



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES**  
**LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**

**Comparación de micorrizas vesículo arbusculares (VAM) asociadas a  
*Pachycereus pringlei* bajo dos especies de planta nodriza.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**BIÓLOGO**

**PRESENTA:**

**ASLAM NARVÁEZ PARRA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. HUMBERTO SUZÁN AZPIRI**

Campus Juriquilla Santiago de Querétaro, Qro. 2007.

No. Adq. H72939

No. Título TS

Clas 581.754

N238c

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Debida a la falta de orden en la aplicación de mis conocimientos, ocurrencias y demás ideas, e decidido escribir la dedicatoria de mi tesis justo a dos tercios de concluir mi escrito.**

**Bueno esta dedicación va para todo aquel individuo (sea mujer u hombre) que crea que el lugar en el que esta viviendo es el lugar ideal, para hacer de él un jardín.**

## **Agradecimientos**

Al Dr. Humberto Suzán Azpiri, por otorgarme la oportunidad de hacer la tesis en uno de los ecosistemas más predominante del país. Al M. en C. Oscar Ricardo García Rubio por su continuo apoyo durante la elaboración de mi tesis. A la Dra. Guadalupe Malda Barrera por su paciencia en las correcciones de mi redacción, así como las oportunas observaciones para reforzar las discusiones de esta tesis. Al M. en C. Fidel Landeros Jaime por su igual paciencia para corregir los pequeños errores que espero ya no haya dentro de este trabajo. A la M. en C. Berta Zúñiga Tovar por su apoyo en la colecta de muestras. A dos súper mujeres Verónica Solís Gracia y Daniela Montero así como Rodrigo Sierra por su apoyo en las actividades de campo y en las artes culinarias. A mis padres por su constante apoyo durante mi formación. A mi tío Francisco Melo quien me facilito datos de precipitación. Al CNA por facilitarme de igual forma datos de precipitación. Al CONACYT por financiar esta tesis dentro del proyecto C01-2002-273 “Estado de conservación del palo fierro (*Olneya tesota*) y sus especies asociadas en el Desierto Sonorense.”

# Índice

<b>Resumen.....</b>	<b>1</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
<b>Biología del <i>Paquicereus pringlei</i>.....</b>	<b>3</b>
<b>La importancia ecológica.....</b>	<b>5</b>
<b>Nutrición.....</b>	<b>6</b>
<b>Micorrizas vesículo arbusculares (VAM).....</b>	<b>8</b>
<b>Objetivo general.....</b>	<b>13</b>
<b>Objetivos particulares.....</b>	<b>13</b>
<b>Material y Métodos.....</b>	<b>14</b>
<b>Área de estudio.....</b>	<b>14</b>
<b>Caracterización del área de estudio.....</b>	<b>14</b>
<b>Toma de muestras.....</b>	<b>17</b>
<b>Aislamiento de esporas a partir de suelo.....</b>	<b>17</b>
<b>Pruebas estadísticas.....</b>	<b>18</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>18</b>
<b>Discusión.....</b>	<b>23</b>
<b>Conclusión.....</b>	<b>28</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>29</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1. Erosión del suelo en Punta Chueca después de la precipitación del 2006.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 2. Foto del área en donde se encuentra El Rancho San Germán.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 3. Aumento del recuadro en rancho San Germán.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 4. Remoción del suelo y de los <i>Pachycereus pringlei</i> jóvenes del experimento, provocado por las precipitaciones del 2006 .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 5. ANDEVA de la proporción de esporas de VAM bajo dos nodrizas y en suelo sin vegetación A) Septiembre B) Agosto y C) Febrero.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 6. Grafica de los promedios del número de esporas de cada nodriza, obtenidos en los tres periodos. ....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 7. ANDEVA del diámetro (A) y altura (B) de <i>P. pringlei</i> bajo sus dos tratamientos.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 8. Esporas de VAM tomadas en el microscopio óptico a 10 y 40X, en raíces de <i>P. pringlei</i>.....</b>	<b>22</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1. Promedios de esporas bajo las nodrizas y el control en los tres períodos de muestreo.....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 2. Precipitaciones del año 2000 al 2006 en tres diferentes estaciones cercanas a Bahía Kino.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 3. Propiedades del suelo registradas durante el experimento de Zusán-Aspiri y Sosa.....</b>	<b>27</b>

## Resumen

En zonas áridas la mayoría de las plantas perennes durante sus primeros estadios dependen de especies nodriza para su sobrevivencia, estas especies les otorgan ciertas cualidades de luz y suelo para el mejor desarrollo de las plantas que crecen bajo su dosel. Por otro lado, las VAM también influyen de manera considerable en la sobrevivencia de éstas, ya que aun cuando las plantas son adultas dependen de las VAM para el mejor suministro de agua y nutrimentos, de tal forma que es más eficiente su absorción. En si, la especificidad a su nodriza y las cualidades que esta posea en su rizósfera, llegan a repercutir de forma considerable en la distribución de las especies que dependen de nodrizas dentro del paisaje de zonas áridas. El *Pachycereus pringlei* llega a estar asociado con diferentes especies nodrizas dependiendo de su situación geográfica. En Bahía Kino, Sonora, *P. pringlei* se distribuye de forma preferente bajo *Olneya tesota* que bajo *Prosopis glandulosa*. Sin embargo, al realizar un experimento para ver el crecimiento *P. pringlei* bajo estas dos nodrizas, el resultado mostró que *P. pringlei* se desarrollaba mejor bajo *P. glandulosa*. Siendo que fueron iguales las cualidades de arquitectura, índice de área foliar (LAI) y composición química del los suelos bajo el dosel de cada nodriza, se planteó la hipótesis en donde las VAM, como factor biótico, repercuten positivamente para el mejor desarrollo del *P. pringlei*. Los resultados no mostraron una diferencia significativa entre las dos especies nodriza, más que sólo en el periodo de 2007 que precedió a una fuerte precipitación de 2006 en la zona de Bahía Kino. En este trabajo se discute la posibilidad de que las VAM puedan estar repercutiendo de manera estacional, y no de forma constante en el desarrollo de *P. pringlei* respecto de su nodriza.

## Introducción

Durante sus primeros años muchas plantas dependen de las copas de plantas perennes para su establecimiento y sobrevivencia, por lo que esta asociación es básica para el establecimiento de un número considerable de especies en zonas de muy baja precipitación (Bashan *et al.*, 2000a; Greenlee y Callaway, 1996; Tielbörger y Kadmon, 2000). Las plantas que permiten el establecimiento y sobrevivencia de otras son conocidas como nodrizas, debido a que bajo su copa se generan condiciones microambientales que facilitan el establecimiento de las plántulas que crecen bajo su dosel (Turner *et al.* 1966). Los cambios bióticos y abióticos varían dependiendo de las diferentes arquitecturas del dosel y de las interacciones bióticas que se establecen entre la nodriza, como la microbiota del suelo y las plantas beneficiadas (Flores-Martinez *et al.* 1994).

*Pachycereus pringlei* (cardón gigante), está estrechamente asociado a especies nodrizas, su copa y rizosfera proveen de ciertos factores microclimáticos para el amortiguamiento en la temperatura, mayor retención del agua y mayor aporte de nutrimentos (Bashan *et al.*, 2000a). Hasta ahora se ha observado que en el rancho de San German (Bahía Kino, Sonora) la distribución espacial de *P. pringlei* de plantas maduras, está asociada principalmente a las copas de *Olneya tesota* (Suzán-Azpíri y Sosa, 2006). Sin embargo, en el mismo estudio Suzán-Azpíri y Sosa (2006) hacen notar que el crecimiento de *P. pringlei* fue mayor bajo la copa de *Prosopis glandulosa* que bajo *O. tesota*. Los factores de intensidad de luz, arquitectura de la copa, y composición química del suelo no fueron significativamente diferentes, por lo que sugieren un efecto biótico por dispersión o por micorrizas vesículo arbusculares (VAM) presentes en la rizósfera de las especies nodriza.

Las VAM son parte de la estructura del suelo en zonas áridas ya que generan un efecto de amortiguamiento contra el estrés hídrico y la escasez de nutrimentos (Auge, 2004). Las VAM logran este aporte debido a que penetran por los intersticios más pequeños hasta donde los pelos radicales de las plantas no alcanzan a llegar (Auge, 2004).

Además, las VAM tienen un comportamiento que apenas se está comprendiendo, y su estabilidad es relativamente frágil, debido a que las plantas nodrizas y las micorrizas, pueden perderse fácilmente debido a la actividad humana (Rilling, 2004). Las transformaciones de los valles cercanos a Bahía Kino, por la producción de carbón, y

posiblemente por la construcción de complejos hoteleros y zonas urbanas, nos deja poco tiempo para estudiar la dinámica en la estructura de la vegetación y del suelo de ese lugar.

Actualmente se están llevando a cabo programas de reforestación de zonas áridas, las cuales han tenido poco éxito debido a la falta de entendimiento de las interacciones que existen entre las plantas y los factores que las afectan. Las VAM son uno de los factores que influyen de manera considerable en la dinámica de comunidades vegetales, y la mayoría de las cactáceas de zonas áridas están asociadas a las VAM (Bashan *et al.*, 2000a; Koch *et al.*, 2006). Por ello, es de particular interés el estudio de las micorrizas a nivel ecológico, para con este enfoque, entender mejor la contribución de las VAM *in situ* dentro de las islas de fertilidad (Bashan *et al.*, 2000a).

## **Antecedentes**

*Pachycereus pringlei* (Cardón gigante) es una de las especies que representan al Desierto Sonorense, debido a su gran tamaño y sorprendente figura, junto con otras especies (*Fouquieria columnaris*, *Carnegiea gigantea*). Su crecimiento es lento, llegando a edades de cientos de años. Su primera descripción data de 1978 y fue hecha por un padre Jesuita llamado Miguel del Barco quien fundó la misión de san Javier cerca del actual pueblo de Loreto en la península de Baja California. *P. pringlei* es la especie más robusta de las cactáceas, llegando a pesar hasta 25 toneladas, alcanzando alturas de 10 m de promedio en su estado maduro aunque se han registrado alturas de hasta 18 m (Bashan *et al.* 2000a).

## **Biología de *Pachycereus pringlei***

*P. pringlei* es la primera especie de cactácea columnar del Desierto Sonorense en empezar su periodo de floración a finales de marzo, llegando a sobrelaparse con la época de floración de *Carnegiea gigantea*. *P. pringlei*, posee un tiempo de floración de 10 semanas alcanzando su pico máximo en abril. Sin embargo, esto depende de la ubicación geográfica ya que en zonas del sureste de Arizona éste llega a ser a mediados o finales del mes de mayo, mientras que en la costa de Sonora su floración es a mediados o a finales de junio (Cohn, 2003; Fleming, 2000).

*P. pringlei* y *C. gigantea* reducen la competencia interespecífica mediante diferentes tiempos de apertura de la flor, junto con diferentes picos de producción de néctar. Por ejemplo, *P. pringlei* abre sus flores justo después de ponerse el sol y las cierra completamente antes de que amanezca, mientras que *C. gigantea* abre sus flores una o dos horas después de que se pone el sol, y no las cierra hasta la tarde del siguiente día. Por otro lado, el pico de producción de néctar de *P. pringlei* es justo después de la media noche, mientras que *C. gigantea* posee dos picos de producción, uno a las 2 de la mañana y otra dos horas después del amanecer. De esta manera *P. pringlei* depende fuertemente de la polinización por murciélagos como *Leptonycteris curasoae* debido a que contribuye en un 90% en la producción de frutos (fruit set), mientras que en *C. gigantea* los murciélagos sólo contribuyen en un 45% o menos, siendo su mayor polinizador diurno la *Zenaida asiatica*.

Debido a estos fenómenos de polinización, se ha considerado que *P. pringlei* es un residente reciente dentro del Desierto Sonorense a comparación de *C. gigantea* el cual por registros fósiles encontrados en nidos de *Neotoma sp*, se estima que tiene aproximadamente 8,500 años de estar en el noroeste de México. Al ser *P. pringlei* el mayor competidor por polinizadores nocturnos, se piensa que otras especies de cactáceas columnares como *C. gigantea* y *Stenocereus thurberi*, han ido favoreciendo a los individuos con floraciones más tardías en estas especies, para así disminuir el solapamiento de floración con *P. pringue* (Fleming, 2000).

El sistema de floración de *P. pringlei* esta compuesto de manera trioica. Por un lado están los individuos unisexuales en el cual existen individuos machos con flores que sólo producen polen, sin producción de óvulos, y los individuos femeninos con flores que producen óvulos pero sin producción de polen. Por otro lado, están los individuos bisexuales con flores hermafroditas con producción de óvulos y polen, y finalmente los individuos neutros que aunque muy escasos, poseen flores sin producción de polen ni óvulos (Fleming, 2000).

Este sistema de triecilateralidad puede no parecer estable ya que los individuos unisexuales poseen una mayor producción de polen o de frutos (1.5 a tres veces más), que los individuos hermafroditas, lo que podría otorgar una ventaja para la permanencia de estos genes femeninos o masculinos estériles. Sin embargo como la producción de frutos de hermafroditas es mayor cuando la polinización es entre estos mismos individuos que

cuando es polinizada por individuos macho (lo cual no sucede con los individuos femeninos), permite que la permanencia de este genotipo monoico pueda seguir existiendo (Fleming, 2000).

### **La importancia ecológica.**

Como otras cactáceas columnares, *P. pringlei*, contribuye en la estructura de otros organismos y estabilidad en los desiertos. *P. pringlei* es uno de los mayores estabilizadores de suelo en el desierto Sonorense, debido a que sus raíces forman una red superficial llegando incluso a controlar la erosión en zonas perturbadas por cambios en el uso del suelo. Este sistema de raíces superficiales, como muchas de las cactáceas, tiene la capacidad de responder rápidamente a la poca precipitación que puede presentarse en los desiertos, ya que el rápido crecimiento de las raicillas hace más eficiente la absorción del agua, aunque eventualmente mueren (Bashan *et al.*, 2000a ).

Por otro lado, su producción de frutos y néctar en las flores provee de alimento en épocas en las que es escasa o no existe otra fuente de energía para animales como murciélagos, aves, algunos roedores y mustélidos. Aunque no es una especie considerada en peligro, al tener una importancia ecológica en estas zonas áridas del noroeste de México, se considera como una prioridad para la conservación del Desierto Sonorense (Bashan *et al.*, 2000a ).

Los cambios de uso de suelo para la creación de nuevas áreas de cultivo y ganado han llevado al deterioro y mismo abandono de estas tierras, debido a que muchas veces no son adecuadas para este tipo de actividades o tienen un mal manejo del terreno. Para estos sitios se han propuesto programas de reforestación con el cardón gigante, pero la reforestación de *P. pringlei* no es sencilla debido a que requiere condiciones de nodrismo, y cierta microbiota de la rizosfera asociada durante el desarrollo de su plántula (Bashan *et al.*, 2000a). Además, como muchas otras especies columnares del desierto Sonorense, posee un reclutamiento de individuos jóvenes bastante esporádico, ya que para que exista un establecimiento de plántulas, se requiere de épocas con varios años continuos de buena precipitación, y esas condiciones tan erráticas de precipitación suelen ocurrir cada década o más. Es por esto que es muy frecuente encontrar poblaciones donde los individuos son de la misma edad sin una continuidad de individuos de jóvenes a adultos (Cohn, 2003).

## **Nodricismo.**

El establecimiento de una planta en un hábitat está determinado por una serie de factores abióticos y bióticos. Ambos factores son determinantes para que la planta pueda germinar, establecerse y llegar hasta su estado reproductivo. La facilitación para la germinación y establecimiento de una plántula es un fenómeno común en la naturaleza y se conoce como nodricismo. El nodricismo hasta ahora ha sido mejor entendido en los ambientes extremos, principalmente en áreas desérticas, donde el establecimiento de plantas jóvenes es más difícil debido a las condiciones ambientales de baja e impredecible precipitación, donde se reduce el índice de germinación de las semillas y su supervivencia (Turner *et al.*, 1966; Valiente-Banuet y Ezcurra 1991).

Se ha demostrado que plantas como *Pachycereus pringlei* y *Carnegia gigantea* no sobreviven en suelos desprovistos de vegetación (Turner *et al.*, 1966 y Carrillo-García *et al.*, 2000a). Por lo tanto, las especies llamadas nodrizas son de vital importancia para la estructuración presente como futura de la vegetación, ya que la copa de los árboles o arbustos disminuyen ciertos factores estresantes y brindan otros factores que sirven para el desarrollo de las plantas que se benefician. La situación es distinta bajo el dosel, ya que la radiación solar es menor, la temperatura no es tan extrema evitando la excesiva evapotranspiración, además de ir acumulando materia orgánica manteniendo así la fertilidad del suelo, etc., lo que en consecuencia, aumenta las probabilidades de germinación y establecimiento (Valiente-Banuet y Ezcurra 1991).

El ejemplo más típico de nodricismo es el de una leguminosa (ya sea un árbol o arbusto) con una planta suculenta (Arriaga *et al.*, 1993), la cual puede considerarse como un asociación positiva entre plantas de diferentes especies (Callaway, 1995). Para que exista esta asociación son necesarias ciertas condiciones especiales que provee cada tipo de planta nodriza. Las distintas arquitecturas de los doseles generan cambios en el tamaño y la densidad de la cubierta vegetal, el cual es dado por la forma de crecimiento, el tipo de ramificación y la época en que se da esto. Estos cambios en la forma de la ramificación genera patrones distintos de sombreado, e insolación y otras condiciones microambientales que cambian dependiendo de la planta nodriza (Arriaga *et al.*, 1993; Hallé *et al.*, 1978).

En las zonas áridas del estado de Querétaro donde *Lophophora diffusa* (peyote) requiere de ciertas condiciones de luz y de sombreado para establecerse, estas condiciones

las pueden generar *Larrea tridentata* y *Acacia sororia*, mientras que *Myrtillocactus geometrizans* y *Celtis palida* con un sombreado más intenso, no muestran una asociación fuerte con *L. diffusa* bajo sus copas (Zuñiga *et al.* 2005).

La intensidad del sombreado no siempre depende de la densidad de la cubierta vegetal, por ejemplo *Cercidium microphyllum* amortigua mejor las temperaturas extremas que *Ambrosia deltoidea* que tiene un dosel más denso (Drezner y Garrity, 2003). Por otra parte, *Carnegiea gigantea* (el saguaro) se desarrolla con menor frecuencia bajo *L. tridentata* (Parker, 1989), encontrándose más frecuentemente bajo *Prosopis sp.* como plantas nodriza, que sobre suelo desnudo (Hutto *et al.*, 1986).

¿Como es que las plantas que requieren estas condiciones para su desarrollo, llegan a establecerse justamente en esas zonas? La dispersión de semillas de cactáceas columnares depende una gran variedad de aves que se alimentan de sus frutos. Estas aves escogen de manera específica los lugares de percheo y anidación, que en caso de ser una planta leñosa arbórea o arbustiva (Bregman, 1988), favorecen el depósito de semillas bajo la copa de posibles plantas nodrizas, con las microcondiciones (alta concentración de materia orgánica, mayor humedad, menor insolación, etc.) adecuadas para su germinación. Así la dispersión de sus semillas se da de forma diferencial (Villagra *et al.*, 2002).

Al establecerse estas plantas, como en el caso de *P. pringlei* y *C. gigantea*, en su madurez tienden a desplazar a su nodriza (Drezner, *et al.*, 2006), debido a que al crecer, incrementan la competencia por los recursos disponibles (Yeaton y Cody, 1976). *Opuntia leptocualis* usa a *L. tridentata* como planta nodriza, eventualmente se establece una fuerte competencia que termina por desplazar (matar) a *L. tridentata*. Al morir *O. leptocualis* genera una zona descubierta de vegetación que puede ser ocupada de nueva cuenta por *L. tridentata* (Yeaton *et al.*, 1977). Este fenómeno es conocido como sucesión cíclica, y es una dinámica común en muchos ecosistemas.

Bajo las plantas nodriza las condiciones de luz, temperatura, y protección contra depredadores son más benignas para los huéspedes, pero los beneficios también se extienden bajo el suelo, ya que reciben ayuda de la microbiota que se desarrolla bajo su zona de influencia. La extrusión de protones de las raíces, con la concomitante caída del pH de la rizosfera, es una función del metabolismo vegetal bien conocida en varios cultivos (*e. g.* avena y trigo). Esta actividad se puede promover con la adición exógena de N (Bashan y

Levanony, 1989) o al inocular algunas bacterias promotoras del crecimiento vegetal, como *Azospirillum brasilense* (Bashan, 1990; Carrillo-García *et al.*, 2000b). Al acidificarse la rizosfera se incrementa la disponibilidad de los nutrientes para la planta, tales como el fósforo, sin embargo, esto no se ha estudiado bien en plantas silvestres. Carrillo-García *et al.* (2000b), registran que la adición de *A. brasilense* permite a la planta adquirir el P y N, en suelos donde estos nutrientes están, pero no en formas disponibles para la planta.

De manera natural, bajo las nodrizas se establecen relaciones simbióticas entre bacterias y hongos benéficos que participan en la acidificación del medio e incrementan la disponibilidad de nutrientes para las plantas (El-Shatnawi y Makhadmeh, 2001). Además, los microorganismos de la rizosfera tienen efectos positivos o negativos sobre el crecimiento y morfología de las plantas ya que también pueden afectar el balance hormonal, su actividad enzimática y la síntesis de metabolitos secundarios que median la competencia con otras plantas. Estas modificaciones de la rizosfera tienen como resultado una modificación sobre la comunidad vegetal, y pueden tener tal influencia que son capaces de cambiar la composición del ecosistema (O'Connor *et al.*, 2002; Matthias, 2004).

### **Micorrizas vesículo arbusculares (VAM)**

Las micorrizas son asociaciones entre un hongo y las raíces de una planta, en la cual dependiendo del tipo de hongo, pueden o no estar fuertemente asociados a plantas vasculares como a otras no vasculares (Briofitas), recibiendo algún beneficio de estos hongos. Las micorrizas se encuentran diferenciadas en base a su morfología, función y tipo de infección, las cuales por su generalidad en el hospedero las han diferenciado agrupando de la siguiente forma:

- A) Las micorrizas asociadas a orquídeas que pueden desarrollarse sin necesidad de su hospedero, y aunque son muy específicas en su asociación con las orquídeas, su origen es bastante amplio (Brundrett, 2002).
- B) Las micorrizas asociadas a la familia Ericaceae, Epacridaceae y algunas briofitas, incluyen varios grupos de ascomycetos que no forman asociaciones con otras plantas vasculares, y están restringidas a regiones geográficas específicas (Brundrett, 2002).
- C) Las ectomicorrizas que son un grupo bastante grande, rodean a las raíces de las plantas con su micelio, y están conformadas principalmente por Basidiomicetos, pocos

Gasteromicetos y Zigomicetos. Se asocian a gimnospermas, angiospermas y sólo a un género de monocotiledoneas (Lodge, 2000).

D) Las endomicorrizas desarrollan sus hifas dentro de la raíz. Son las más ampliamente distribuidas, encontrándose desde el ártico hasta los trópicos y son las que dominan en los desiertos, pastizales y agroecosistemas.

El descubrimiento de arbusculos en *Aglaophyton* una planta del Devónico, provee de evidencia inequívoca de que las micorrizas aparecieron hace unos 400 millones de años (Remy *et al.*, 1994), dentro de los cuales se cree que el grupo de las Glomales fueron las primeras micorrizas en establecer una simbiosis mutualista con plantas no vasculares como briofitas y hepáticas. Los hongos ya habían colonizado la tierra antes de que las primeras plantas terrestres lo hicieran, por lo que era inevitable que estas no fueran infectadas por hongos parasíticos, sapróbios o de la superficie del suelo. De éstos se cree que los hongos sapróbios fueron los antecesores de las micorrizas ya que poseen enzimas para digerir la pared celular (Brundrett, 2002).

Las VAM están conformadas por dos ordenes de Zygomycetos: las Glomales con micorrizas arbusculares que puede o no formar vesículas (esporas intramatriciales), y las Endogonales, micorrizas que no forman un arbusculo (estructura intracelular) (Koide y Mosse, 2004; Brundrett, 2002). Los Endogonales contienen sólo una familia (*Endogonaceae*) con dos géneros (*Endogone* y *Sclerogone*). Se conoce que forman esporocarpos en las raíces de las plantas asociadas como las que forma *Endogone* sp. en *Pseudotsuga*. Las Glomales forman las micorrizas vesículo arbusculares VAM y están conformadas por seis géneros *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis* y *Scutellospora*. Éstas se asocian con alrededor del 70% de las familias de plantas, entre ellas la mayoría de las plantas de importancia económica angiospermas y gimnospermas, así como a briofitas y pteridofitas e incluso algunas algas (Friberg *et al.*, 2001).

Las VAM, influyen sobre varios factores para que la planta micorrizada presente un mejor desarrollo. Por ejemplo intervienen en el aumento de la producción de azúcares, que se debe a que las hifas tienen una mayor extensión para absorber agua y nutrientes donde la raíz no puede alcanzar. Este aumento en la superficie de absorción provoca una mayor eficiencia fotosintética, y proporciona mayor resistencia estomática en suelos secos y

salinos (Friberg, 2001). También se sugiere que posiblemente las hifas de las VAM absorben y transfieren metabolitos útiles de otros hongos, bacterias, algas y cianobacterias que comparten la rizosfera de la planta asociada. Además de la posibilidad de que las endomicorrizas pueden ofrecer resistencia a varios patógenos como hongos y nematodos, mediante la producción de antibióticos (Rilling, 2004).

La presencia de VAM en maíz, fresa, manzano y álamo tiene relación con la absorción de nutrimentos, lo cual es uno de los factores que más influyen en el aumento del crecimiento de plantas hospederas. En *Capsicum annum* (chile piquín) incluso existen variedades de VAM que brindan un mayor beneficio en su desarrollo que otras, bajo condiciones de estrés hídrico (Davies y Linderman, 1991). Incluso, en experimentos donde se comparó el crecimiento de plantas con VAM en suelos deficientes en fósforo, contra crecimiento de plantas sin VAM, en donde su suelo fue enriquecido con fósforo, no se registró una diferencia significativa (Koide y Mosse, 2004).

En zonas áridas, las VAM favorecen el desarrollo de su hospedero, siendo uno de los factores más importantes para la sobrevivencia de las plántulas durante la temporada seca de un año a otro. Sin embargo, al parecer no influye en la capacidad de germinación de sus hospederos ni durante sus primeras etapas de crecimiento (Bashan *et al.*, 2000b).

El efecto de las VAM sobre su hospedero fluctúa con el estado de la planta y su medio (si la planta está estresada, si su suelo es rico en fósforo disponible para la planta, etc). Se ha encontrado que en concentraciones relativamente altas de fósforo disponible para la planta, las VAM no generan asociaciones con su hospedero (Bashan *et al.*, 2000b).

Por otro lado, al añadir nutrimentos (nitrógeno, fósforo y potasio) a suelos desnudos sin VAM donde crece el *P. pringlei*, favorece su desarrollo de igual manera que como lo hace en presencia de VAM, lo que atribuye la función de las VAM al suplemento de nutrimentos a la planta, más que a la retención de humedad y temperatura del suelo (Carrillo-García *et al.*, 1999). En otros trabajos se ha visto que la influencia de las VAM en la estructura del suelo repercute en la retención del agua por mayor tiempo (Auge 2004). Las interacciones con las VAM también pueden ser negativas, generando ciertas desventajas. Se sabe que durante la infección las VAM, generan un costo perjudicial para la planta, disminuyendo su crecimiento en medios donde las concentraciones de nutrimentos

son bajas, sin embargo existe un costo-beneficio que largo plazo reditúa la permanencia de cactus en las zonas áridas (Koch *et al.*, 2006).

Las asociaciones de las VAM, no ejercen un efecto único hacia el hospedero, ya que la comunidad vegetal puede ser alterada por la presencia de VAM, al hacer más accesible para ciertas plantas el fósforo y el nitrógeno, debido a que no pueden absorberlo directamente del suelo. Esto aumenta su tasa de procesamiento y le da ventaja frente a otras especies que compiten por el mismo espacio y nutrientes en un ecosistema. Al carecer de ésta, las especies subordinadas empiezan a ser replegadas, haciendo menos equitativa la comunidad vegetal (Rilling, 2004 y Rudgers *et al.*, 2004). También las VAM tienen un efecto en la comunidad microbiana, la cual influye de manera directa mediante el mismo micelio y sus productos de desecho o de excreción que ayudan a ciertas bacterias en la solubilización del fósforo y la transformación del nitrógeno (oxidación autotrófica del amonio). Asimismo, al modificar la rizodeposición se afecta de manera indirecta a la microbiota del suelo por la agregación del mismo mediante glicoproteínas (glomalinas) que aglomeran bacterias endosimbiontes (Rilling, 2004).

Las VAM y las plantas nodrizas proporcionan ciertas condiciones que mejoran factores ambientales y biológicos, generando microambientes bajo de las copas de árboles y arbustos, que dependiendo de la especie mantiene por cierto tiempo la humedad y temperatura del suelo (Flores-Martínez *et al.*, 1994), para la continuidad de nuevos individuos de ciertas especies. Estas microcondiciones, generan nuevas propiedades emergentes que caracterizan a las llamadas islas de fertilidad. Su formación comienza con el establecimiento de una planta perenne (*e. g. Prosopis, spp.* u *Olneya tesota*) que al crecer aumenta su número de ramificaciones, éstas funcionan como redes que atrapan las partículas finas que se encuentran suspendidas en el aire, las cuales poco a poco se van acumulando bajo su dosel.

Lo anterior evita la fuerte erosión que existe en los desiertos, favorece la acumulación de materia en el suelo para la formación de las “islas de fertilidad”. Siguen siendo suelos bastante pobres, pero las “islas de fertilidad” contienen suficientes nutrientes acumulados como para que las micorrizas los capten y suplan de estos nutrientes a la planta, ejerciendo el mismo efecto que cuando se adicionan nutrientes exógenos a *P. pringlei*.

Este tipo de suelos son poco agregados, tienen una alta capacidad para la retención del agua, buena aeración y textura más fina; en general tienen una estructura agregada estable y rica en materia orgánica. Tales condiciones del suelo aunadas a las ventajas proporcionadas por la nodriza hacen de las “islas de fertilidad” un sistema altamente eficiente para el establecimiento de plántulas de cactáceas comparado con las áreas arenosas circundantes (Carrillo-García *et al.*, 1999).

Las “islas de fertilidad” generan a su vez una microbiota, donde la planta interactúa en el intercambio de nutrimentos, hormonas y estabilidad del suelo. *Azospirillum* establece relaciones simbióticas con las plantas, ayudando al crecimiento en la producción de hormonas vegetales (Carrillo-García *et al.*, 2000b), mientras las VAM juegan un papel fundamental en el incremento de la absorción de fosfatos, la toma de agua y su transferencia a la planta (Rousseau *et al.*, 1994). Además, las VAM crean una densa red de micelio que aglomera las partículas de polvo en la capa superior de las “islas de fertilidad”; ayudado además por la producción de glomalinas que le otorgan una estructura más estable al suelo contrarrestando su erosión. Aunado a esto, las islas de fertilidad y las copas de plantas nodriza aumentan considerablemente la probabilidad de la inoculación por VAM, comparado con las zonas en donde no existen la planta nodriza o que se encuentra expuesto (Franco y Nobel, 1989; Bashan *et al.*, 2000b), Estas condiciones permiten una mayor proporción de hifas viables de VAM y de otros microorganismos, para favorecer así la interacción e infección de las raíces (Bashan *et al.*, 2000b; Carrillo-García *et al.*, 1999).

En Bahía Kino Sonora, Suzán-Azpiri y Sosa (2006) hicieron un experimento para ver cuál de las dos especies de planta nodriza (*Prosopis glandulosa* y *Olneya tesota*) era más efectiva para promover el crecimiento de *P. pringlei*. En un período de observaciones de 8 años, el crecimiento de *P. pringlei* fue mayor bajo la copa de *P. glandulosa* que bajo *O. tesota*. Esto, contrastó con trabajos anteriores hechos en la misma área de estudio, donde hasta ahora se ha registrado una distribución espacial de plantas adultas de *P. pringlei* asociadas principalmente a *O. tesota* (Suzán-Azpiri y Sosa, 2006). Existen cambios en la especie nodriza ya que en el estado Baja California Sur *P. pringlei* se asocia preferentemente con *P. articulata* y no con *O. tesota*.

Como antes se mencionó Suzán-Azpiri y Sosa (2006), encontraron que *P. pringlei* se asocia principalmente a *O. tesota*. En su experimento se utilizaron 6 árboles nodriza de

cada especie (*O. tesota* y *P. glandulosa*) sembrando individuos germinados de *P. pringlei*, desde 1992 en el cual se registró una diferencia de crecimiento significativamente mayor durante sus primeros 8 años. En este trabajo no se determinaron las diferencias en la composición de la rizósfera de cada nodriza; mientras que Carrillo-García *et al.* (2000), en otro estudio, si determinan este parámetro, encontrando una mayor actividad microbiana de VAM bajo *P. glandulosa* que bajo *O. tesota* (57% y 46% respectivamente). Posiblemente el cambio sea poco, pero a nivel microbiológico, la influencia puede ser significativa. Suzán-Azpiri y Sosa sugieren que el mayor crecimiento en *P. pringlei* bajo de *P. glandulosa*, registrado por Carrillo-García *et al.*, (2000b) se debe en mayor medida al componente biótico del sistema.

A pesar de que los individuos adultos de *P. pringlei* se asocian más fuertemente a *O. tesota*, los individuos jóvenes de *P. pringlei* se establecen preferentemente bajo *P. glandulosa*. En el estudio de Suzán-Azpiri no se tomó en cuenta la microbiota de las nodrizas ni del *P. pringlei*, y como revela el trabajo de Carrillo-García *et al.*, (2000b) las VAM son una parte fundamental de las “Islas de Fertilidad”. Por ello, en este trabajo se pretende investigar cual es el aporte de la proporción total de las VAM al crecimiento diferencial de *Pachycereus pringlei* bajo dos nodrizas *Olneya tesota* y *Prosopis glandulosa*. Por lo que si el total de infestación por VAM llega estar asociado con el crecimiento de *P. pringlei* y el total de infestación de VAM es mayor en *P. glandulosa*, con respecto a las observaciones de porcentaje de infestación total, entonces se sabrá si es un factor importante en el crecimiento de *P. pringlei* respecto de su nodriza.

### **Objetivo general**

Determinar si el crecimiento de *Pachycereus pringlei* se encuentra asociado al porcentaje total de infección con micorrizas vesículo arbusculares (VAM) respecto del tipo de planta nodriza.

### **Objetivos particulares**

Cuantificar el porcentaje de esporas que se encuentran bajo las plantas nodrizas.

Determinar si las magnitudes de diámetro y altura de *P. pringlei* se encuentra asociado con un mayor porcentaje de esporas VAM, respecto de su nodriza.

## **Materiales y Métodos**

### **Área de estudio**

La zona de estudio se localiza en el Rancho San Germán (28°54.14'N, 111°56.05' O) al norte del puerto de Bahía Kino, (municipio de Hermosillo Sonora, México). El clima es de tipo Bwh, con una temperatura media anual promedio de 23.6°C (INEGI, 2005) y temperaturas mínimas promedio de 6°C en invierno y máximas de 50°C en verano (Moreno *et al.*, 2005). El tipo de vegetación en la zona es matorral crasicaule mezclado con matorral subinerme dominando en los arroyos intermitentes por *Prosopis glandulosa*, *Olneya tesota* y *Pachycereus pringlei* (Moreno *et al.*, 2005).

### **Caracterización del area de estudio**

Los suelos de Bahía Kino son de origen volcánico, llegando a formar suelos de tipo gerosol de aluvión (Suzán-Azpiri y Sosa 2006) donde las partículas suelen ser relativamente gruesas. Estas condiciones llegan a formar suelos muy arenosos que son fácilmente removibles en las épocas de considerable precipitación. Estas remociones de suelo pueden ser desde ligeros arrastres superficiales donde se pierden de 2 a 10 cm, hasta llegar a derribar árboles y cactáceas columnares de cientos de años, como se puede apreciar en la figura 1. Estas transformaciones del paisaje, cambian de manera muy drástica las condiciones del suelo de ese lugar, por lo que es muy común encontrar cambios en las trayectorias de los arroyos temporales (ver figura 1 y 4).

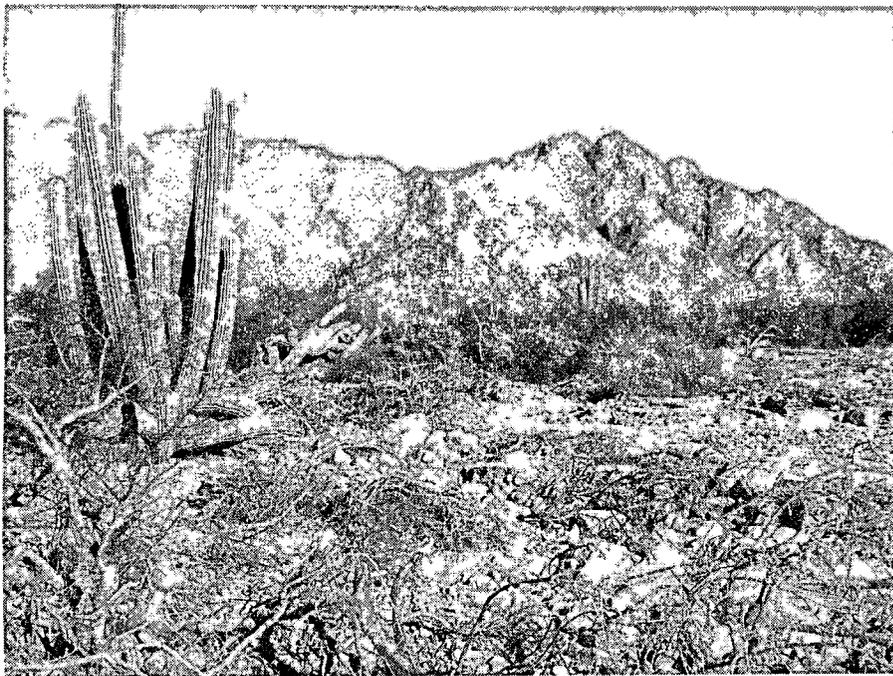


Figura 1. Erosión del suelo en Punta chueca después de la precipitación del 2006. Aquí se puede observar como que este fenómeno ocasiono el desmonte natural de árboles y cactáceas columnares adultos (Fotografía donada por el Zoólogo Horacio Zarate Gómez de la UNAM).

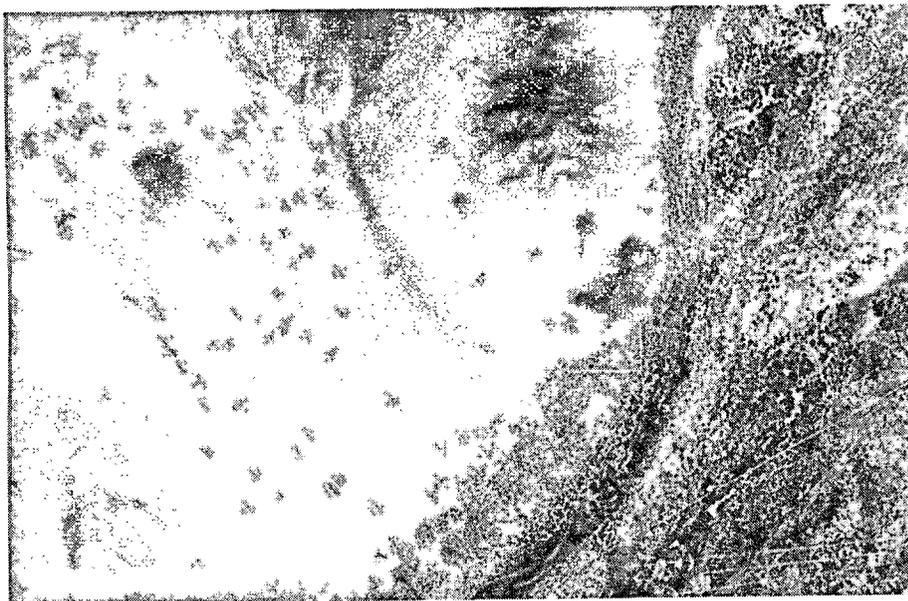


Figura 2. Foto del área en donde se encuentra El Rancho San Germán. Se puede apreciar la escorrentía por la cual se forman las líneas de erosión. Son estas áreas las que son colonizadas por árboles freatofíticos, como *Olneya tesota* y *Prosopis glandulosa* (Google earth).

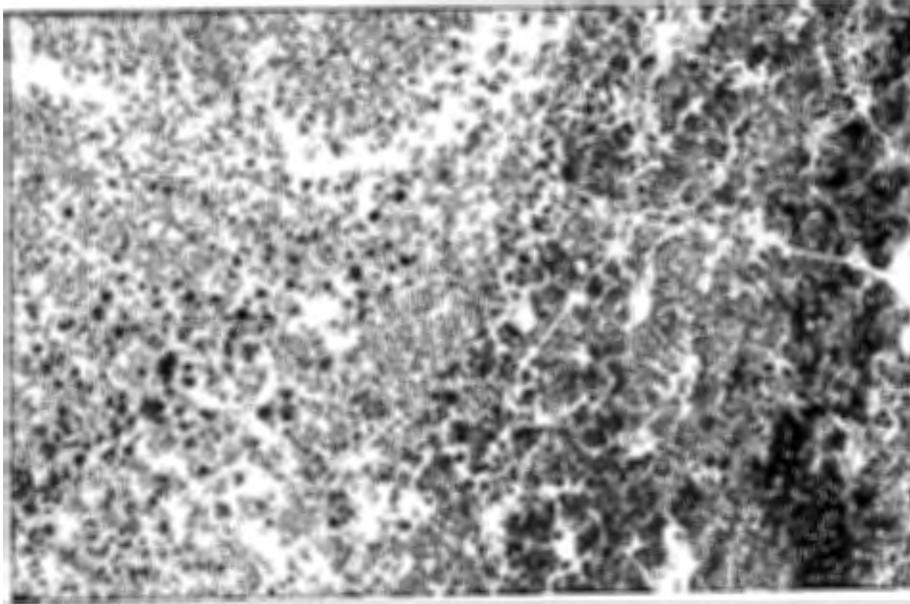


Figura 3. Aumento del recuadro en rancho San Germán. Aquí se puede apreciar ya la individualidad de cada árbol, en donde se puede observar la parte donde se concentran mas árboles en la mitad derecha de la foto, y la parte izquierda en el recuadro donde se llevo a cabo el experimento de Zusán-Azpiri y Sosa (2006) (Google earth).

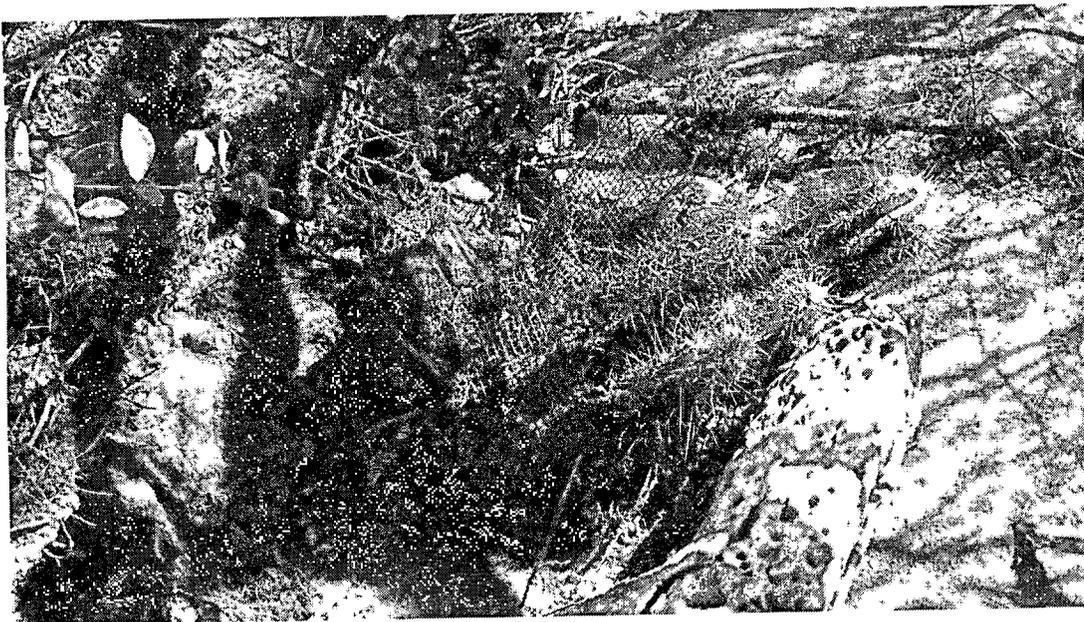


Figura 4. Remoción del suelo y de los *Pachycereus pringlei* jóvenes del experimento, provocado por las precipitaciones del 2006 (foto de Aslam N. P.).

## **Toma de muestras**

Los muestreos se llevaron a cabo en la misma área experimental establecida por Suzán-Azpíri y Sosa (2006). En Agosto del 2006 se llevó a cabo la medición de alturas y diámetros de las plantas de *P. pringlei* que previamente fueron sembradas en 1994 por Suzán-Azpíri y Sosa (2006) bajo 12 nodrizas (6 plantas de *P. pringlei* bajo *Prosopis glandulosa* y otras 6 bajo *Olneya tesota*).

La colecta de suelo para la determinación de esporas de VAM, se hizo en tres épocas: septiembre de 2005, agosto de 2006 y febrero de 2007. Las muestras se tomaron bajo las copas de las nodrizas, retirando la capa superficial de tierra (2 cm aprox.) y tomando alrededor de 300 g de suelo (Carrillo-García *et al.*, 2000b), de igual forma se colectaron 6 muestras de tierra en zonas carentes de vegetación, como control. Estas muestras se utilizaron posteriormente para determinar la proporción de esporas de VAM bajo el dosel de las nodrizas y el suelo sin vegetación.

## **Aislamiento de esporas a partir de suelo**

Se tomaron 50 g de suelo, y se depositaron en un vaso de precipitados de 2 litros, luego se adicionó 1.5 L de agua corriente. Se mezcló por 3 minutos vigorosamente, luego se dejó reposar por un minuto y se decantó el sobrenadante sobre los tamices previamente colocados en orden descendente (1mm, 0.177 mm, 0.037 mm). El procedimiento se repitió dos veces más. La fracción retenida en el tamiz de 0.037 mm se recuperó en tubos de centrifuga, llevándose a un volumen de 10 mL aproximadamente. Las muestras se centrifugaron a 2,500 rpm durante 3 min, en una centrifuga clínica Solvant J-600. El sobrenadante se desechó y la pastilla se resuspendió en 10 mL de la solución de sacarosa al 40%, empleando un Vortex para asegurar una mezcla homogénea. Se volvió a centrifugar a 2,500 rpm durante 15 segundos. El sobrenadante se recuperó sobre el tamiz de 0.037 mm y se lavó con agua destilada por un minuto para eliminar la sacarosa. La fracción se recuperó para proceder a su conteo en el estereoscopio. Esta fracción contiene principalmente esporas de 177 a 37 micrómetros, lo cual se encuentra dentro de las fracciones utilizadas para estos sitios de estudio (38 a 200 micrometros) (Carrillo-García *et al.*, 1999).

Para este trabajo no se hizo distinción entre los géneros o especies de las VAM, ya que el estudio se enfocó en determinar si la proporción total de esporas de hongos VAM tiene alguna asociación con el crecimiento de *P. pringlei*.

### Pruebas estadísticas

Para determinar si existen diferencias significativas en la proporción de esporas de VAM entre los tratamientos se corrió una prueba de ANDEVA. Posteriormente se hizo una prueba de Tukey-Kramer para verificar cual tratamiento es diferente. Debido a la falta de homogeneidad de los datos, se llevo a cabo la prueba estadística no paramétrica de Wilcoxon - Kruskall Wallis, para confirmar el resultado obtenido en la ANDEVA.

Asimismo, se compararon por medio de una ANDEVA las alturas y diámetros de *P. pringlei* bajo *O. tesota* y *P. glandulosa* (JMP versión 6.0, 2005).

### Resultados

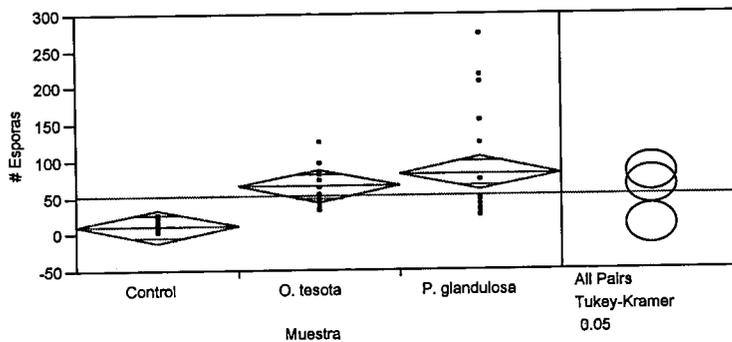
La prueba de ANDEVA mostró una diferencia significativa en la proporción de esporas vesículo arbusculares (VAM) entre los tratamientos, durante los tres tiempos en los que fueron determinadas (septiembre 2005,  $F=29.8672$  Prob.  $>F < 0.0001$ , agosto 2006  $F=14.1692$  Prob.  $>F < 0.0001$  y febrero 2007  $F=14.1692 >P < 0.0001$ ) (figura 5). La prueba de Tuckey-Kramer mostró que existe una diferencia entre el control y los tratamientos durante los meses de agosto y septiembre (figura 5A, 5B). Sin embargo, en el mes de febrero (figura 5C) Tuckey-Kramer mostró una diferencia significativa en el número de esporas bajo la copa de *Prosopis glandulosa* respecto de los otros tratamientos. La prueba no paramétrica coincidió con las diferencias obtenidas con la ANDEVA entre el control y los tratamientos (septiembre  $F=29.3467$  Prob.  $>Z < 0.0001$ , agosto  $F=36.2657$  Prob.  $>Z < 0.0001$  y febrero  $F=29.3467$  Prob.  $>Z < 0.0001$ ).

Los valores más altos de esporulación se presentaron durante Febrero (tabla1). Con 709 esporas por observación y los más bajos fueron en septiembre con mediciones de hasta 13 esporas. Los promedios del número de esporas en cada especie nodriza, también mostraron que *P. glandulosa* siempre contenía una mayor cantidad de esporas de VAM bajo su dosel (figura2). Se observaron las esporas de VAM en las raíces de *P. pringlei* como en la rizósfera de su suelo (figura 8).

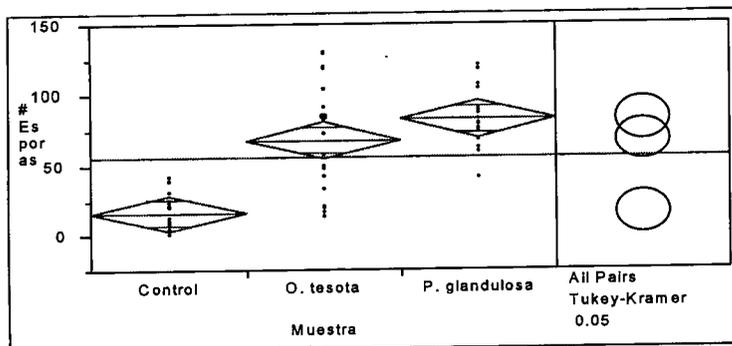
Tabla1. Promedios de esporas bajo las nodrizas y el control en los tres períodos de muestreo.

	Septiembre	Agosto	Febrero	Máximo # de esporas	Mínimo # de esporas
<i>O. tesota</i>	67.8	63.98	83.95	254 (febrero)	13 (agosto)
<i>P. glandulosa</i>	82.52	81.19	210.85	709 (febrero)	24 (septiembre)
Suelo sin vegetación.	16	9.66	21.44	72 (febrero)	0 (Ago. y Sep.)

A)



B)



C)

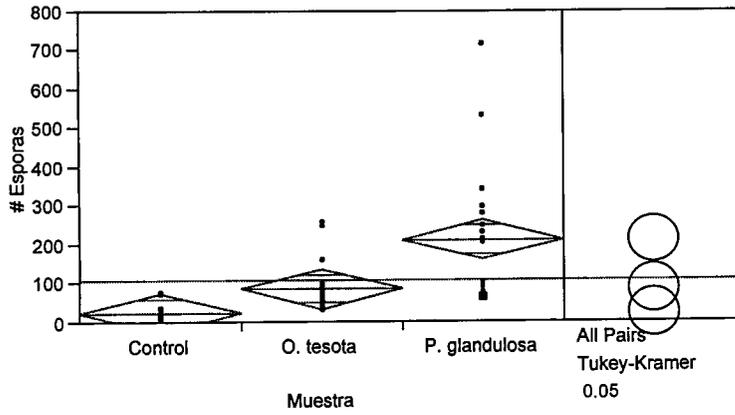


Figura 5. ANDEVA de la proporción de esporas de VAM bajo dos nodrizas y en suelo sin vegetación. A) Septiembre B) Agosto y C) Febrero.

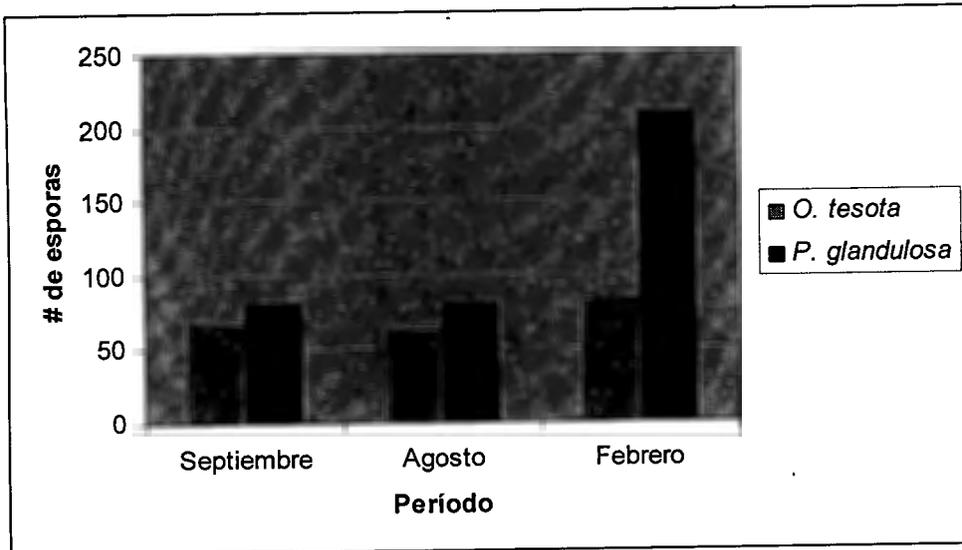
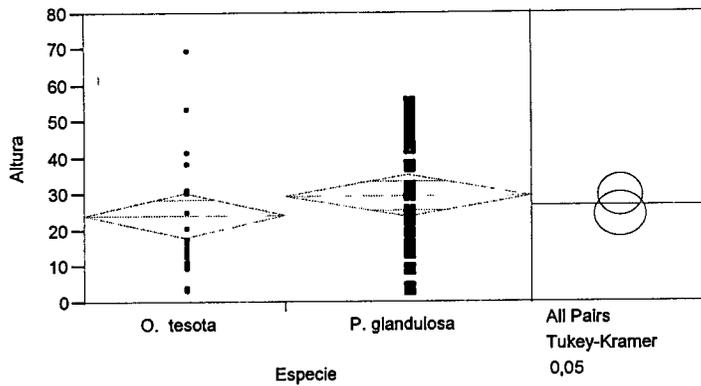


Figura 6. Grafica de los promedios del número de esporas de cada nodriza, obtenidos en los tres periodos.

Respecto de la altura y diámetro de los *Pachycereus pringlei*, no se encontró diferencias significativas bajo ambas nodrizas (diámetro  $F=1.0590$  Prob.  $>F < 0.3077$ , y altura  $F=1.6867$  Prob.  $>F < 0.1992$ ) (figura 7).

A)



B)

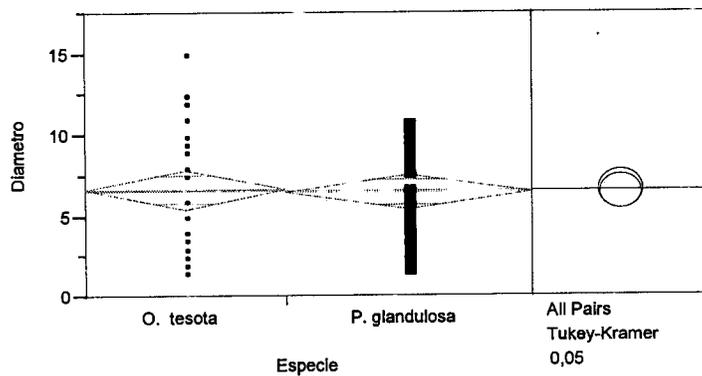


Figura 7. ANDEVA del diámetro (A) y altura (B) de *P. pringlei* bajo sus dos tratamientos.

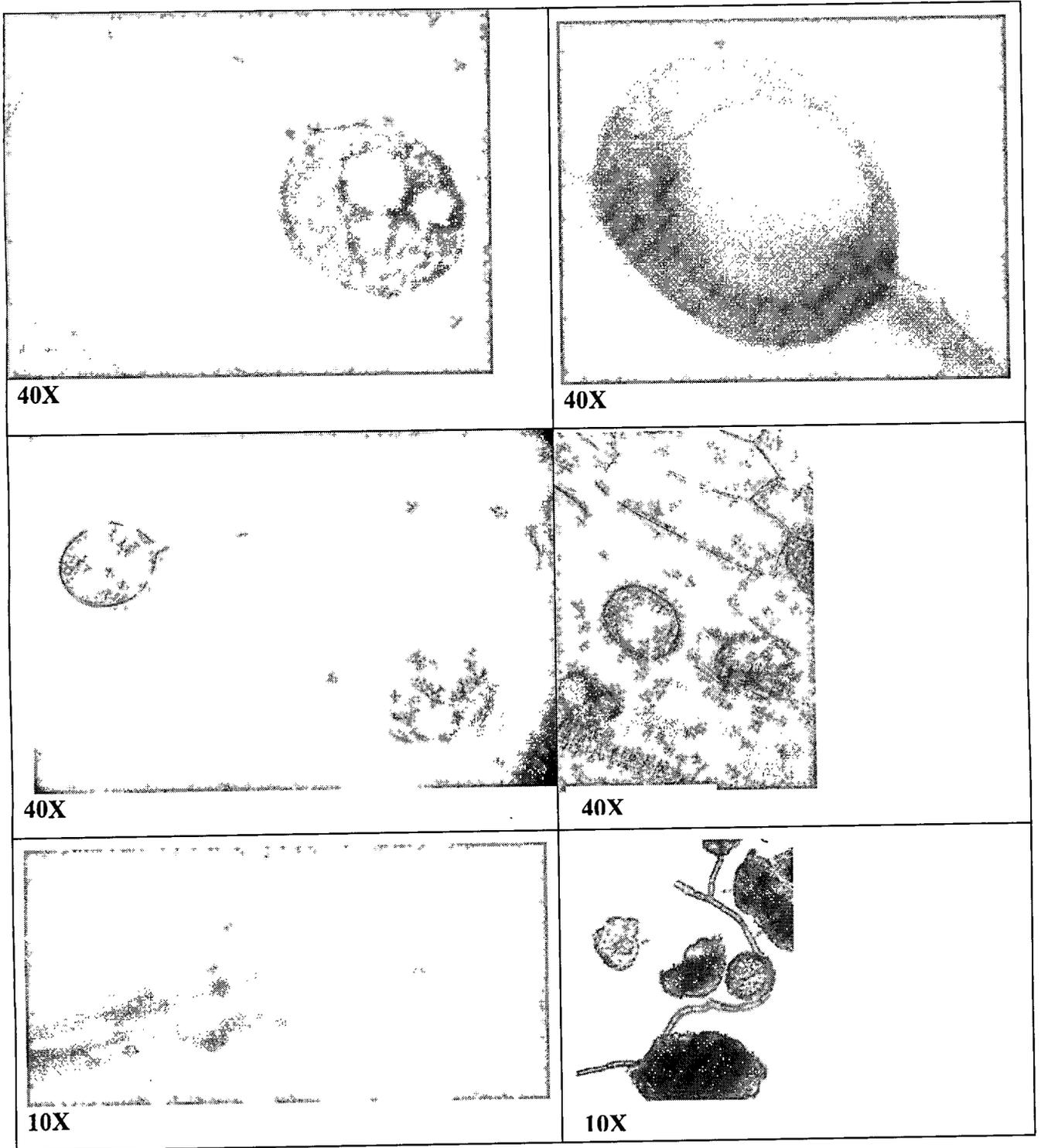


Figura 8. Esporas de VAM tomadas en el microscopio óptico a 10 y 40X, en raíces de *P. pringlei* (fotografía de Aslam N. P.)

## Discusión

Los resultados mostraron que existe una diferencia significativa entre la proporción de esporas bajo el dosel arbóreo de *Prosopis glandulosa* y *Olneya tesota*, con respecto del suelo desnudo, por lo que coincide con resultados obtenidos por otros autores que han trabajado en el Desierto Sonorense (Bashan *et al.*, 2000b; Carrillo-García *et al.*, 1999). Sin embargo, no se observó una diferencia significativa en el crecimiento de *P. pringlei* (altura y diámetro) entre los dos tratamientos de planta nodriza; por otro lado, la proporción de esporas entre *P. glandulosa* y *O. tesota* fue similar en los meses de septiembre y agosto.

La proporción total de VAM no está tomando en cuenta ni la diversidad de especies de micorrizas que existen en esa zona, ni la especificidad de éstas respecto de su hospedero. Por lo que no es posible descartar que las VAM puedan ejercer algún efecto sobre el crecimiento de *P. pringlei*. Sin embargo estudios recientes muestran que algunas especies de VAM poseen una mayor especificidad hacia su hospedero, por lo que genera un mayor rendimiento en su crecimiento (Friberg *et al.*, 2001; Koch *et al.*, 2006). Con ello se modifica la estructura de la vegetación ya que le confiere cierta ventaja respecto de las especies contiguas provocando la dominancia dentro de una comunidad semiárida. Especies de *Medicago minima* disminuyen de manera considerable su dominancia al extirparle a sus VAM simbiotes, permitiendo que otras especies como *Carrichtera annua*, *Salvia verbenaca* y *Vittadinia gracilis* colonicen un mayor espacio dentro de su comunidad aumentando así la “equitatividad” de las especies (O’Connor *et al.*, 2002).

En el estudio de Malagon (Comunicación personal) hecho en Bahía Kino, se identificaron 6 especies de VAM bajo cada una de las especies de árboles nodriza, compartiéndose solamente dos especies, las cuales pertenecen al genero *Glomus*. Sin embargo, desconocemos la cantidad de infección que existe de éstas en *O. tesota* y *P. glandulosa*. Es posible que el hecho se relacione con el mayor crecimiento de *P. pringlei* registrado en Suzán- Aspiri y Sosa (2006). Por otro lado, se ha registrado que *P. pringlei* no es fácilmente micorrizado (Carrillo-García *et al.*, 1999), por lo que posiblemente el efecto de las VAM sólo se presente durante las erráticas precipitaciones, típicas de zonas desérticas.

La especificidad de las micorrizas llega a encontrarse incluso dentro de una misma especie (*e. g. Glomus* sp.) pero aun siendo asilada de diferentes zonas, se ha registrado que

difieren en las tasas de absorción de fósforo, este fenómeno que contribuye para dar distintos rendimientos en la producción de biomasa de la planta (Koch *et al.*, 2006; Munkvold *et al.* 2004). Sin embargo la distancia entre cada árbol nodriza en los cuales se llevaron a cabo las observaciones de Suzán- Azpiri y Sosa (2006) estaban contenidos en no más de media hectárea por lo que el efecto por diferentes ambientes podría no estar generando diferencias fenéticas y genéticas en una misma especie de VAM.

Las VAM aumentan de manera considerable la resistencia en la apertura estomática, así como la absorción de nutrimentos (Fosforo y Zinc). Estas condiciones, bajo un estrés hídrico, promueve la producción de azúcares, beneficiando a ambos organismos. Sin embargo, el efecto benéfico no es continuo ya que al transcurrir la temporada de secas, cuando los recursos son aún más escasos, las plantas no generan suficientes azúcares para compensar la demanda ejercida por las VAM, provocando así un efecto contrario que de igual manera disminuye la producción de biomasa del hospedero (Klironomos *et al.*, 2000).

La prueba de Tuckey-Kramer mostró que la proporción de esporas bajo *O. tesota* siempre fue cercana a la proporción de esporas encontradas en el suelo sin vegetación, lo que concuerda con lo encontrado por (Carrillo-García *et al.*, 1999). A pesar de que siempre hubo una ligera proporción mayor de VAM bajo *P. glandulosa*, no fue estadísticamente significativa más que en el mes de febrero. Esta diferencia se registró después de una elevada precipitación, a ello se atribuye el aumento en la proporción de esporas. Durante este periodo de “abundancia”, el suelo recarga se provisión de agua, con lo que sacan de su dormancia a la microbiota. Es en este momento donde las VAM asociadas a *P. glandulosa* dotan de una ventaja a su hospedero, lo que puede beneficiar de forma indirecta a *P. pringlei*. Habría que estudiar si el errático aporte de agua al ecosistema tiene repercusiones futuras sobre el crecimiento de *P. pringlei* bajo *P. glandulosa*.

En los sistemas áridos la poca y errática precipitación permite un corto tiempo para la mineralización de materia del suelo por los microorganismos. Las plantas dependen de estas nuevas áreas a explotar por los microorganismos donde existen parches de nutrientes potenciales de la misma rizosfera. Al desarrollar nuevas raíces la exudación provoca la atracción de las VAM y otros microorganismos que hacen disponibles estos nutrimentos. El tiempo en que sucede esto se debe a la cualidad y temporalidad de humedad en el suelo que es crítico para el desarrollo de los microorganismos para la sucesiva toma de nutrimentos

por la planta (Caldwell y Percy 1994). En el Desierto Sonorense la distribución de las precipitaciones suele ser de manera no uniforme por lo que es común encontrar áreas con altos contrastes en distancias muy cortas, donde pueden estar existiendo al mismo tiempo zonas con precipitaciones fuertes y zonas sin ninguna precipitación (Wickens 1998).

Se recopilaron los datos de precipitación desde el año 2000 al 2006. Las estaciones se encontraban de entre 40 a 60 km de distancia a Bahía Kino las cuales no registraron una diferencia en la precipitación del 2006 (tabla 2) (Comisión Nacional de Aguas, Hermosillo). Sin embargo los registros fotográficos en las figuras 1 y 4 demuestran claramente los acontecimientos de arrastres por la precipitación.

Tabla 2. Precipitaciones del año 2000 al 2006 en tres diferentes estaciones cercanas a Bahía Kino. Las líneas punteadas significan que no existen tales datos. Los datos que poseen asterisco significan que los datos están incompletos en más de la mitad de los meses.

Estaciones / Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Maria del Carmen	90.5	110.5	169.8	133.3	263.4	172.5	202.5
San Isidro	100.5	84.2	184.5	230	166.1	59*	---
Santa Inés	---	---	---	---	273.9	120.2	211.9

Con estos datos no es posible aseverar que exista una influencia de las VAM sobre el mayor crecimiento de *P. pringlei* bajo *P. glandulosa*, ya que aunque Suzán-Azpíri y Sosa (2006) registraron un mayor crecimiento de *P. pringlei* bajo *P. glandulosa* hace 15 años, los datos actuales de altura y diámetro no muestran diferencias significativas. Esto podría también estar relacionado con su lento crecimiento el cual solo es rápido durante sus primeros estadios, por otro lado, tomando en cuenta que no hubo mediciones continuas en la proporción de VAM desde 1992 y considerando las continuas modificaciones en el suelo por la errática precipitación que suele existir en los suelo de Rancho San German, no es fácil aclarar el fenómeno ocurrido en los experimentos de Suzán-Azpíri y Sosa, período en el que no se registró ni la proporción total de las VAM ni de las diversidad de VAM dentro de la rizósfera.

Sin embargo, los registros obtenidos denotan la existencia de una relación entre los “eventos catastróficos” como la fuerte precipitación que dotó de una buena cantidad de agua al ecosistema seguida por la acelerada proliferación de VAM. Esto es común en sistemas áridos donde las plantas dependen de la mineralización por microorganismos y su respectiva sucesión de organismos del suelo para disponibilidad de nutrientes, lo que hace contribuir a una rápida ganancia de biomasa en un período de tiempo relativamente corto (Caldwell y Pearcy 1994). Para aseverar esto, sería necesario hacer mediciones futuras (sobre todo después de que se presenten aportes de agua inusuales) del porcentaje de infección por VAM en *P. pringlei*, y determinar si esta cactácea, a comparación de las leguminosas que son fácilmente micorrizadas, presenta una infestación temporal, cuando hay suficiente agua en el sistema, que durante las épocas de sequía en la que las VAM resultan menos redituables en su aporte de agua y nutrimentos. Este posible comportamiento podría ser un mecanismo de defensa, ya que las VAM secuestran los azúcares generados por su hospedero, y las plantas no reciben lo suficiente de las VAM para mantener esta demanda en la asociación mutualista (Koch *et al.*, 2006). Por otro lado las raíces de lluvia típicas de cactáceas, al ser temporales y morir después de las lluvias podrían estar provocando la supuesta temporalidad de colonización por VAM en sus nuevas raíces.

En el estado de Baja California Sur La Paz, el suelo bajo mezquite (*Prosopis articulata*), difiere significativamente en fertilidad comparado con *O. tesota*, que es menos fértil, pareciéndose al suelo desnudo (Gee y Bauder, 1986). Además *P. articulata* es el árbol nodriza que más especies alberga bajo su dosel, como *Machaerocereus gummosus*, *Lemaireocereus thurberi* y *Lophocereus schottii* en comparación con *O. tesota* que igualmente se encuentra en ese lugar (Carrillo-García *et al.*, 1999). Sin embargo, los datos de Suzán-Azpiri y Sosa (2006), demuestran que la fertilidad en el suelo bajo *P. glandulosa* es igual que en *O. tesota* en Bahía Kino (ver tabla 2), el cual se encuentra más alejado de la influencia tropical del Pacífico, provocando un cambio de fertilidad en el suelo, y con ello una variación en las especies que se encuentran bajo el dosel de cada árbol nodriza.

Otra posible explicación de que el mezquite no posea una mayor cantidad de nutrientes bajo su dosel podría ser la eliminación de materia del suelo y la microbiota que se desarrolla en él, tras los períodos de lluvias, (figura 2 y 3). La zona experimental de

Rancho San Germán de Bahía Kino, se encuentra en una parte donde las condiciones del suelo no son estables, ya que esta zona es proclive a inundarse en época de lluvias las cuales forman escurrentías que remueven el suelo (figura 2, 3 y 4). Este fenómeno remueve el suelo evitando una formación de “islas de fertilidad” semejante a las que se encuentran en Baja California. A esto se puede deber que en la zona se encuentren en mayor proporción las micorrizas del grupo de las Glomineae, ya que éstas, en comparación con el grupo de las Gigasporineae que son muy susceptibles a perturbación, poseen estructuras de resistencia que les ayudan a persistir y facilitan la recolonización (Klironomos y Miranda, 2002).

Tabla 3. Propiedades del suelo registradas durante el experimento de Suzán-Aspiri y Sosa (reproducido con permiso de los autores). M. O. = microorganismos.

Características del suelo	pH	M. O.	N	P-Br ppm	K	Na	Mg	Ca
<i>O. tesota</i>	7.21	0.9	0.08	34.66	1.02	0.27	1.28	5.24
<i>P. glandulosa</i>	6.87	0.85	0.09	32.33	0.38	0.25	1.64	4.23
t student	0.009	0.7685	0.886	0.14	0.046	0.52	0.01	0.104

Las islas de fertilidad generan condiciones adecuadas para que las plantas se establezcan bajo su área de influencia (Carrillo-García 1999); suponiendo que *P. glandulosa* tuviera un efecto sobre *P. pringlei* debido al crecimiento esporádico y diferencial de las VAM, habría que investigar porque en su actual distribución se encuentran mayormente bajo *O. tesota*. Por ello, el establecimiento de una planta puede estar influida por otros factores (bióticos o abióticos) que pueden ocasionar que las especies no se establezcan necesariamente bajo la mejor nodriza, como en el caso del *P. glandulosa* Vs *O. tesota*, si no más bien en los lugares que lograron colonizar (Tewksbury *et al.*, 1999). Una posible explicación es que la distribución observada se deba a los patrones de dispersión causados por un agente biótico (zoocoría), en este caso queda abierta esta línea de investigación para futuros acercamientos que ayuden a explicar el patrón de distribución de *P. pringlei* observado en el área de Bahía Kino.

## Conclusión

- Los resultados no mostraron una diferencia significativa entre las dos especies nodriza, más que sólo en el periodo de 2007 que precedió a una fuerte precipitación de 2006 en la zona de Bahía Kino.
- La altura y diámetro de *Pachycereus pringlei* respecto de su nodriza y proporción total de VAM, tampoco tuvo diferencias significativas
- En mis observaciones las VAM solo llegaron a ser de una proporción mayor en *Prosopis glandulosa* después de una considerable precipitación, pero a este nivel de estudio en la escala de tiempo en la que se manejo la cual comprendio casi tres años no es posible aseverar si las VAM tienen repercusión en el *Pachycereus pringlei* respecto de su árbol nodriza, por lo que solo deja preguntas abiertas para observaciones a largo plazo.

## Referencias.

Arriaga, L., Maya, Y., Diaz, S. y Cancino, J. (1993). Association between cacti and nurse perennials in a heterogeneous tropical dry forest in northwestern Mexico. *Journal of Vegetation Science*. 4: 349-356.

Auge, M. R. (2004). Arbuscular and soil/plant water relations. *Canadian Journal Soil Science*. 84: 373-381.

Bashan, Y. (1990). Short exposure to *Azospirillum brasilense* Cd inoculation enhanced proton efflux in intact wheat roots. *Canadian Journal of Microbiology*. 36: 419-425.

Bashan, Y. y Levanony, H. (1989). Effect of root environment on proton efflux in wheat roots. *Plant Soil*. 119: 191-197.

Bashan Y., Luz E. Gonzalez, Gerardo Toledo., Jose Luis Leon de La Luz, Gabor J., Bethlenfalvay, Enrique Troyo, Adriana Rojas, Gina Holguin, M. Esther Puente., Vladimir K. Lebsky, Patricia Vazquez., Thelma Castellanos, y Ellis Glazier (2000a). A proposal for conservation of Exemplary Stands of the Giant Cardon Cactus (*Pachycereus pringlei* (S. Wats) Brigg y Rose) in Baja California Sur México. *Natural Areas Journal*. 20: 197-200.

Bashan, Y., Anne Davis E., Carrillo-García A. y Linderman R. G. (2000b). Assessment of VA mycorrhizal inoculum potential in relation to the establishment of cactus seedling under mesquite nurse-trees in the Sonora Desert. *Applied Soil Ecology* 14: 165-175.

Bregman, R. (1988). Forms of seed dispersal in Cactaceae. *Acta Botanica Neerlandica*. 37: 395-402.

Brundrett, C. M. (2002). Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist*. 134: 275-301.

Caldwell W. M., Robert W. Pearcy. 1994. Causes of soil nutrient heterogeneity at different scales John M. Stark. Exploitation of environmental heterogeneity by plants. Academic Press Inc. Printed in San Diego California.

Callaway, R. M. (1995). Positive interactions among plants. *Botanical Review* 61: 306-349.

Carrillo-García, A. Bashan, Y. y Bethlenfalvay, J. G. (2000a) Resource island soils and the survival of giant cactus, cardon, of Baja California Sur. *Plant and Soil*. 218: 207-214.

Carrillo-García, A., Bashan, Y., Diaz R. E. y Bethlenfalvay, G. J. (2000b). Effects of resource-island soils, competition, and inoculation with *Azospirillum* on survival and growth of *Pachycereus pringlei*, the giant cactus of the Sonoran Desert. *Restoration Ecology*. 8 (1): 65-73.

Carrillo-García, A., León de la Luz, J. L., Bashan, y Betlenfalvay, G. J. (1999). Nurse plants, mycorrhizae and plant establishment in a disturbed area of the Sonoran desert. *Restoration Ecology*. 7: 321-335.

Cohn P. J. (2003). A new view of Saguaros. *Bioscience*. 3: 213-217.

Davies F. T. y Linderman R. G. (1991). Short term effects of phosphorus and VA-mycorrhizal fungi on nutrition, growth and development of *Capsicum annum* L. *Scientia Horticulturae*. 45: 333-338.

Drezner, T. D. y Garrity, C. M. (2003). Saguaro distribution under nurse plants in Arizona's Sonoran Desert: directional and microclimate influences. *Professional Geographer*. 55: 505-512.

El-Shatnawi, M. K. J. y Makhadmeh, I. M. (2001). Ecophysiology of the Plant-Rhizosphere system. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 187: 1-9.

Fleming, H. T. (2000). Pollination of cacti in the Sonoran Desert. *American Scientist* 5: 432-440.

Flores-Martinez, A., Ezcurra, E. y Sanchez-Colon, S. (1994). Effect of *Neobuxbaumia Tetetzo* on growth and fecundity of its nurse plants *Mimosa luisiana*. *The journal of ecology*. 2: 325- 330

Franco, A. C. y Nobel P. S. (1989). Effect of Nurse Plants on the Microhabitat and Growth Cacti. *The Journal of Ecology*. 3: 870-886.

Friberg, S. (2001). Distribution and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in traditional agriculture on the Niger inland delta, Mali, West Africa. *CBM: Skriftserie*. 3: 53-80.

.Gee, G W. y J. W. Bauder (1986). Particle-size analysis. Pages 383-411 in A. Klute, editor. *Methods of soil analysis. Part I. Physical and mineralogical methods*. 2<sup>nd</sup> edition. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Greenlee, J. T. y Callaway R. M. (1996). Abiotic Stress and the Relative Importance of Interference and Facilitation in Montane Bunchgrass Communities in Western Montana. *The American Naturalist* 148: 386-396.

Hallé F., Oldeman R. A. A., Tomlinson P. B. (1978). *Tropical Trees and Forests*. Ed. Springer-Verlag. Heidelberg.

Hutto, R. L., Mcauliffe, J. R. y Hogan, L. (1986). Distributional associates of the saguaro (*Carnegiea gigantea*). *The Southwestern Naturalist*. 31: 469-476.

INEGI. (2005). Cuaderno estadístico municipal, Hermosillo, Sonora. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

JMP Statistical Discovery Software. 2005. Versión 6.0. SAS Institute Inc. Cary, N.C. E.U.A.

Klironomos N.J. y Miranda H. M. (2002). Colonization of roots by mycorrhizal fungi using different source of inoculum. *Mycorrhiza*. 12: 181-184.

Klironomos N.J., Miranda H. M. y Neville J. (2000). The influence of arbuscular mycorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity. *Ecology Letters*. 3: 137- 141.

Koch, A. M. Croll, A. y Sanders, R. I. (2006). Genetic variability in a population of arbuscular mycorrhizal fungi causes variation in plant growth. *Ecology Letters*. 9: 103-110.

Koide, T.R. y Mosse, B. (2004). A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza*. 14: 145-163.

Lodge, D. J. (2000). Ecto- or arbuscular mycorrhizas- which are best? *Commentary. Forum. New Phytol.* 146: 353-354.

Matthias, C. R. (2004). Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. *Ecology Letters*. 7: 740–754.

Moreno, C., Weaver, A., Bourillón, L., Torre, J., Egido, J. y Rojo, M. (2005). Diagnóstico ambiental y socioeconómico de la región marina-costera de Bahía Kino, Isla Tiburón, Sonora, México: Documento de trabajo y discusión para promover un desarrollo sustentable. *Comunidad y Biodiversidad (COBI) Asociación Civil*. 88p.

Munkvold L., Kjoller. R., Vestberg, M., Rosendahl, S. & Jakobsen, I. (2004). High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist.*, 164: 357-364.

O'Connor, P. J., Smith E. H. y Smith A. F. (2002). Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity and community in a semiarid herbland. *New Phytologist*. 154: 209-218.

Parker, K. C. (1989). Nurse plant relationships of columnar cacti in Arizona. *Physical Geography*. 10: 322-335.

Remy W., Taylor N. T., Hass H y Kerp H. (1994). Four hundred million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Plant Biology*. 91: 11841-11843.

Rilling, C. M. (2004). Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes, *Ecology Letters* 7: 704-754.

Rousseau, J. V. D., Sylvia, D. M. y Fox, A. J. (1994). Contribution of ectomycorrhiza to the potential nutrient-absorbing surface of pine. *New Phytology*. 128: 639-644.

Rudgers, A. J., Koslow, M. J. y Clay, K. (2004). Endophytic fungi alter relationship between diversity and ecosystem properties. *Ecology Letters*. 7: 42-51.

Suzán-Aspiri, H. y Sosa, V. J. (2006). Comparative performance of the giant carbon cactus (*Pachycereus pringlei*) seedling under two leguminous nurse species. *Journal of Arid Environments*. 65: 351-362.

Tewksbury, J. J., Naphan, G. P., D-Norman., Suzan, H., Tuxill, J. y Donovan, J. (1999). In situ conservation of wild chiles and their biotic associates. *Conservation Biology*. 13: 98-107.

Tielbörger, K. y Kadmon, R. (2000). Temporal Environmental Variation Tips the Balance between Facilitation and Interference in Desert Plants. *Ecology*. 81: 1544-1553.

Turner M. R., Alcorn S. M., Olin G. y Booth A. J. (1966). The Influence of Shade, Soil, and Water on Saguaro Seedling Establishment. *Botanical Gazette*. 127: 95-102.

Valiente-Banuet, A. y Ezcurra E. (1991). Shade as a Cause of the Association Between the Cactus *Neobuxbaumia Tetetzo* and the Nurse Plant *Mimosa Luisana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *The Journal of Ecology*. 79: 961-971.

Villagra, P. E., Marone, L. y Cony, M. A. (2002). Mechanisms affecting the fate of *Prosopis flexuosa* (Fabaceae, Mimosoideae) seeds during early secondary dispersal in the Monte Desert, Argentina. *Austral Ecology*. 27 (4): 416-421.

Yeaton, R. I. y Cody, M. L. (1976). Competition and spacing in plant communities: the northern Mohave Desert. *Journal of Ecology*. 64: 689-696.

Yeaton, R. I., Travis, J. y Gilinsky, E. (1977). Competition and spacing in plant communities: the Arizona upland association. *Journal of Ecology*. 65: 587-595.

Wickens G.E. 1998. *Ecophysiology of Economic Plants in Arid and Semi-Arid Lands*. Springer. 5 y 6.

Zúñiga, B., Malda, G. y Suzán, H. (2005). Interacciones planta-nodriza en *Lophophora diffusa* (Cactaceae) en un desierto subtropical de México. *Biotrópica*. 37 (3): 351-356.