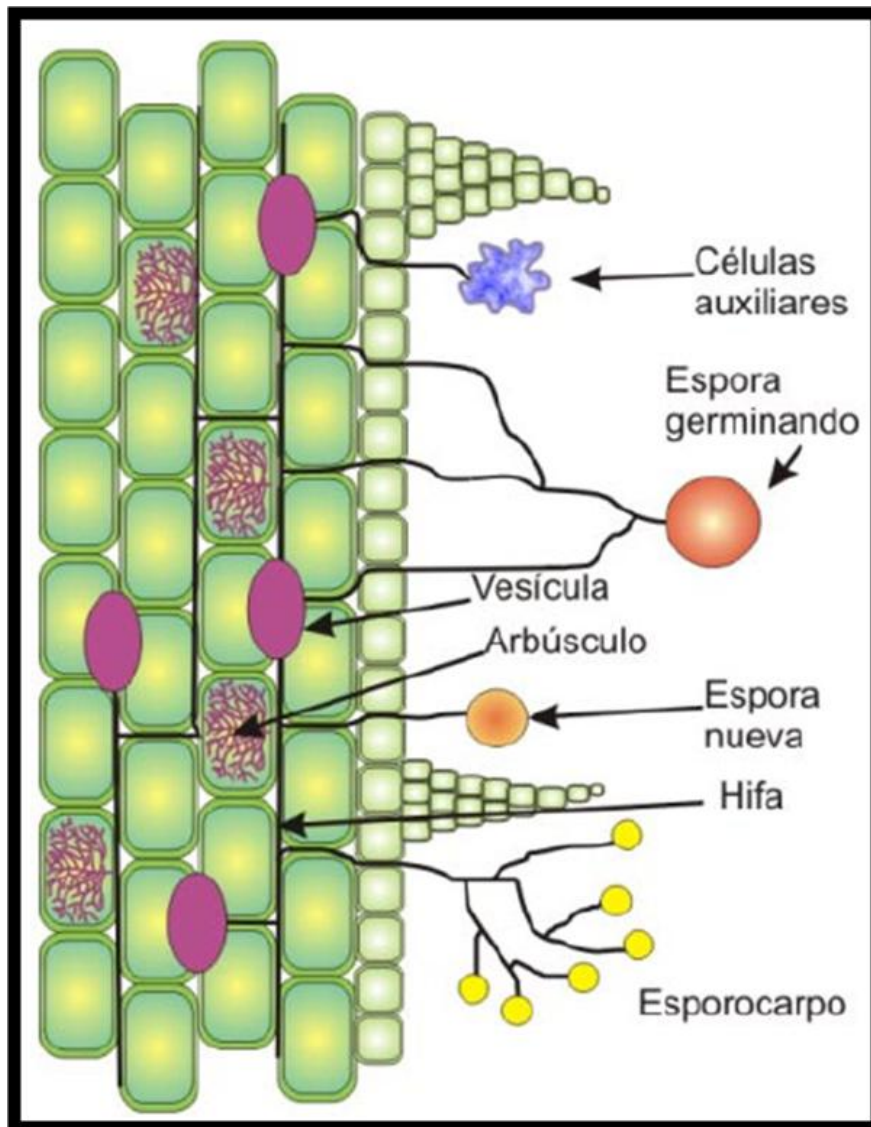
b) Vesículas

Las vesículas son hinchamientos apicales de la hifa, las cuales contienen lípidos y son órganos de reserva del hongo. Durante situaciones de estrés (bajo suministro de agua o metabolitos desde la planta hospedera), estas reservas son utilizadas por el hongo y entonces las vesículas degeneran (De la Rosa y Monroy, 2006).



c) Esporas

Las esporas son estructuras de color blanco, crema, amarillo, naranja o café y a veces con tintes verdes. Presentan forma globosa a subglobosa, irregular y elíptica (sobre todo aquéllas extraídas desde raíces micorrizadas). Miden de 40 a 140  $\mu\text{m}$  (Figura 1).



**Figura 1.** Diagrama de un hongo micorrizógeno arbuscular mostrando cómo las hifas penetran el córtex de una raíz para formar arbusculos y vesículas. Imagen realizada por Mariano García Díaz (De la Rosa y Monroy, 2006).

### 3.4 MICROSITIO

Un micrositio es el lugar particular con características propias que pueden favorecer o no a las especies vegetales, normalmente con fines de restauración ecológica, y debe reunir un mínimo de condiciones para favorecer el desarrollo de las plantas.

La supervivencia de las especies vegetales es la respuesta de las condiciones ambientales del micrositio (temperatura, luz disponible, humedad y nutrientes) (Price *et al.*, 2001). En latitudes medias del hemisferio Norte es importante plantar los vegetales al noreste de tocones y rocas para tomar ventaja de su sombra (Beaufait *et al.*, 1984).

En el caso de los ecosistemas áridos, un micrositio es un lugar que contenga una reserva hídrica en el suelo, utilizable por las plantas, es decir un espacio de alta captación de agua de lluvia. Los micrositios pueden ser ubicados junto a una roca o bajo un cubierta de gravilla, en donde se forma una reserva hídrica en el sustrato edáfico; también en lugares bajos, junto a declives o en pendientes, que colecten lluvia de áreas más altas por escurrimiento superficial o en microcuencas, que concentran en una pequeña superficie la lluvia colectada en el área de captación del micrositio (De la Rosa y Monroy, 2006).

### 3.5 NODRIZAJE

Las plantas nodrizas son importantes, ya que facilitan el establecimiento de plántulas de otras especies bajo su dosel; esto ocurre porque bajo la cobertura de la planta nodriza se genera un microclima, que proporciona condiciones favorables para la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas, en contraste con las condiciones de suelos a cielo abierto (Franco y Nobel 1988, 1989). En regiones con climas áridos y semiáridos ha sido documentada su presencia de plantas nodrizas (Jordan y Nobel 1979; Franco y Nobel 1988, 1989; Pugnaire 1996), sin embargo, también se ha comenzado a explorar este fenómeno en comunidades

que se desarrollan en zonas con climas fríos (Greenlee y Callaway 1996). Destaca su protección contra herbívoros y contra temperaturas extremas, la acumulación de materia orgánica y mecanismos para allegarse agua de la neblina en la época de secas a este fenómeno se le denomina nodrizaje hídrico ya que el agua así condensada es frecuentemente aprovechada por otras plantas ubicadas debajo de la nodriza. (Franco y Nobel, 1988; Aguilar *et al.*, 1992; Cárdenas, 2009).

### **3.6 CACTÁCEAS**

Las cactáceas son plantas originarias y endémicas del continente americano con unas 2000 especies, distribuidas principalmente en las zonas áridas y semiáridas. Las distintas especies de la familia cactáceas se han aprovechado como fijadoras de suelo para evitar la erosión, como fuente de forraje sobre todo en época de sequía en las zonas áridas y semiáridas del país. Lo característico de las cactáceas, además de los tallos de formas extraordinarias y belleza de sus flores, es la anatomía de sus estructuras como los tejidos que tienen la capacidad de almacenar agua (Alanís y Velasco, 2008).

#### **3.6.1 GÉNERO *Opuntia***

Dentro de la familia de las cactáceas sobresale el género *Opuntia*, conocido comúnmente como nopales, constituyen de forma significativa a la regeneración, fijación y retención del suelo, por lo que este género es una alternativa contra la desertificación (Zimmermann *et al.*, 2007).

Las *Opuntia* son componentes dominantes de la flora mexicana de las zonas áridas y semiáridas, especialmente en los desiertos de Chihuahua y Sonora, zona árida Querétaro-Hidalguense y Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Estas constituyen uno de los grupos de plantas más importantes para mantener el equilibrio ecológico en grandes extensiones del territorio mexicano, donde las lluvias son escasas (Olivares *et al.*, 2003).

Los nopales son tolerantes a la sequía, al presentar una serie de adaptaciones, entre las que se encuentran la facultad de almacenar agua en sus tejidos,

condensan neblina a través de sus espinas o bien por las superficies cerosas de los cladodios y tallos, que repelan la humedad y propician la formación de gotas que luego se precipitan hacia la superficie. Presentan fotosíntesis con mecanismo CAM (metabolismo ácido crasuláceas), abren sus estomas por la noche, evitan la transpiración del calor diurno y convierten el CO<sub>2</sub> en ácido málico, al día siguiente, con los estomas cerrados, convierten el ácido málico en azúcares. Esto les permite adecuarse a condiciones que van desde zonas con precipitación pluvial muy escasa, hasta regiones con condiciones hídricas bastante elevadas, por lo que este género puede fungir como planta nodriza (Velázquez, 1962).

### **3.7 *Yucca filifera* Chabaud**

La *Yucca filifera* es una planta arborescente, que mide 10 m o más de altura, ramificada, con las hojas lanceoladas, agudas, fibrosas en el margen, miden 30-40 cm de largo, por 2-3 cm de ancho. Inflorescencia terminal, paniculada, con las flores de color blanco- cremoso. Fruto oblongo, abayado, de unos 6 cm con las semillas negras y planas (Sánchez, 1979) (Figura 2).

*Yucca filifera* pertenece a la familia Agavaceae la cual representa una de la pocas fuentes de supervivencia para numerosas comunidades de regiones que sufren escasez de lluvia y suelos pocos fértiles en los estados de Nuevo León, Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis Potosí, Zacatecas e Hidalgo (García, 1992).

Tiene una amplia distribución dentro de las zonas áridas y semiáridas con aproximadamente 1.5 millones de hectáreas de la región norte y centro de México (Nava *et al.*, 1980).

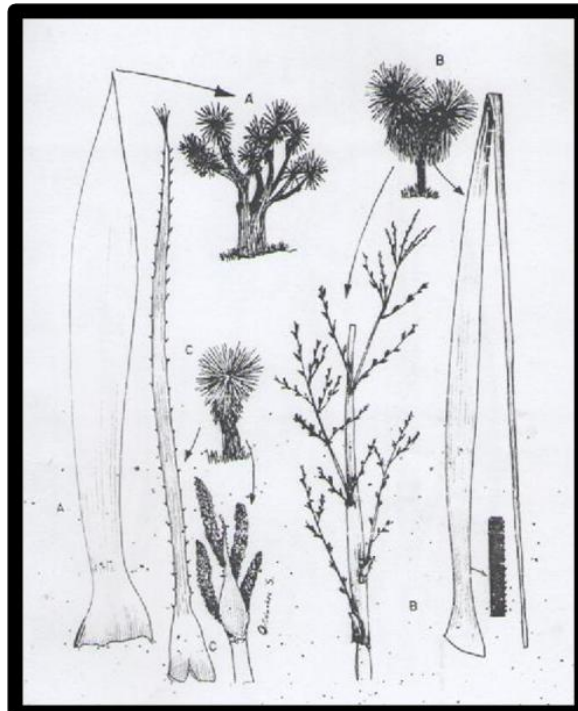


Figura 2. Agavaceae. A. *Yucca filifera* Chabaud (Sánchez, 1979).

### 3.7.1 Usos de *Yucca filifera*

Nombre común “palma china”, se utilizan todas sus partes; siendo sus flores y frutos los más aprovechados. Éstas son empleadas en la alimentación humana y del ganado. Por otra parte la semilla contiene componentes que son de interés para la industria, mientras que las hojas y el tronco son una importante fuente de fibra natural. Por ser una especie resistente a la sequia es usada en plantaciones en zonas áridas y semiáridas con fines de conservación de suelo (Riley, 1892; Trelease, 1907).

Desde el punto de vista biológico, el género *Yucca* reviste gran interés científico, debido a que todas sus especies son polinizadas de manera exclusiva por hembras de palomillas de la subfamilia Prodoxinae (Mckelvey, 1935).

#### 4. JUSTIFICACIÓN

La revegetación permite revertir el proceso de deterioro de los ecosistemas por medio del establecimiento de una nueva cubierta vegetal. Asimismo, el repoblamiento de los ecosistemas áridos y semiáridos, debe ser efectuado con plantas micorrizadas que proporcionen protección y tolerancia a las condiciones adversas del suelo (García, 2005), debido a que estas plantas viven en estrés a consecuencia de diferentes factores edáficos y ambientales. Por ello, la asociación entre hongos simbióticos y plantas están ampliamente distribuidas en los ecosistemas terrestres y es obligada para los hongos y necesaria para la supervivencia vegetal, a fin de mitigar particularmente el estrés hídrico y nutrimental de las plantas, en ambientes áridos y semiáridos.

Desde el punto de vista ecológico, especies vegetales como el mezquite, los huizaches, los nopales, las mimosas y los agaves son la base estructural de una comunidad vegetal del tipo matorral xerófilo. Estas plantas, además de propiciar múltiples interacciones biológicas, tienen una influencia significativa en el desarrollo de la comunidad, así como en la composición y dinámica de la vegetación y la fauna, ya que son plantas nodrizas y actúan como núcleos de colonización vegetal, refugio y fuente de alimento para la fauna silvestre y conforman las islas de recursos (García, 2005).

Existen algunos estudios que han reportado que la aplicación de inóculos de hongos micorrizógenos arbusculares es una alternativa para favorecer el establecimiento y crecimiento de plantas, en programas de recolonización vegetal en suelos, por lo que *Yucca filifera*, además de caracterizarse apta para suelos semiáridos y resistente a sequías, inoculada con HMA estará en mejores condiciones para afrontar las adversidades (Barea, 1998).

En el presente, hay pocos trabajos reportados sobre la utilización de plantas nodrizas como un factor ambiental constante en zonas semiáridas en condiciones

de campo, para fines de rehabilitación de la vegetación (Valiente y Ezcurra, 1991; Monroy *et al.*, 2007) y ninguno sobre el establecimiento en campo de *Yucca filifera* empleando hongos micorrizógenos arbusculares y micrositios de captación hídrica.

## 5. PROBLEMÁTICA CIENTIFICA

Este estudio tuvo como finalidad responder a la siguiente pregunta:

¿Qué efecto tiene en campo la micorrización en *Yucca filifera* sobre su supervivencia y su tasa de crecimiento relativo de ciclo anual bajo el microclima de una planta nodriza del género *Opuntia*?

## 6. HIPÓTESIS

Si se micorrizan plantas de *Yucca filifera* y éstas se refuerzan con plantas nodrizas para establecerlas en condiciones de campo, en una parcela de Tezontepec de Aldama en el estado de Hidalgo, entonces se incrementará significativamente el porcentaje de supervivencia y la tasa de crecimiento relativo.

## 7. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el establecimiento de plantas de *Yucca filifera* inoculada con hongos micorrizógenos arbusculares en condiciones de nodrizaje del género *Opuntia* en una parcela del municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo.

### 7.1 OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar la supervivencia de *Yucca filifera* bajo el sistema de cosecha de agua (planta nodriza).
- Determinar la tasa de crecimiento relativo de *Yucca filifera* bajo la planta nodriza.
- Caracterizar el desarrollo de *Yucca filifera* con y sin hongos micorrizógenos arbusculares bajo el nodrizaje vegetal.
- Generar un modelo de establecimiento vegetal para *Yucca filifera* con un alto porcentaje de supervivencia.

## 8. ZONA DE ESTUDIO

El Municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo significa “Cerro de Tezontle y del agua” se ubica a los 20° 11’ de latitud norte y a 99° 16’ de longitud oeste, con una altitud de 2,100 m.s.n.m con una extensión territorial de 12.8 km<sup>2</sup>; colinda al Noreste con el Municipio de Chapantongo, al Norte con el Municipio de Chilcuatla, al Oriente con los Municipios de Mixquiahuala y Tlahuelilpan, al Sur con Tlaxcoapan y Tula de Allende y al Poniente con Tepetitlán. La lluvia se presenta en los meses de mayo a octubre, la precipitación media es de 462.7 mm anuales, La flora es principalmente de matorral xerófilo, cuenta con plantas introducidas como pino y eucalipto. A la orilla de los ríos y manantiales se encuentran mezquites y árboles frutales como durazno, higo, capulín. La fauna silvestre está compuesta por pequeños animales como tlacuaches, zorrillos, liebres, conejos, ardillas, serpiente coralillo y cascabel; pájaros de diferentes especies y algunas otras aves cantoras (PDM, 2009-2012).

Todo el municipio se asienta en un inmenso valle comprendido dentro de la Altiplanicie Mexicana y la región geocultural del Valle del Mezquital, Hidalgo el lugar no cuenta con protección y defensa natural frente a los embates del viento que se mueve libremente hacia los cuatro puntos cardinales (PDM, 2009-2012).

La parcela de estudio se ubica en el Valle de Mixquiahuala, en la granja integral de policultivo de Tezontepec de Aldama en Hidalgo a los 20° 12’ 48” latitud norte; y a 99° 16’ 54.2” longitud oeste, con una altitud 2140 m.s.n.m. (Figura 3). Dentro de la Granja se llevan a cabo la crianza y reproducción de diferentes especies de peces; así como la siembra de frutas y hortalizas como durazno, fresa, limón, melón, tomate, lechuga, espinaca, calabaza, granada y ciruelos, etc.. Todo esto con fines productivos y económicos.



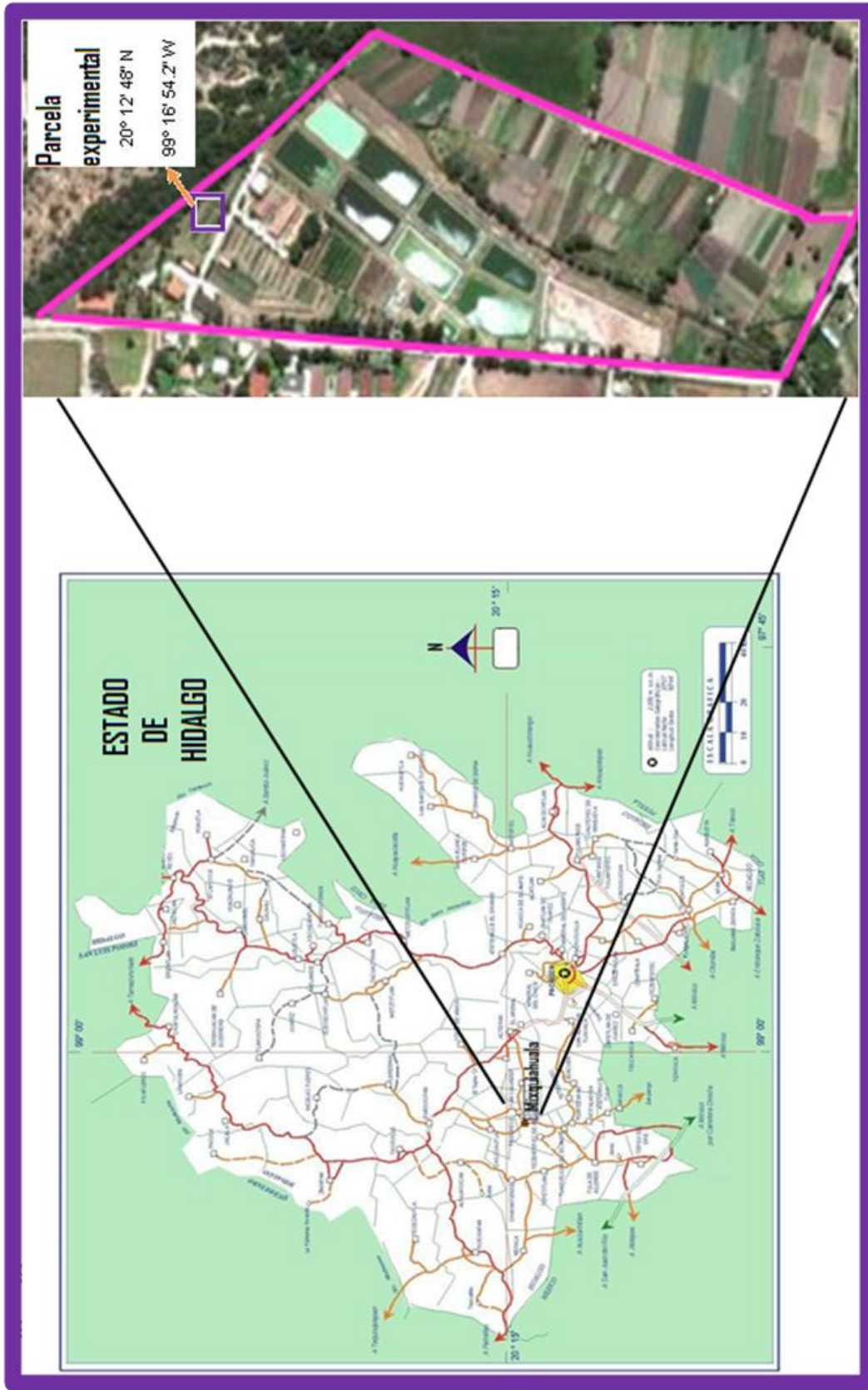


Figura 3. Zona de estudio. Granja integral de Policultivo de Tezontepec de Aldama, Hgo. Fuente: Google maps (1)

- Inoculación de la especie a trabajar

Las semillas de *Yucca filifera* se recolectaron en el Valle de Actopan, Hgo, en Octubre de 2009. Éstas se trataron en una cámara a 25° C en cajas petri con agar para llevar a cabo su germinación. Ya que la radícula presentó 5 cm de longitud se procedió al trasplante, esto ocurrió una semana y media después de la germinación.

Las especies de *Yucca filifera* se inocularon con esporas y suelo que se recolectaron en la rizósfera de *Bouteloua gracilis*, en el Parque “Cubitos”, en Pachuca, Hidalgo. El inóculo micorrizógeno usado para *Yucca filifera* se compone por los morfotipos listados en la Tabla 1 (Chimal *et al.*, 2009).

**Tabla 1. Diversidad y densidad de esporas de HMA en 100 g de suelo del Parque Ecológico “Cubitos” de Pachuca, Hgo.**

Morfotipo	proporción	Densidad esporas
Glomus sp1 blanco a amarillo paja aprox. 120µ (aff. mosseae)	36.7 %	105
Esporas sin hifa blanco con tintes amarillentos (quizás acaulospora p1)	8.04 %	23
Glomus sp2 amarillo aprox. 100µ	9.09 %	26
Glomus sp3 color naranja brillante aprox. 120µ	13.27 %	38
Glomus sp4 color amarillo-naranja	5.24 %	15
Acaulospora sp2 naranja aprox. 105µ	5.24%	15
Esporas naranja aprox. 65µ	2.5 %	7
Glomus sp5 naranja-rojizos aff. geosporum	9.44 %	27
Glomus sp6 rojo muy pequeño	3.5 %	10
Gigaspora amarillo-pálido 350 µ (aff.ramisorophora=margarita)	3.15 %	9
Acaulospora sp3	3.85 %	11
<b>11 morfotipos en total</b>	<b>100 %</b>	<b>286</b>

Para la inoculación de las plántulas de *Yucca filifera* se ocuparon 100 g de suelo con esporas por planta y se introdujo en la parte de en medio de las macetas de 7 cm de diámetro y 30 cm de altura; el sustrato fue esterilizado y se conformo con 2

partes en volumen de arena silica mediana y 1 de suelo del Valle de Actopan, Hgo.

En Julio del 2010 se inició el cultivo de *Yucca filifera* hongos micorrizógenos arbusculares con riego a capacidad de campo, cada semana, dicho proceso tuvo un periodo de duración de un año en condiciones de invernadero.

- Determinación de las propiedades físico y químicas del suelo

El suelo se recolectó en 6 áreas dentro la zona de estudio ubicada en la Granja de Policultivo de Tezontepec de Aldama, Hgo., a la mitad de la época de lluvias (octubre-noviembre) (Figura 4); después se hizo una mezcla compuesta la cual se tamizó con una malla 2 mm.

Posteriormente se realizó el análisis de las propiedades físico y químicas con 3 repeticiones, tales como textura, densidad aparente, densidad real, pH, materia orgánica, fósforo y nitrógeno total, las cuales se relacionan con la presencia de hongos micorrizógenos arbusculares; las técnicas empleadas de acuerdo a las normas oficiales mexicanas NOM-020-RECNAT, 2000; NOM-021-SEMARNAT-2000; Ríos (1985), se enlistan en la Tabla 2.

**Tabla 2 Técnicas utilizadas para la obtención de las propiedades físicas y químicas del suelo**

<b>Parámetro</b>	<b>Metodología</b>
<b>pH</b>	1:2 (suelo:H <sub>2</sub> O) Potenciómetro (NOM-021)
<b>Textura</b>	Procedimiento de Bouyoucos (NOM-021)
<b>Densidad aparente g/cm<sup>3</sup></b>	Método de la Probeta (Rios, 1985)
<b>Densidad real</b>	Procedimiento de Picnómetro (Rios, 1985)
<b>CE dSm<sup>-1</sup></b>	Método de saturación (IRENAT,2001)
<b>Nitrógeno total (%)</b>	Método semimicro- Kjeldhal (NOM-021)
<b>Materia orgánica (%)</b>	Método Walkley y Black (NOM-021)
<b>Fósforo (%)</b>	Olsen (NOM-021)

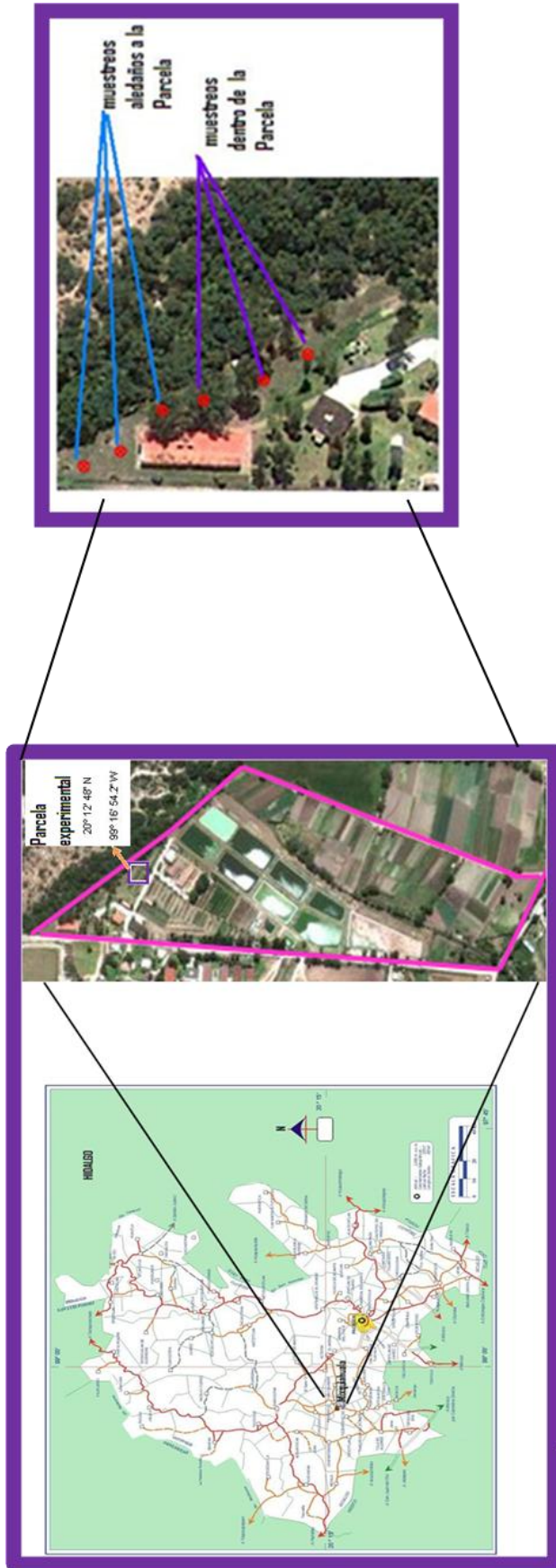


Figura 4. Ubicación de los puntos de muestro del suelo para realizar el análisis físico y químico.



## 9.2 TRABAJO EN CAMPO

- Selección de nodrizas

En la zona de estudio se seleccionaron 20 plantas que pudieran ser las mejores nodrizas: plantas de más de 1m de altura que proporcionen sombra, bien establecidas y saludables (Figura 5).



Figura 5. Nodrizas seleccionadas para el estudio.

Una vez seleccionadas las nodrizas se hizo una excavación al norte de ellas micrositios de 20x20 cm de superficie con una profundidad de 15 cm, donde se trasplantaron 20 individuos de *Yucca filifera*, los cuales fueron intercalados en nodrizas contiguas vigorizadas con hongos micorrizógenos arbusculares y no vigorizadas con hongos micorrizógenos arbusculares. Ya trasplantadas, se realizó mensualmente el registro de los siguientes parámetros: supervivencia, altura máxima, diámetro mínimo- máximo y número de hojas durante un ciclo anual (Fig. 6).

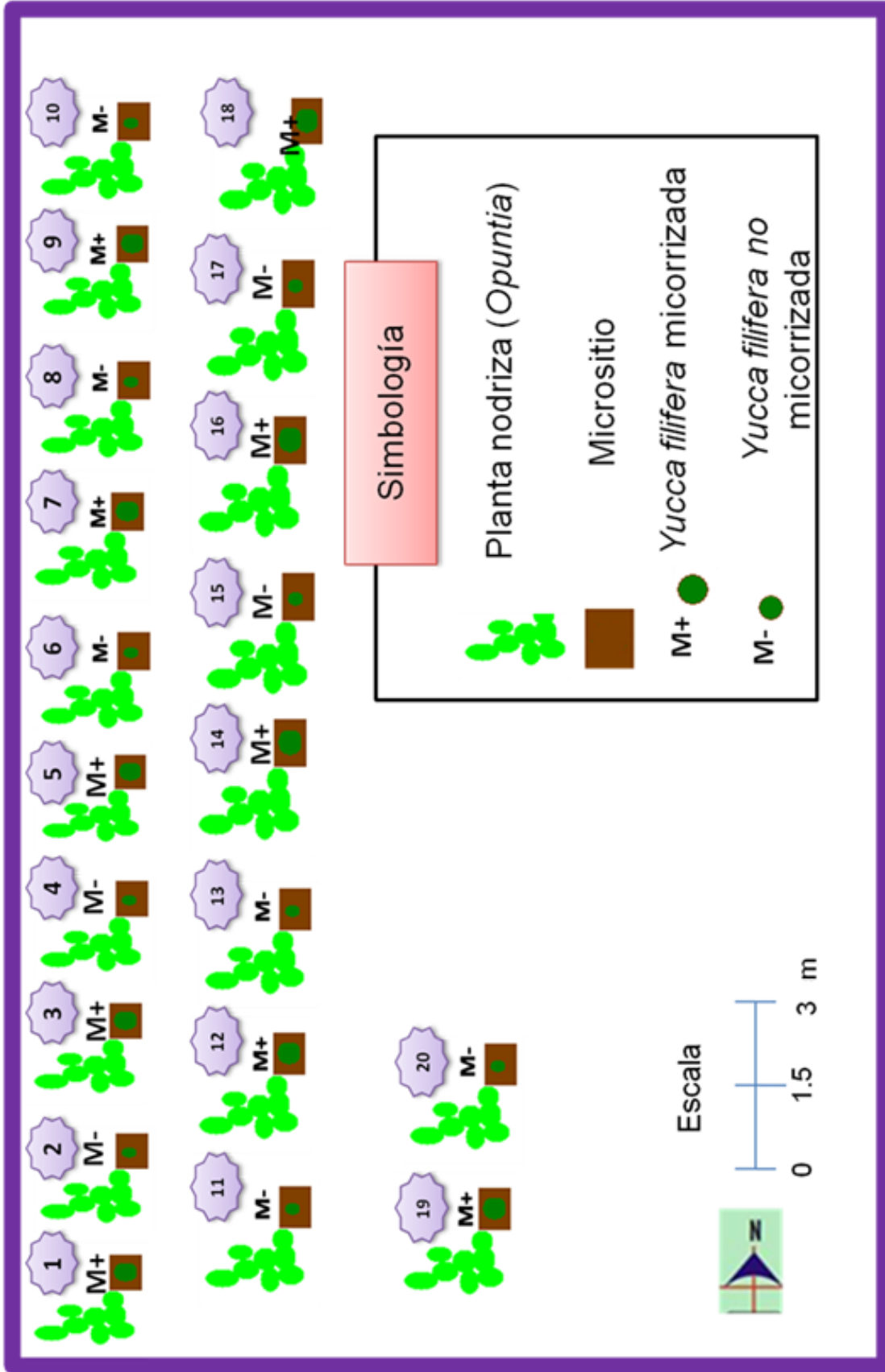


Figura 6. Croquis de la ubicación de *Yucca filifera* con su respectivo tratamiento.

- Registro de parámetros meteorológicos

Durante el periodo de diciembre del 2011 hasta septiembre del 2012, se registraron por medio de una estación meteorológica los parámetros de temperatura y precipitación dentro de la Granja Integral de Policultivo de Tezontepec de Aldama, Hgo.

### 9.3 TRABAJO DE GABINETE

Se realizó un promedio de los datos registrados durante todo el año. La Tabla 3 muestra la técnica empleada en el registro de cada parámetro.

**Tabla 3. Método para obtener el promedio de cada parámetro registrado mensualmente**

Parámetro	Técnica para el promedio del parámetro
Altura	Promedio aritmético de las alturas registradas mensualmente de las plantas micorrizadas y no micorrizadas.
Número de hojas	Promedio aritmético de la cantidad de hojas por cada individuo micorrizado por mes, del mismo modo el tratamiento no micorrizado.
Cobertura máxima- mínima	Suma del diámetro mayor más el diámetro menor entre 4, elevado al cuadrado por 3.1416 es decir: $(\frac{\square_1 + \square_2}{4})^2 * 3.1416$ , esto, para cada planta micorrizada, después sumar los resultados obtenidos de la fórmula y dividirlo entre el número de individuos que están vivos en ese mes. Esto se aplica para las plantas no micorrizadas y para cada mes.
Supervivencia	Tomar en cuenta solo los datos registrados en el último mes y contar las plantas que estén vivas al final del experimento y esto pasarlo a porcentaje (%)
TCR	Se calculo a partir de la altura máxima de las plantas al inicio y al final del ciclo anual. La fórmula empleada fue la siguiente: $TCR = \frac{\ln(altura\ final) - \ln(altura\ inicial)}{tiempo\ en\ dias}$



### 9.3.1 Diseño Experimental

El diseño experimental del trabajo de campo consistió en un análisis de varianza de un factor micorrización (con y sin inóculo micorrícicos), con 10 repeticiones de cada tratamiento. Los datos se procesaron mediante la prueba de ANOVA (paramétrica o no de acuerdo a la distribución de frecuencias de datos) de 1 factor (micorrización), empleando al lote no micorrizado como control.

Finalmente, se hizo un análisis comparativo de las técnicas de establecimiento vegetal inducido por la micorrización contra los testigos no micorrizados, así mismo un análisis de plantas con micrositio contra plantas sin micrositio y contra plantas con nodriza para observar si se encuentran diferencias significativas a fin de determinar un modelo práctico de rehabilitación ecológica de la vegetación en ecosistemas semiáridos deteriorados para *Yucca filifera*.

## 10. RESULTADOS

- Propiedades físico y químicas del suelo

Los resultados del análisis físico y químico de la muestra compuesta de suelo de la parcela experimental y las zonas aledañas se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4 Resultados del análisis físico y químico del suelo.

Parámetro	Muestra de suelo
pH	7.83 (alcalino)
Textura	Franco/ arenoso
Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	1.173
Densidad real	2.63
CE dSm <sup>-1</sup>	0.19
Nitrógeno total (%)	7.46 (bajo)
Materia orgánica (%)	0.537 (bajo)
Fósforo (%)	10.9 (medio)

En la Figura 8, se muestra la supervivencia de *Yucca filifera* en los tratamientos micorrizado y no micorrizado. En la imagen se observa que *Y. filifera* inoculada con hongos micorrizógenos arbusculares presentó el mayor porcentaje de supervivencia con un 100%, a comparación de *Yucca filifera* sin inocular la cual solo tuvo el 50%. La diferencia fue significativamente estadística ( $p = 0.0001$ ) (Tabla 5).

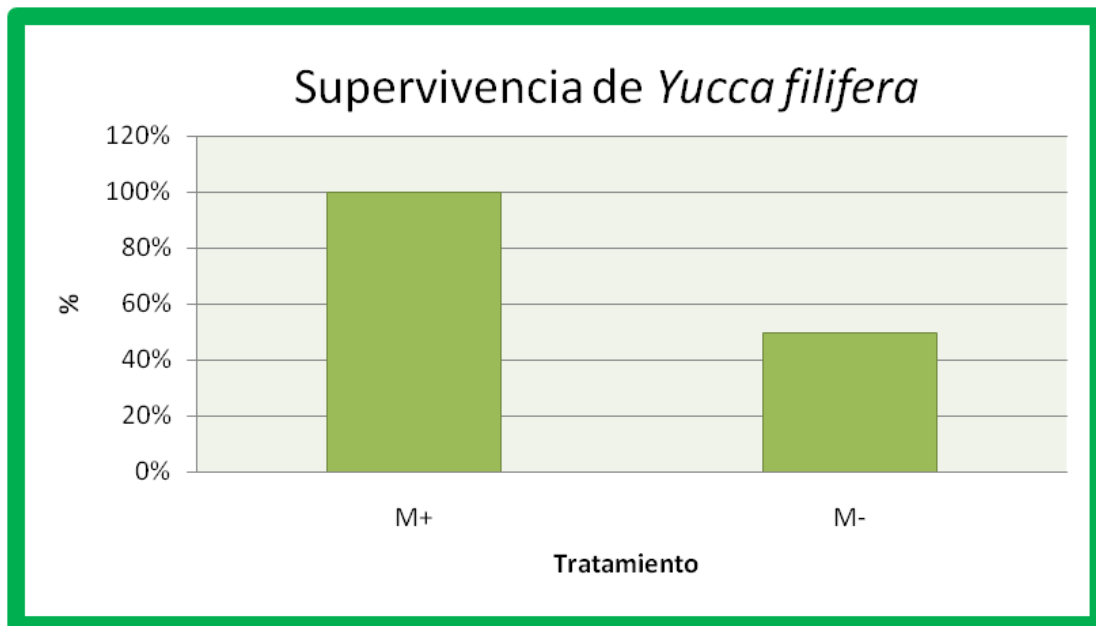


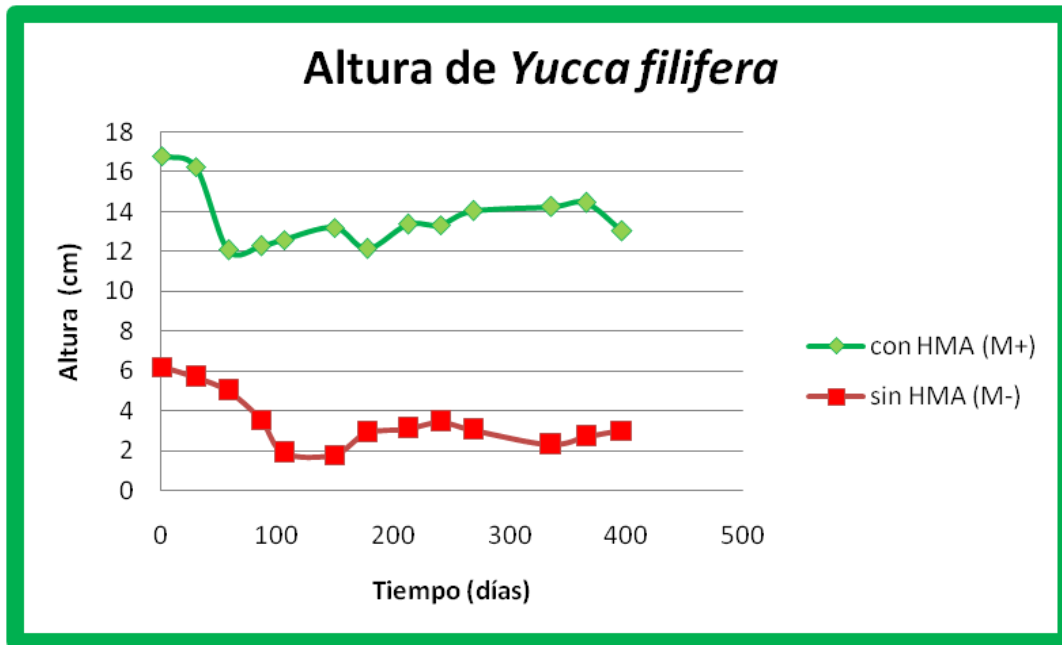
Figura 7. Porcentaje de supervivencia a los 396 días de trasplante de *Yucca filifera* en tratamientos M+ plantas inoculadas con HMA (hongos micorrizógenos arbusculares) y M- plantas sin inóculo de HMA.

Como se observa en la Figura 7, *Yucca filifera* con HMA (M+) sobrevivió y presenta un aspecto saludable a diferencia de *Yucca filifera* sin HMA (M-), cuyos individuos sobrevivientes presentaron estrés hídrico al final del ciclo anual de registro.



Figura 8. Supervivencia de *Yucca filifera* a los 396 días del trasplante a) inoculada con hongos micorrizógenos arbusculares (M+); b) sin inóculo de hongos micorrizógenos arbusculares (M-).

En la Figura 9, se muestra la altura promedio de las plantas de *Yucca filifera* bajo una planta nodriza en sus dos tratamientos con HMA (M+) y sin HMA (M-), observándose que el tratamiento M+ al inicio de su trasplante presentaba una altura 17 cm y en el transcurso de su establecimiento fue disminuyendo hasta 12 cm quedando al final con un promedio de 13 cm. Esta altura es mayor, que la del tratamiento M- que tiene un promedio de 3 cm al final. Estadísticamente hay una diferencia significativa ( $p= 0.0062$ ) (Tabla 5).



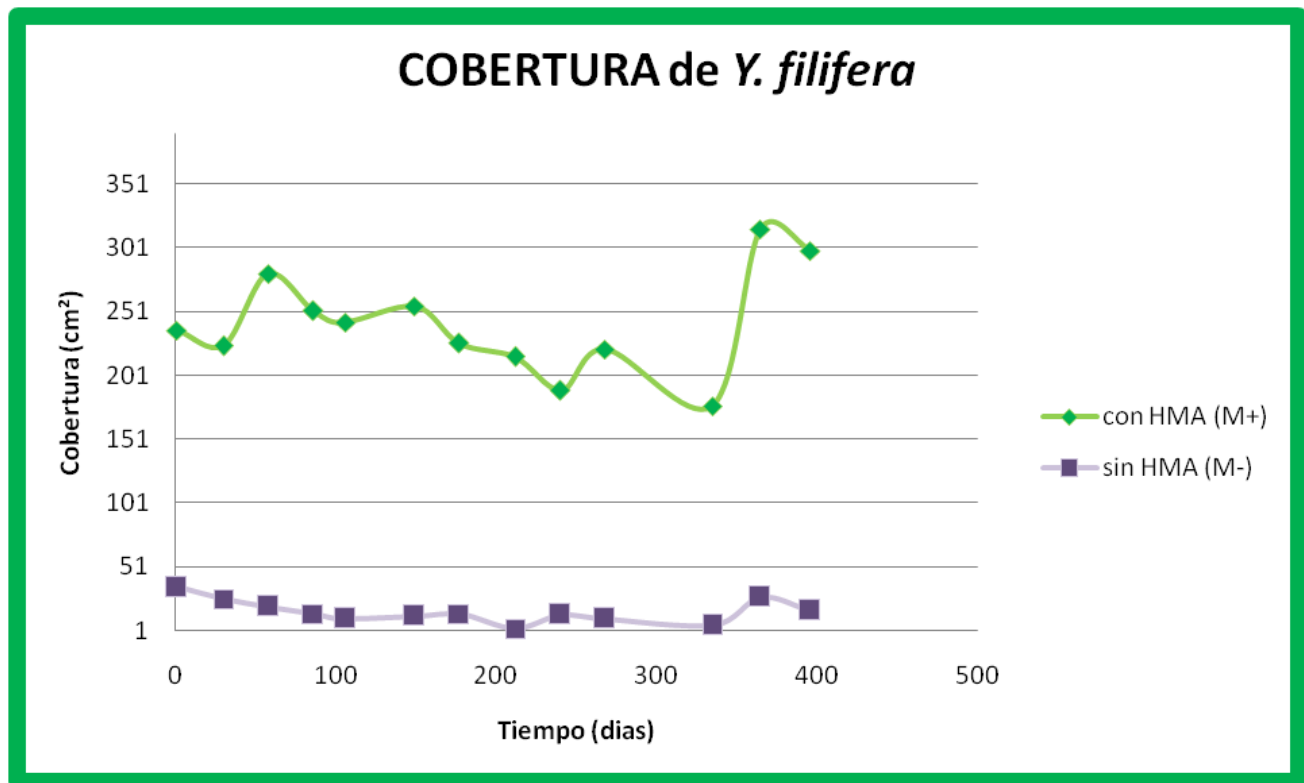
**Figura 9.** Altura promedio de *Yucca filifera* en dos tratamientos, con hongos micorrizógenos arbusculares (M+) y sin hongos micorrizógenos arbusculares (M-). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

En la Figura 10. La inoculación de *Y. filifera* favoreció el crecimiento además de mayor turgencia y un color verde intenso, en comparación con el testigo sin micorrizar.



**Figura 10.** Aspecto de *Yucca filifera* a los 177 días del trasplante a) inoculada con HMA; b) sin inoculo de HMA (hongos micorrizógenos arbusculares).

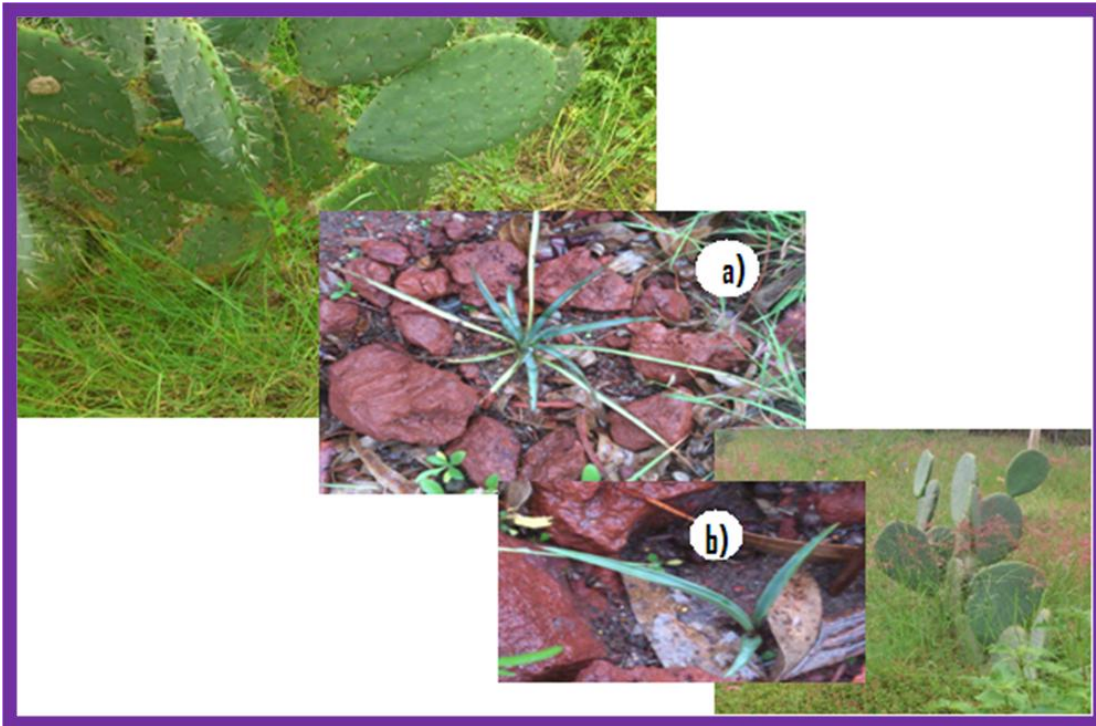
En la Figura 11, se graficó la cobertura de *Yucca filifera* M+ y M-; comenzando con un promedio de 236.2 cm<sup>2</sup>, no variando de manera relevante, hasta los 335 días donde alcanzó una cobertura promedio de 315 cm<sup>2</sup>, esto en contraste con lo que se observa en el Grafico 8, en donde el crecimiento disminuyó conforme al tiempo. Aquí se puede considerar que las hifas de los HMA de *Yucca filifera* micorrizada, exploraron mayores volúmenes de suelo, aprovechando de manera más eficiente los nutrientes encontrados, para lograr así un mayor desarrollo que *Yucca filifera* sin inóculo, la cual presentó un promedio muy por debajo al de las especies vegetales micorrizadas. Por lo que estadísticamente la cobertura igualmente presenta una diferencia significativa ( $p= 0.00016$ )



**Figura 11.** Cobertura promedio de *Y. filifera* durante, los tratamientos con hongos micorrizógenos arbusculares (M+) y sin hongos micorrizógenos arbusculares (M-) . Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

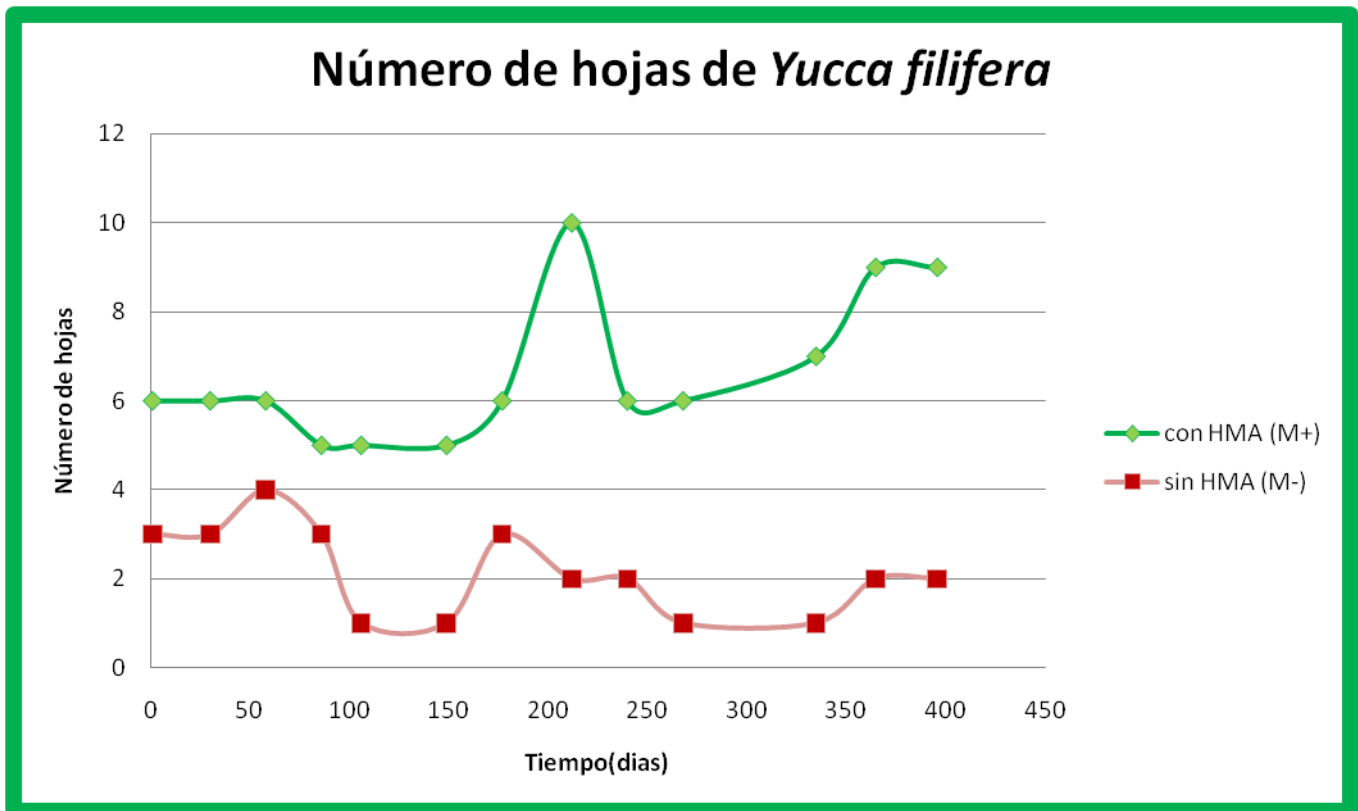


En la Figura 12, se observa una disimilitud entre los tratamientos con HMA y sin HMA, porque la cobertura de *Yucca filifera* inoculada muestra un diámetro mayor, que las plantas sin micorrizar, a pesar de que las condiciones ambientales son constantes para ambas.



**Figura 12.** Cobertura de *Yucca filifera* a los 365 días del trasplante a) inoculada con HMA (M+); b) sin inóculo de HMA (M-).

En la Figura 13 se representa el número de hojas, donde la mayor cantidad se obtuvo en el tratamiento inoculado con hongos micorrizógenos arbusculares con promedio de 10 hojas, este dato está muy por encima de las plantas sin inocular pues estas llegan a un máximo de 4 hojas, durante todo el ciclo anual. El número de hojas estadísticamente también muestra diferencias significativas ( $p=0.00008$ ) (Tabla 5).



**Figura 13.** Promedio del número de Hojas de *Yucca filifera* en tratamiento con hongos micorrizógenos arbusculares (M+) y sin inóculo micorrizógenos arbusculares (M-). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

En la Figura 14 se distingue un mayor número de hojas en las plantas inoculadas con HMA, en comparación con *Y. filifera* sin micorrizar, ya que éstas presentan un número menor de hojas, asociado a un color verde menos intenso y una cierta fragilidad que la puede llevar a quebrarse fácilmente.

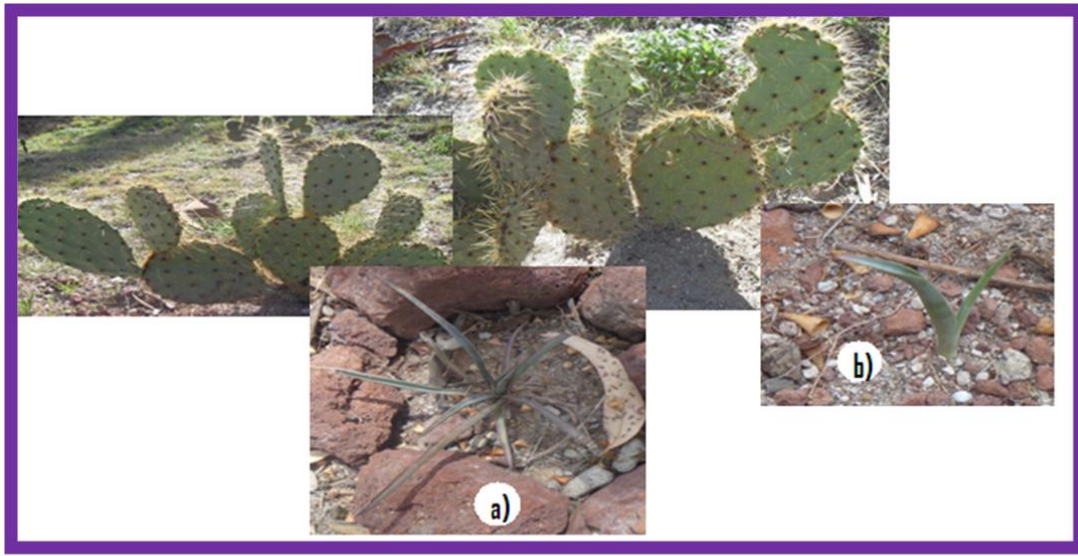


Figura 14. Número de hojas de *Yucca filifera* a los 335 días del trasplante a) con inóculo de HMA (M+); b) sin inóculo de HMA (M-).

En la figura 15, se observan los resultados del registro de temperatura y precipitación por la estación meteorológica instalada en la Granja Integral de Policultivo de Tezontepec de Aldama, Hgo. En este gráfico la temperatura media mensual más alta fue de 18° C con una mínima de 11° C, la precipitación es escasa, siendo en los meses de mayo-agosto los que registraron precipitaciones más constantes

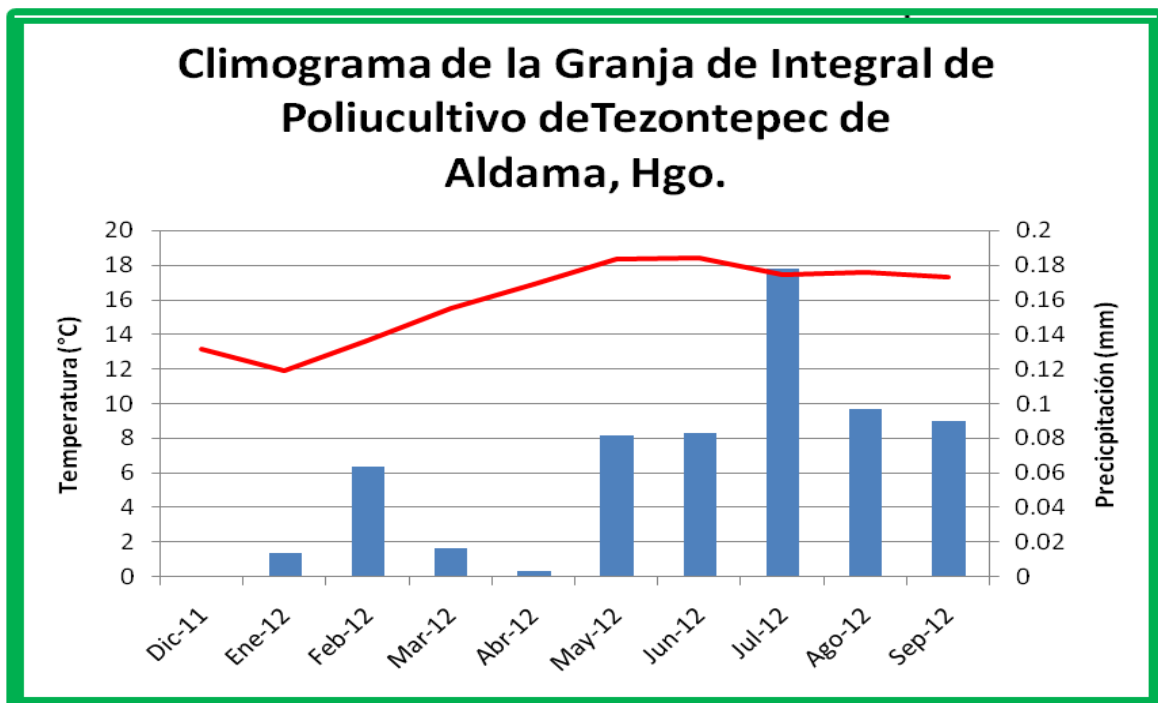


Figura 15. Resultados del registro de la temperatura (°C) y la precipitación (mm), durante el estudio.



## 11. DISCUSIÓN

Como se observa en la Tabla 2, el suelo analizado presenta un pH alcalino característico de la zona, un contenido de materia orgánica bajo de acuerdo a la NOM-021, exhibiendo una cantidad reducida de nutrimentos y por lo tanto menor disposición de los mismos para el crecimiento de las plantas. La concentración de nitrógeno también es baja de acuerdo a la NOM-021, por lo que se presupone que las plantas inoculadas con micorrizas absorbieron los nutrimentos, debido a que los microorganismos pueden influir sobre la absorción de minerales para la planta, directamente por colonización de la raíz (micorrizas, bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre) y modificar su estructura (longitud de área radical) o bien puede inducir indirectamente, modificando el ambiente del suelo alrededor de la raíz (Cruz, 2006). El fósforo presentó una concentración media de acuerdo a la NOM-021, siendo las plantas las que absorben el fósforo de la solución del suelo, incrementando la producción del nutrimento a través de los HMA, ya que requieren de éste en concentraciones considerables para satisfacer sus necesidades durante el periodo de crecimiento (Khasawneh, 1980; Singh y Kapoor, 1999).

En la Figura 7, se graficó la supervivencia de *Yucca filifera* en los tratamientos con HMA (M+) y sin HMA (M-). Donde *Y. filifera* inoculada fue superior al 50%, presentando diferencias significativas entre plantas micorrizadas y no micorrizadas (Tabla 5). Las plantas micorrizadas se vio favorecida en este estudio para obtener una supervivencia del 100%, forjando a las plantas que incrementen la eficiencia de su sistema radical al asociarse simbióticamente con los hongos micorrizógenos arbusculares, esto por medio de la extensión de las hifas extrarradicales de la micorriza, promoviendo un incremento de área de absorción (nutrimentos y agua) y la exploración de un volumen mayor de suelo que el que normalmente podría alcanzar el crecimiento de la raíz por sí sola (Lynch, 1990; Bonfante *et al.*, 2004). Por lo anterior, los hongos micorrizógenos arbusculares son microorganismos que contribuyen sustancialmente al establecimiento, crecimiento, productividad y

supervivencia de comunidades vegetales, tanto cultivadas como naturales (Figura 8) (Wilcox, 1996).

En la Figura 9, se graficó el crecimiento de *Yucca filifera*, donde el tratamiento micorrizado tuvo una mayor altura a comparación con las plantas no micorrizadas. De este modo la tasa de crecimiento relativo es significativa (Tabla 5), denotando que la inoculación con hongos micorrizógenos arbusculares favorece el crecimiento de *Yucca filifera*, ayudando a la facilitación de la captación de fósforo, un nutrimento limitante e influyendo directa o indirectamente en la absorción de otros iones minerales (K, N, Ca, Mg, Fe, Mn), en aquellos suelos donde estos nutrimentos son escasos como es en los ambientes semiáridos, además brindan una mayor tolerancia al déficit hídrico (Whipps, 2001). Por lo que Michaelsen y Rosendahl (1989), sugirieron que los HMA son de gran importancia en regiones semiáridas debido a su efecto en la inducción de tolerancia a la sequia (Figura 10). Puesto que, el estrés hídrico reduce el crecimiento de una planta (Augé, 2001), una estrategia para resistir tales condiciones es la asociación con hongos micorrizógenos arbusculares, la cual, permite a la planta aclimatarse y continuar con la asimilación de nutrimentos en las etapas sucesivas del desarrollo (Ruiz-Lozano *et al.*, 1995; Bhoopander y Mukerji, 2004). La mitigación del efecto negativo del estrés hídrico por la micorrización es resultado de modificaciones de los balances hídricos (transpiración y uso eficiente del agua) (Morte *et al.*, 2000; Ruiz-Lozano, 2003). Algunos estudios ecofisiológicos demuestran que la simbiosis altera la tasa de movimiento del agua dentro, a través y hacia afuera de la planta, con efectos de hidratación del tejido y en la fisiología general de la planta, satisfaciendo sus requerimientos de agua (Augé, 2001).

En la Figura 11, la gráfica de la cobertura en la que se observa que el tratamiento micorrizado fue superior, a comparación de las plantas sin inocular. Debido a que en los sistemas simbióticos micorrícicos la relación entre el crecimiento y metabolismo de la planta, dependen de la eficiencia con la que se utiliza el carbono fijado; es decir, la cantidad de nutrimentos adquiridos por unidad de

carbohidratos; utilizados por el hongo simbiote (Tinker *et al.*, 1994; Ruiz-Lozano *et al.*, 1995), es así como el hongo aporta a la planta, hasta el 80% del P, 25% de N, 10% de K, 25% de Zn y 60% de Cu (Marschner y Dell, 1994; Morgan *et al.*, 2005). Induciendo a las plantas a un desarrollo óptimo (Figura 12). Beena *et al.*, 2000, reportaron que los HMA influyen de manera determinante en el desarrollo y el establecimiento de las plantas en zonas áridas y semiáridas.

En la Figura 13 se muestra la gráfica del número de hojas donde nuevamente el valor más alto está en el tratamiento micorrizado. Las hojas de *Yucca filifera* son comestibles para los animales como conejos, liebres e insectos, las plantas dentro de este tratamiento fueron mordidas por algunos herbívoros, de esta manera *Yucca filifera* sin inóculo se vieron afectadas ya que no lograron reponerse, quedando expuestas a las adversidades del campo, provocando su muerte celular. Por otro lado *Yucca filifera* con inóculo reacciona a la pérdida de hojas con un aumento en el crecimiento de la misma y un efecto estimulante en la producción de biomasa, ya que los HMA proporcionan protección a las plantas, de los parásitos, hongos patógenos y nematodos, además de incrementar su resistencia a la herbivoría, esto de acuerdo a que la literatura dice que se elaboran sustancias defensivas como por ejemplo alcaloides, quinonas, aceites esenciales (terpenos), glucósidos (sustancias cianogénicas y saponinas), flavonoides y rafidios (cristales de oxalato de calcio en forma de aguja) (Braekman *et al.*, 1998; Camargo- Ricalde, 2002 ).

En la figura 15, se denota que las micorrizas fueron determinantes en este experimento, ya que la precipitación una fuente esencial para las plantas no fue recurrente, ni se presentó en grandes cantidades, además de que en el transcurso del experimento no se le adiciono agua, solo la proporcionada por la lluvia, lo que permite pensar que para mantener una supervivencia del 100% las plantas de *Y. filifera* tuvieron que aprovechar al máximo los beneficios de la simbiosis micorrícica.

Respecto a la nodriza del género *Opuntia* no hubo diferencias significativas en la supervivencia de *Yucca filifera*, comparándola con el tratamiento de solo micrositio (sin nodriza), en el cual se trasplantó también *Y. filifera*, registrándose la supervivencia durante un ciclo anual, en una parcela en Tezontepec de Aldama, Hgo.

Tabla 5. Sinopsis de resultados en los diferentes tratamientos que se llevaron a cabo en el experimento

Parámetro	con HMA (M+)	sin HMA (M-)	Observaciones
TCR (d <sup>-1</sup> )	-0.00038588 *	0.00125535	Las plantas micorrizadas sobrevivieron y se desarrollaron con estrategias funcionales ante el estrés hídrico y la herbivoría.
Altura (cm)	16.8 *	6.19	La mayor altura de <i>Yucca filifera</i> inoculada está muy por encima de la no micorrizada pues creció 10 cm más que ésta
Cobertura (cm <sup>2</sup> )	305.71695 *	17.6489198	<i>Yucca filifera</i> inoculada con HMA arrojó una cobertura muy por encima de las plantas testigos
Supervivencia (%)	100% *	50%	Las especies vegetales de <i>Yucca filifera</i> presentan una supervivencia significativa, ya que de las no micorrizadas se murieron la mitad.
Número de hojas	15.9 *	4.75	El número de hojas es significativamente mayor a 0.05 ya que <i>Yucca filifera</i> tuvo un mayor desarrollo.
Color	Verde bandera en la hojas, y en el ápice de las mismas un color amarillo	Verde limón en las hojas y en la base de las misma un color rojo	El color de las hojas de <i>Y. filifera</i> es verde más oscuro en las plantas con HMA que en las no inoculadas.
Turgencia	Sus hojas eran rígidas, firmes, y gruesas	Sus hojas eran suaves, frágiles, susceptibles de ruptura al contacto	La turgencia de las hojas micorrizadas es indicio de un mejor balance hídrico que en las plantas sin HMA.

**\*Diferencias significativas entre tratamientos (M+ vs. M-) con  $p \leq 0.05$   
HMA: hongos micorrizógenos arbusculares**

## 12. CONCLUSIONES

- ✓ No se presentó una TCR mayor en plantas micorrizadas, debido a la herbivoría (por liebres) registrada en las hojas con mayor altura.
- ✓ La micorrización influye de manera significativa en la supervivencia, el crecimiento, número de hojas y cobertura de *Yucca filifera*.
- ✓ Se logró establecer un conjunto de individuos de *Yucca filifera* mediante el uso de micorrizas bajo una planta nodriza del género *Opuntia* en una parcela de Tezontepec de Aldama, Hgo, ya que la supervivencia de *Yucca filifera* con hongos micorrizógenos arbusculares fue del 100%.
- ✓ *Y. filifera* mantiene su desarrollo en cuanto a cobertura, en plantas micorrizadas, durante el ciclo anual aunque no presenta crecimiento en altura.
- ✓ *Yucca filifera* sin micorrizas y sin microcuencas no logró sobrevivir a las sequías en los ambientes semiáridos.

## 13. RECOMENDACIONES

Como resultado de este trabajo es recomendable que se utilicen especies nativas micorrizadas, por ejemplo, *Yucca filifera*, como modelo general de establecimiento vegetal, en programas de recuperación de cubierta vegetal el uso de especies, como *Yucca filifera*, micorrizadas. A fin de promover la supervivencia y desarrollo óptimo de especies nativas en ambientes semiáridos.

También se recomienda hacer un registro microclimático al lado norte de las nodrizas de *Opuntia* y a cielo abierto, para determinar la influencia ambiental de la cactácea.

De la misma forma, es importante registrar el nodrizaje hídrico de las plantas de *Opuntia* para estimar su influencia en el establecimiento de plantas bajo su cobertura.

#### 14. REFERENCIAS

- Aguilar, M. R, Soriano A., Salas, O.E. 1992. Competition and Facilitation in the recruitment of seedlings in Patagonia steppe. *Functional Ecology*, 6:66-70.
- Alanís, F.J.G. y Velasco, M.G.C. 2008. Importancia de las cactáceas como recurso natural en el noreste de México. *Ciencia UANL*, enero-marzo, año/vol. XI, número 001. Universidad Autónoma de Nuevo León Monterrey, México, pp. 5-11.
- Augé, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11:3-42.
- Barea, J. M. 1998. Biología de la rizosfera. *Investigación y Ciencia*, 47: 74-81.
- Beaufait, W., Laird, P.P., Neuton, M., Smith, D. M., Tubbs, C.H., Wellner, C.A., Williston, H.L. 1984. Silviculture. In: Wenger K.F.(ed) *Forestry Handbook*. 2nd ed. John Wiley. New York. pp. 413-455.
- Beena, K.R., Raviraja, N.S., Arun, A.B., Sridhar, K.R. 2000. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi on the coastal sand dunes of the west coast of India. *Curr. Sci*, 79:1459-1466.
- Bhoopander, G.K y Mukerji, G. 2004. Mycorrhizal inoculants alleviate salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza*, 14:307-312
- Bonfante, F.P., Genre, A., Bianciotto, V. 2004. The colonization Strategies of Arbuscular Mycorrhizal Fungi: An Overview of their Cellular Interactions with Plants and Bacteria, en Frias, H.J.T., Olalde, P.V., Ferrera, C.R. (eds). *Avance en el conocimiento de la biología de las micorrizas*. Universidad de Guanajuato, México.

- Bonfante-Fasolo, P. 1984. Anatomy and Morphology of V-A Mycorrhizae, en Powell C.L.I. y Bagyaraj, D.J. (eds.). v-a Mycorrhiza . CRC. Press Inc., Boca Raton, Florida, USA.
- Braekmann, J.C., Daloz, D., Pasteels, J.M. 1998. Alkaloids in animals, in alkaloids: Biochemistry, Ecology and medicinal applications. Roberts, M.F. y Wink, M. (eds). Plenum, New York, pp. 349-78.
- Brown, D.H. 1982. Mineral Nutrition, en Smith, A.J.E. (ed). Bryophyte Ecology. Chapman and Hall, London, UK.
- Camargo-Ricalde, S.L. 2002. Dispersal, distribution and establishment of arbuscular mycorrhizal fungi: a review. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 71: 33-44.
- Cárdenas, G. 2009. Cosechan agua de la atmósfera. *El Universal*, Sociedad, Conciencia pag. F2.
- Cavazos, D. R. 1997. Uso múltiple de los matorrales en el norte de México. *Ciencia Forestal en México* 22(81): 3-26.
- Cruz, F.G. 2006. Ecología del suelo: Un enfoque hacia la nutrición mineral de plantas superiores. Laboratorio de edafología y nutrición vegetal, FES Zaragoza, UNAM. México, D.F, pp.105.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Instituto de biología, Universidad Nacional Autónoma de México y Agrupación Sierra Madre, S.C. México, pp. 689- 713.
- Chimal, S.E., López, M.L., García, S.R. 2009, Obtención de inóculos de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) nativos del Valle del Mezquital, Hidalgo.

Monroy, A. A., García, S.R. Plantas y Hongos Micorrizas Arbusculares: Un mutualismo esencial en zonas semiáridas; México, D.F., pp. 96.

De la Rosa Mera, C. J. y Monroy, A. A. 2006. Mosaicos de vegetación para la restauración ecológica en una zona semiárida. Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, num. Diciembre-Sin mes, pp. 96-100.

Florescano, E. 1997. El patrimonio Nacional de México: FCE; CONACULTA, pp.336.

Franco, A.C. y Nobel, P.S. 1988. Interaction between seedlings of *Agave desertii* and the nurse plant, *Hilaria rigida*. Ecology ,69:1731-1740

Franco, A.C. y Nobel, P.S.1989. Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. Journal of Ecology 77: 870 -886.

Frank, A.B. 1885. Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Emarhrung gewiser Baume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutsch Botanische Gesellschaft 3: 128-145

Gadkar, V.R., David-Schwartz, T.K., Kapulnik, Y. 2001. Arbuscular mycorrhizal fungal colonization: Factors involved in host recognition. Plant Physiol, 127:1493-1499.

García, M.A. 1992. Con sabor a Maguey. Instituto de Biología, UNAM, México, pp. 9.48

García, S. R. 2005. Restauración de la cubierta vegetal de los matorrales semiáridos del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. [En línea]. Cuba. ISBN, 959-250-156-4. Disponible en [www.dama.gov.co](http://www.dama.gov.co).

Gerdeman J.W. y Nicolson T.H.1963. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans Br Mycol Soc, 46:235-244.



- Gerdeman, J.W. 1968. Vesicular-arbuscular mycorrhizal and plant growth. Annual Review of Phytopathology, 6: 397-418.
- Greenlee, J.T. y Callaway, R. 1996. Abiotic stress and the relative importance of interference and facilitation in montane bunchgrass communities in western Montana. American Naturalist, 148:386 -396.
- Jakobsen, I.S., Smith, E., Smith, F.A. 2002. Function and diversity of arbuscular mycorrhizae in carbon and mineral nutrition. In: Mycorrhizal Ecology. M G van der Heijden, I R Sanders (eds). Springer-Verlag. Berlin, Alemania, pp:75-92.
- Jordan, P.W. y Nobel, P.S. 1979. Infrequent establishment of seedling of *Agave desertii* (Agavaceae) in the northwestern Sonoran Desert. American Journal of Botany, 66: 1070-1084.
- Khasawneh, F.E. 1980. The role of phosphorus in agriculture. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc.
- Lynch, J.M. 1990. The Rhizosphere. Jhon Wiley y Sons, New York, USA, Pp. 44: 34-40.
- Marshner, H. y Dell, B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant soil, 159: 89-102
- Mckelvey, S.D.1935. Notes on *Yucca*. Journal of the Arnold Arboretum, 16:268-271.
- Michaelsen, A. y Rosendahl, S. 1989. Propagule density of VA mycorrhizal fungi in semi-arid bushland in Somalia. Agric. Ecosystems Environ, 29:295-301.
- Monroy, A. A., Esteves, T. J., García, S. R., Ríos, G. R. 2007. Establecimiento vegetal de plantas mediante el uso de micorrizas y de islas de recursos en matorral xerófilo deteriorado. Boletín de la Sociedad Botánica de México, México D.F. numero. 080, pp. 49-57.

- Monroy, A.A., García, S.R. 2009. Los hongos micorrizógenos arbusculares en prácticas de restauración de vegetación semiárida. Unidad de Investigación en Ecología Vegetal, FES Zaragoza, UNAM. Distrito Federal, México, Pp. 96:11-23.
- Morgan, J.A.W., Bending, G.D., White, P.J. 2005. Biological costs and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere. *J. Exp. Bot.* 56:1729-1739.
- Montaño, N.M, Camargo-Ricalde, S.L, García, S.R, Monroy A. 2007. Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos (Arbuscular mycorrhizae in arid and semiarid ecosystems). Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Mundi-Prensa SA de CV, UAM Iztapalapa, FES Zaragoza, UNAM. Distrito Federal, México, 460 pp.
- Morte, A., Lovisolo, C. Schubert, A. 2000. Effect of drought stress on growth and water relations of the mycorrhizal association *Helianthemum almeriense*-*Terfezia clavaryi*. *Mycorrhizas*, 10:115-119.
- Nava, R., De la luna, R., Reynaga, R. y García, R. 1980. Ecocultivo de *Yucca filifera* en las zonas áridas de México. Serie El Desierto. Vol.3, pp.145-171.
- Norma Oficial Mexicana NOM-020-RECNAT-2001. Establece los procedimientos y lineamientos que se deberán observar para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales de pastoreo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.
- Olivares, O.J., Zavaleta, B.P., Chimal, H.A., Montiel, S.D., Fierro, A.A., Schienvar, L. 2003. Xocconostle Biología y manejo agronómico. UAM. Unidad Xochimilco. México. D.F., pp. 31-50.

Plan de Desarrollo Municipal de Tezontepec de Aldama estado de Hidalgo. 2009-2012.  
Gobierno del Estado de Hidalgo  
<http://201.159.134.50/Estatal/HIDALGO/Municipios/Tezontepec/1PLAN.pdf>.

Price, T.D., Zimmermann, E.N., Van der meer, J.P., Lexer, J.M., Leadley, P., Jorritsma, T.M.I., Schaber, J., Clark, F.D., Lasch, P., McNulty, S., Wu, J., Benjamin, S. 2001. Regeneration in gap models: Priority issues for studying forest responses to climate change. *Climatic change*, 51: 475-508

Pugnaire, F.I., Haase, P., Puigdefabregas, J. 1996. Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. *Ecology*, 77:1420-1426.

Rios, G.R. 1985. Prácticas del Módulo de Edafología LIB IV, ENEP, Zaragoza. UNAM.

Reynolds, J.F. 2001. Desertification. *Encyclopedia of Biodiversity*. Levin, S.(ed). Volumen 2. Academic Press, Nueva York, Estados Unidos, pp.61-78.

Riley, C.V. 1982. The *Yucca* moth and *Yucca* pollination. *Rept. Mo. Bot. Gard*, 3:99-158.

Ruiz- Lozano, J.M., Azcon, R., Gómez, M. 1995. Effects of arbuscular-mycorrhizal *Glomus* sp. from saline soils and *Glomus deserticola* under salinity. *Mycorrhiza*, 10: 137-143.

Ruiz- Lozano, J.M. 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza*, 13:309-317.

Rzedowski, J. 1968. Las principales zonas áridas de México y su vegetación. *Bios. revista del seminario de Estudios Biológicos* 1:4-24.

Sánchez, S.O. 1979. La flora del Valle de México. Editorial: Herrero. S.A. Quinta Edición. Pag 99, 266, 107, 201.

- Scagel, R.F., Bandoni, R.J., maze, R.J., Rouse, G.E., Shoefield, W.B., Stein, J.R. 1982. Nonvascular Plants. Wadsworth Publ. Co., Belmont, Cal, USA.
- Schubler, A., Gehring, H., Schwartzott, D., Walker, C. 2001. Analysis of partial *Glomales* SSU rRNA gene sequence: implacations for primer design and phylogeny. Mycological Research 105: 5-15
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizal management in tropical agrosystems Deutsche, G. 9 (ed), Berlin.
- Singh, S. y Kapoor, K..K. 1999. Inoculation with phosphate solubilizing microorganisms and a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. Biol. Fertil. Soils, 28: 139-44.
- Stutz, J.C., Copeman, R., Martin, C.A., Morton, J.B. 2000. Patterns of species composition and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in arid regions of southwestern North America and Namibia, Africa. Can. J. Bot. 78:237–245.
- Tinker, P.B., Durall, D.M., Jones, M.D. 1994. Carbon use efficiency in mycorrhizas: Theory and sample calculation. New phytol, 128:115-122.
- Thornes, J. 1990. The interaction of erosional and vegetation dynamics in land degradation: spatial outcomes. Vegetation and erosion, Wiley, Nueva York, Estados Unidos, pp. 41-54.
- Trappe, J.M. 1987. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary stand point, en Safir, G.R., (ed). Ecophysiology of v.a. mycorrhizal plantas. C.R.C. Press inc., Boca Ratoy, florida, U.S.A.
- Trelease, W. 1907. Additions to the genus *Yucca*. Missouri botanical garden annual report vol.190., pp.225-230.
- Valiente, B.A. y Ezcurra, E. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa Luisiana* in the Tehuacán Valley, México. Journal of Ecology, 79:961-971.

Velázquez, C.R. 1962. Aspectos ecológicos. Distribución y abundancia de *Opuntia streptacantha* y *O. leucotricha* en la región árida de Zacatecas y San Luis Potosí. Tesis Licenciatura. ENA. Chapingo, México.

Wilcox, H. 1996. In Plant roots: the hidden half. Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. (eds). Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 680-721.

Whipps, J.M. 2001. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of experimental botany*, 52:487-511.

Zimmermann, H.G., Bloem, S.H., Klein, H. 2007. Biología, historia, amenaza, monitoreo y control de la palomilla del nopal, *Cactoblastis cactorum*. IAEA, pp. 96

1. <http://maps.google.com.mx/>

15. ANEXOS

TCR	<i>Yucca filifera micorrizada</i>	<i>Yucca filifera sin micorrizar</i>																																	
	Shapiro-Wilks (modificado)	Shapiro-Wilks (modificado)																																	
<b>Prueba de Normalidad</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>n</th> <th>Media</th> <th>D.E.</th> <th>W*</th> <th>p(Unilateral D)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Columna1</td> <td>10</td> <td>2.62</td> <td>0.43</td> <td>0.89</td> <td>0.2634</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)	Columna1	10	2.62	0.43	0.89	0.2634	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>n</th> <th>Media</th> <th>D.E.</th> <th>W*</th> <th>p(Unilateral D)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Columna1</td> <td>4</td> <td>1.97</td> <td>0.36</td> <td>0.98</td> <td>0.8727</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)	Columna1	4	1.97	0.36	0.98	0.8727									
	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)																													
Columna1	10	2.62	0.43	0.89	0.2634																														
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)																														
Columna1	4	1.97	0.36	0.98	0.8727																														
Prueba T para dos muestras suponiendo varianzas desiguales.	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Variable 1</th> <th>Variable 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>-0.00038588</td> <td>0.00125535</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>1.9644E-06</td> <td>6.8056E-06</td> </tr> <tr> <td>Observaciones</td> <td>10</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Diferencia hipotética de las medias</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grados de libertad</td> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Variable 1 (M+)</td> <td>Estadístico t</td> <td>-1.19135141</td> </tr> <tr> <td>Variable 2 (M-)</td> <td>P(T&lt;=t) una cola</td> <td>0.14968647</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Valor crítico de t (una cola)</td> <td>2.13184678</td> </tr> <tr> <td></td> <td>P(T&lt;=t) dos colas</td> <td>0.29937294</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Valor crítico de t (dos colas)</td> <td>2.77644511</td> </tr> </tbody> </table>			Variable 1	Variable 2	Media	-0.00038588	0.00125535	Varianza	1.9644E-06	6.8056E-06	Observaciones	10	4	Diferencia hipotética de las medias	0		Grados de libertad	4		Variable 1 (M+)	Estadístico t	-1.19135141	Variable 2 (M-)	P(T<=t) una cola	0.14968647		Valor crítico de t (una cola)	2.13184678		P(T<=t) dos colas	0.29937294		Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511
	Variable 1	Variable 2																																	
Media	-0.00038588	0.00125535																																	
Varianza	1.9644E-06	6.8056E-06																																	
Observaciones	10	4																																	
Diferencia hipotética de las medias	0																																		
Grados de libertad	4																																		
Variable 1 (M+)	Estadístico t	-1.19135141																																	
Variable 2 (M-)	P(T<=t) una cola	0.14968647																																	
	Valor crítico de t (una cola)	2.13184678																																	
	P(T<=t) dos colas	0.29937294																																	
	Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511																																	

ALTURA	<i>Yucca filifera</i> con micorrizas	<i>Yucca filifera</i> sin micorrizas																																	
<b>Prueba de normalidad</b>	Shapiro-Wilks (modificado)	Shapiro-Wilks (modificado)																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>n</th> <th>Media</th> <th>D.E.</th> <th>W*</th> <th>p(Unilateral D)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Columnal</td> <td>10</td> <td>14.35</td> <td>5.10</td> <td>0.95</td> <td>0.8035</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)	Columnal	10	14.35	5.10	0.95	0.8035	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>n</th> <th>Media</th> <th>D.E.</th> <th>W*</th> <th>p(Unilateral D)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Columnal</td> <td>4</td> <td>7.50</td> <td>2.48</td> <td>1.00</td> <td>0.9858</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)	Columnal	4	7.50	2.48	1.00	0.9858									
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)																														
Columnal	10	14.35	5.10	0.95	0.8035																														
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)																														
Columnal	4	7.50	2.48	1.00	0.9858																														
<b>Prueba T para dos muestras suponiendo varianzas desiguales.</b>																																			
		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Variable 1</th> <th>Variable 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>14.35</td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>26.0027778</td> <td>6.16666667</td> </tr> <tr> <td>Observaciones</td> <td>10</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Diferencia hipotética de las medias</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grados de libertad</td> <td>11</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estadístico t</td> <td>3.36580101</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T&lt;=t) una cola</td> <td>0.00314943</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (una cola)</td> <td>1.79588481</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T&lt;=t) dos colas</td> <td>0.00629887</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (dos colas)</td> <td>2.20098516</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Variable 1	Variable 2	Media	14.35	7.5	Varianza	26.0027778	6.16666667	Observaciones	10	4	Diferencia hipotética de las medias	0		Grados de libertad	11		Estadístico t	3.36580101		P(T<=t) una cola	0.00314943		Valor crítico de t (una cola)	1.79588481		P(T<=t) dos colas	0.00629887		Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	
	Variable 1	Variable 2																																	
Media	14.35	7.5																																	
Varianza	26.0027778	6.16666667																																	
Observaciones	10	4																																	
Diferencia hipotética de las medias	0																																		
Grados de libertad	11																																		
Estadístico t	3.36580101																																		
P(T<=t) una cola	0.00314943																																		
Valor crítico de t (una cola)	1.79588481																																		
P(T<=t) dos colas	0.00629887																																		
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516																																		
Variable 1 (M+)																																			
Variable 2 (M-)																																			

COBERTURA	<i>Yucca filifera</i> con micorrizas	<i>Yucca filifera</i> sin micorrizas																																	
<b>Prueba de normalidad</b>	Shapiro-Wilks (modificado)	Shapiro-Wilks (modificado)																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>n</th> <th>Media</th> <th>D.E.</th> <th>W*</th> <th>p(Unilateral D)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Columna1</td> <td>10</td> <td>305.72</td> <td>147.48</td> <td>0.94</td> <td>0.6865</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)	Columna1	10	305.72	147.48	0.94	0.6865	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>n</th> <th>Media</th> <th>D.E.</th> <th>W*</th> <th>p(Unilateral D)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Columna1</td> <td>4</td> <td>17.65</td> <td>7.47</td> <td>0.99</td> <td>0.9520</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)	Columna1	4	17.65	7.47	0.99	0.9520									
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)																														
Columna1	10	305.72	147.48	0.94	0.6865																														
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)																														
Columna1	4	17.65	7.47	0.99	0.9520																														
Prueba T para dos muestras suponiendo varianzas desiguales.																																			
		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Variable 1</th> <th>Variable 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>305.71695</td> <td>17.6489198</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>21750.4974</td> <td>55.8148491</td> </tr> <tr> <td>Observaciones</td> <td>10</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Diferencia hipotética de las medias</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grados de libertad</td> <td>9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estadístico t</td> <td>6.15703808</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T&lt;=t) una cola</td> <td>8.3647E-05</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Variable 1 (M+)</td> <td>Valor crítico de t (una cola)</td> <td>1.83311292</td> </tr> <tr> <td>Variable 2 (M-)</td> <td>P(T&lt;=t) dos colas</td> <td>0.00016729</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Valor crítico de t (dos colas)</td> <td>2.26215716</td> </tr> </tbody> </table>		Variable 1	Variable 2	Media	305.71695	17.6489198	Varianza	21750.4974	55.8148491	Observaciones	10	4	Diferencia hipotética de las medias	0		Grados de libertad	9		Estadístico t	6.15703808		P(T<=t) una cola	8.3647E-05		Variable 1 (M+)	Valor crítico de t (una cola)	1.83311292	Variable 2 (M-)	P(T<=t) dos colas	0.00016729		Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716
	Variable 1	Variable 2																																	
Media	305.71695	17.6489198																																	
Varianza	21750.4974	55.8148491																																	
Observaciones	10	4																																	
Diferencia hipotética de las medias	0																																		
Grados de libertad	9																																		
Estadístico t	6.15703808																																		
P(T<=t) una cola	8.3647E-05																																		
Variable 1 (M+)	Valor crítico de t (una cola)	1.83311292																																	
Variable 2 (M-)	P(T<=t) dos colas	0.00016729																																	
	Valor crítico de t (dos colas)	2.26215716																																	





**Supervivencia**

**Yucca filifera**

**Prueba de normalidad**

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columnal 20	20	0.70	0.47	0.55	<0.0001

**Prueba de Kruskal Wallis**

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Columna2	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Columnal 1		10	1.00	0.00	1.00	5.14	0.0043
Columnal 2		10	0.40	0.52	0.00		

*Prueba estadística para el nodrizaje*

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Columna2	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Columna1	1	10	1.00	0.00	1.00	29.75	<0.0001
Columna1	2	10	0.50	0.53	0.50		
Columna1	3	10	1.00	0.00	1.00		
Columna1	4	10	0.40	0.52	0.00		
Columna1	5	10	0.00	0.00	0.00		
Columna1	6	10	0.00	0.00	0.00		

**Tratamientos:**

**Columna 1. Micrositio con *Yucca filifera* micorrizados.**

**Columna 2. Micrositio con *Yucca filifera* sin micorrizar.**

**Columna 3 nodriza con *Yucca filifera* micorrizada.**

**Columna 4 nodriza con *Yucca filifera* sin micorrizas.**

**Columna 5 *Yucca filifera* al ras de suelo micorrizadas.**

**Columna 6 *Yucca filifera* al ras de suelo sin micorrizar.**