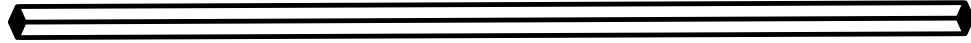




**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA.**



**MICROBIOTA ASOCIADA A LA RIZOSFERA DE *Prosopis laevigata* Y *Mimosa biuncifera* EN DOS MATORRALES XÉROFILOS EN EL VALLE DEL MEZQUITAL, ESTADO DE HIDALGO**

**T E S I S**

Para obtener el título de:

**B I O L O G O**

Presenta:

**ALEJANDRA MORALES CHIMAL**



Director de tesis: Dra. Rosalva García Sánchez

México, D.F

2016



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.

## **AGRADECIMIENTOS:**

Esta tesis está dedicada a mis Padres, a quienes agradezco de todo corazón su amor, comprensión y apoyo. Agradezco a esas personas que han estado presentes apoyándome a lo largo de la carrera y que significan mucho para mí.

Agradezco a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y a sus profesores que contribuyeron a mi formación.

Expreso mi gratitud a los profesores que estuvieron durante la realización de este trabajo: Dr. Gerardo Cruz Flores y Dra. Esther Martiana García Amador por facilitarme el acceso al material y equipo requeridos para este trabajo y a la Dra. Rosalva García Sánchez por su asesoría, apoyo y amistad.

A los amigos de la Fes Zaragoza que me acompañaron a lo largo de la carrera y me brindaron su apoyo para la realización de este trabajo en especial a Oscar Josué Chávez López quien sin su ayuda no habría sido posible esta investigación.

# CONTENIDO

<b>INDICE DE CUADROS.....</b>	<b>6</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Las zonas áridas y semiáridas en México .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Suelo.....</b>	<b>14</b>
2.2.1 Definición .....	14
<b>2.3 Biodiversidad microbiana y su efecto en la calidad del suelo .....</b>	<b>14</b>
2.3.1 Hongos .....	15
2.3.2 Bacterias .....	16
<b>2.4 Propiedades del suelo .....</b>	<b>17</b>
2.4.1 Propiedades físicas .....	17
2.4.2 Propiedades químicas .....	18
<b>2.5 Nutrientes principales del suelo.....</b>	<b>18</b>
<b>3. Mezquite (<i>Prosopis laevigata</i>) .....</b>	<b>20</b>
3.1 Importancia ecológica.....	21
<b>4. <i>Mimosa biuncifera</i> .....</b>	<b>23</b>
4.1 Importancia ecológica.....	23
<b>5. PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>25</b>
<b>6. HIPÓTESIS.....</b>	<b>26</b>
<b>7. OBJETIVOS.....</b>	<b>26</b>
7.1 General .....	26
7.2 Particulares .....	26
<b>8. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
<b>8.1 Área de estudio .....</b>	<b>28</b>
8.1.1 Santiago de Anaya .....	29
8.1.2 Tezontepec de Aldama .....	29
<b>8.2 Cobertura de los matorrales .....</b>	<b>30</b>

8.3 Cobertura y altura de <i>P. laevigata</i> y <i>M. biuncifera</i> .....	31
8.4 Muestreo .....	33
8.5 Análisis bacteriológico .....	34
8.5.1 Montaje de hongos.....	36
8.6. Propiedades físicas y químicas del suelo .....	38
8.7 Respiración microbiana .....	39
8.8 Análisis estadístico .....	41
<b>9. RESULTADOS .....</b>	<b>42</b>
9.1 Cobertura de <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Mimosa biuncifera</i> en dos matorrales.....	42
9.2 Altura y cobertura de las especies en cada sitio.....	42
9.3 Bacterias heterótrofas asociadas a la rizosfera de <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Mimosa biuncifera</i> en la estación de secas y lluvias. ....	44
9.4 Microorganismos fosfolubilizadores en la rizosfera de <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Mimosa biuncifera</i> en estación de secas y lluvias. ....	47
9.5 Hongos totales .....	49
9.6 Microorganismos rizosfericos totales.....	51
9.7 Propiedades físico-químicas del suelo rizosférico de <i>Prosopis laevigata</i> y de <i>Mimosa biuncifera</i> . ....	52
9.7.1 Densidad aparente.....	52
9.7.2 Densidad real .....	52
9.7.3 Espacio poroso .....	53
9.7.4 Textura .....	53
9.7.5 pH.....	53
9.7.6 Materia orgánica.....	53
9.7.7 Nitrógeno total .....	54
9.7.8 Fósforo .....	55
9.8 Respiración microbiana .....	57
9.9 Análisis de componentes principales.....	59
<b>10. DISCUSIÓN.....</b>	<b>60</b>
10.1 Caracterización de los sitios de estudio .....	60
10.2 Análisis bacteriológico del suelo.....	61
10.2.1 Bacterias heterótrofas totales .....	61
10.2.2 Microorganismos fosfolubilizadores .....	63
10.2.3 Hongos totales.....	64
10.2.4 Riqueza de microorganismos.....	65

10.3 Propiedades químicas del suelo .....	66
10.4 Evaluación de la actividad microbiana .....	71
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>73</b>
<b><i>Literatura citada</i>.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO I .....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO II .....</b>	<b>92</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo bajo la cobertura de *Prosopis laevigata*.

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas del suelo bajo la cobertura de *Mimosa biuncifera*.

Cuadro 3. Técnicas utilizadas para la obtención de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Cuadro 4. Riqueza de microorganismos rizosféricos asociados a *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata* por sitio y por estación.

Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas de suelos de dos matorrales del Valle del Mezquital por sitio y por estacionalidad.

## INDICE DE FIGURAS

Figura. 1.- Mapa de las dos zonas de estudio, Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en el Valle del Mezquital.

Figura. 2.- Trazado de línea de Canfield.

Figura. 3.- Medición altura y cobertura de especies vegetales.

Figura. 4.- Obtención de muestras de suelo en campo.

Figura. 5.- Obtención unidades formadoras de colonias (UFC) para bacterias heterótrofas y microorganismos fosfolubilizadores

Figura. 6.- Montaje y fijación de hongos.

Figura. 7.- Medición de respiración microbiana.

Figura. 8.- Representación de la cobertura vegetal en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya, Hgo.

Figura. 9.- Altura de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya, Hgo.

Figura. 10.- Cobertura de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama Santiago de Anaya, Hgo.

Figura. 11.-Bacterias heterótrofas cultivables totales (UFC X10<sup>3</sup>) en el suelo rizosférico de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en temporada seca.

Figura. 12.- Bacterias heterótrofas totales (UFC X10<sup>3</sup>) en el suelo rizosférico de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en temporada lluviosa.

Figura. 13.- Abundancia de microorganismos fosfolubilizadores (UFC X10<sup>3</sup>) en el suelo rizosférico de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en temporada seca.



Figura. 14.- Abundancia de microorganismos fosfolubilizadores (UFC X10<sup>3</sup>) en el suelo rizosférico de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en temporada lluviosa.

Figura. 15.- Abundancia de hongos totales (UFC X10<sup>3</sup>) en el suelo rizosférico de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en temporada seca.

Figura. 16.- Abundancia de hongos totales (UFC X10<sup>3</sup>) en el suelo rizosférico de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en temporada lluviosa.

Figura. 17.- Miligramos de CO<sub>2</sub> en el suelo rizosférico de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya.

Figura. 18.- Carbono de la biomasa microbiana del suelo rizosférico de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya.

Figura. 19.- Componentes principales del suelo rizosférico de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en temporada seca y de lluviosa.

## RESUMEN

Se estudió la variación de los microorganismos del suelo en particular las bacterias heterótrofas totales (BHT), microorganismos fosfolubilizadores (MF) y hongos totales (HT) en relación con algunas propiedades físicas y químicas (pH, N, P, MO, densidad aparente, densidad real, textura) en suelos de dos matorrales del estado de Hidalgo, uno en el municipio de Tezontepec de Aldama y otro en el municipio de Santiago de Anaya, en dos especies *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata* con el fin de evaluar y comparar la abundancia de microorganismos rizosféricos. Se estudiaron muestras de temporada seca y temporada de lluvias.

Para las BHT entre especies en la temporada de secas la rizósfera de *Mimosa* presentó mayor cantidad de Unidades formadoras de colonias (UFC), entre sitios Tezontepec mostró más del doble de BHT, las lluvias provocaron un cambio en la cantidad de microorganismos; para *Mimosa* hubo una disminución en UFC de hasta un 90 %, en el caso de *P. laevigata* las lluvias favorecieron la presencia de BHT en un 30 %. Para los MF hubo un incremento de estos de un 50 % en la temporada de lluvias. Los HT se vieron favorecidos en la estación de lluvias habiendo un incremento del 100 % de UFC de la temporada seca a la temporada de lluvias. En el caso de las propiedades químicas del suelo se registró un aumento en la temporada de lluvias de materia orgánica (MO) y nitrógeno (N), mientras que para el fósforo (P) la mayor concentración se registró en la temporada seca.

El análisis de componentes principales mostró que la densidad real tiene mayor peso, las BHT y los limos se agrupan con la estación de secas. En la estación de lluvias la variable con mayor peso fue la MO, los MF y los HT se ven favorecidos en esta estación.

En conclusión no se encontraron diferencias en las variables entre especies si no entre temporadas.

# 1. INTRODUCCIÓN

México es un país cuyo territorio presenta extensas regiones de zonas áridas y semiáridas, que cubren el 54.3 % de su superficie total. Aunque existen pequeñas zonas áridas repartidas por todo el país, producto de las condiciones climáticas locales (Mosiño, 1983). Estos ecosistemas se caracterizan principalmente por una precipitación escasa y errática, con una marcada temporada de lluvias y de secas (Walter y Stadelman, 1974).

La importancia de estos ecosistemas radica principalmente en su amplia extensión a nivel mundial y que en ellos se alberga una gran biodiversidad (6000 spp de plantas) y son depositarios de los más altos niveles de endemismos del país (Valiente-Banuet, 1996, Toledo y Ordoñez, 1998 citado por Montaña- Arias, 2000). También son importantes porque en ellos ocurren procesos ecológicos, que permiten la dinámica natural de estos ecosistemas.

El estrés provocado por diversos factores ambientales tales como baja disponibilidad de agua, oscilación de temperatura, alta y baja irradiación, salinidad, etc. son el principal obstáculo para la supervivencia y reproducción de las especies vegetales que se encuentran en áreas áridas y semiáridas. (Zak *et al.*, 1995; Whitford, 1986; Schlesinger *et al.*, 1990).

El papel que juegan los microorganismos en ambientes naturales deriva de su cantidad y diversidad, los microorganismos del suelo interviene en los procesos de mineralización de nutrientes. En el funcionamiento de los ecosistemas áridos la biomasa microbiana es clave en la dinámica de los nutrientes esenciales en el sistema edáfico (Acuña *et al.*, 2006), sin embargo, en nuestro país la abundancia y diversidad de estas comunidades en las zonas áridas han sido poco estudiadas ya que no existen trabajos que hablen del papel que desarrollan en estos ecosistemas.

Los microorganismos que forman parte de la rizósfera son benéficos en el desarrollo de las plantas y fertilidad de suelo, puesto que intervienen en la toma de nutrientes, controles biológicos contra patógenos y muchas veces sin ellos no se podrían complementar los ciclos biogeoquímicos (Kohler *et al.*, 2006).

Tradicionalmente, se han utilizado de forma mayoritaria parámetros físicos y químicos como indicadores del estado general del suelo. Los microorganismos del suelo y su estudio han adquirido recientemente mayor importancia (Garbisu *et al.*, 2007). El componente microbiológico sirve como indicador del estado general del suelo, porque la actividad microbiana refleja las condiciones físico-químicas óptimas de los procesos metabólicos de microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos) que actúan sobre sustratos orgánicos Ramos y Zúñiga (2008).

Con respecto a la fertilidad del suelo, algunas especies de bacterias autótrofas y heterótrofas participan en los ciclos de fijación de nutrientes importantes para el desarrollo de las plantas como el nitrógeno y el fósforo. Los hongos de igual manera se adaptan a condiciones más severas que otros microorganismos (Moreno, 2000); son altamente adaptables a diferentes ambientes y son intermediarios cruciales entre el suelo y la planta (Sylvia y Williams, 1992). Esta simbiosis permite a la planta establecerse, desarrollarse, sobrevivir en ambientes extremos como son los áridos y semiáridos hasta influir en la diversidad vegetal (Van der Heijden *et al.*, 1998).

La microbiota en general interviene en la eficiencia de la captación de nutrientes en las plantas, además que su diversidad garantiza los ciclos de los nutrientes, además de contribuir al control de patógenos y a los procesos de descomposición de la materia vegetal (Rosenblueth y Martínez, 2004). Por lo tanto la actividad microbiana mantiene la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas (Alvarez-Solis y Anzueto-Martinez, 2004).

Por otra parte las leguminosas como *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* son especies que con frecuencia se encuentran coexistiendo en los matorrales de México y la información disponible acerca de la comunidad microbiana asociada a su rizósfera es escasa. Estas especies aumentan el suministro de los recursos limitativos del suelo y ofrecen condiciones microambientales favorables como humedad más alta y temperatura más baja del suelo para el crecimiento de otras plantas y microorganismos (Maestre *et al.*, 2003; Maestre y Cortina, 2005; Putten, 2005).

Las mimosas al igual que el mezquite (*Prosopis laevigata*), predominan en sitios perturbados ya que son capaces de crecer en suelos pobres en nitrógeno mejorándolo. El género *Mimosa* puede ser considerado útil para programas de rehabilitación y restauración ecológica, ya que es formadora de isla de recursos principalmente en regiones semiáridas y áridas (Camargo-Ricalde *et al.*, 2004).

La vegetación del Valle del Mezquital, estado de Hidalgo, es una de las menos estudiadas y no hay registros que detallen cambios temporales en la composición y diversidad vegetal (INEGI, 1993). El mezquite (*Prosopis laevigata*) fija el nitrógeno atmosférico, mejora la fertilidad del suelo, actúa como planta nodriza de numerosas especies vegetales y animales, proporciona alimento y refugio a la fauna silvestre, además actúa como indicador de profundidad del manto freático y controla la erosión (Villanueva *et al.*, 2004; Valenzuela *et al.*, 2011).

Para conocer la dinámica de los ecosistemas semiáridos es necesario el estudio de las interacciones positivas que ocurren entre la vegetación y los microorganismos del suelo, de esta forma el enfoque de este trabajo es evaluar la actividad microbiana del suelo asociado a la rizósfera de dos leguminosas, *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en dos matorrales del Valle del Mezquital, hasta hoy existen pocos reportes que evalúen la actividad microbiana en el Valle del Mezquital, sin embargo el estudio de estos ambientes sirve como indicador de la calidad del suelo y puede ser una herramienta para la restauración de estos ecosistemas.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Las zonas áridas y semiáridas en México

De los 32 estados que integran el territorio nacional 25 presentan porciones áridas y semiáridas en mayor o menos proporción (Oropeza-Orozco y Alfaro, 1997).

El valle del mezquital conforma una macrorregión, compuesta por 27 municipios, que se caracteriza por un clima semidesértico, muy caliente durante el día y con bajas temperaturas por la noche. La precipitación anual promedio es de 409 milímetros y la vegetación es principalmente xerófila. La temperatura promedio es de 18 °C; durante enero, el mes más frío, se registra una temperatura promedio de 13 °C, y en los meses más calurosos, de junio a agosto es de 21 °C (Moreno *et al.*, 2006).

El valle del Mezquital es una planicie con ligera pendiente que desciende hacia el norte, limitada por elevaciones topográficas que son en su mayoría conos volcánicos y productos asociados. El valle está constituido por una alternancia de material piroclástico, lava y sedimentos lacustres. Las sierras que bordean el valle del Mezquital están formadas por rocas volcánicas, principalmente lava y en menor proporción toba del Paleógeno (Lesser- Carillo *et al.*, 2011).

En regiones áridas y semiáridas, la profundidad de penetración de la humedad depende de la textura y la capacidad de retención del agua del suelo. Los suelos del valle del mezquital en general son arenosos.

Los matorrales estudiados se desarrollan sobre un suelo tipo Leptosol y Phaeozem de acuerdo con la Base referencial mundial del recurso suelo (FAO, 1999). El clima de la región, en la clasificación de Köppen, es un BS seco semi-cálido con régimen de lluvias en verano (García, 1978). La temperatura anual varía de 16 a 24 °C y la precipitación media anual es de 520 mm, concentrada en los meses de junio y septiembre. La vegetación, tanto en Santiago de Anaya, como en Tezontepec de Aldama, corresponde a un matorral espinoso, en el cual el mezquite y la mimosa dominan el estrato arbóreo y arbustivo (Rzedowski, 1994).

## **2.2 Suelo**

### **2.2.1 Definición**

El suelo es un cuerpo natural, tridimensional, no consolidado, producto de la interacción de los llamados factores formadores del suelo (clima, rocas, organismos, relieve, tiempo). Está compuesto por sólidos (material mineral y orgánico), líquidos y gases, que se mezclan para formar los horizontes o capas diferenciales, resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia a través del tiempo, y cuyo espesor puede ir desde la superficie terrestre hasta varios metros de profundidad Volke-Sepúlveda *et al.*, 2005).

El suelo es el sustento de la vida en este planeta, es fuente de alimentos para la producción de biomasa, actúa como medio filtrante, amortiguador y transformador, es hábitat de miles de organismos, y el escenario donde ocurren los ciclos biogeoquímicos. En el suelo se llevan a cabo la mayoría de las actividades humanas, sirviendo de soporte físico y de infraestructura para la agricultura, actividades forestales, recreativas, y agropecuarias, además la socioeconómica como vivienda, industria y carreteras (Volke-Sepúlveda *et al.*, 2005).

## **2.3 Biodiversidad microbiana y su efecto en la calidad del suelo**

La calidad del suelo está fuertemente influenciada por los procesos microbianos que en él ocurren, y éstos, relacionados con la diversidad por tanto, es muy probable que el mantenimiento de la estructura de la comunidad microbiana tenga la capacidad de servir como indicador temprano y de gran sensibilidad de la degradación o empobrecimiento del suelo (Abril, 2003).

Como entidad viva, el suelo alberga organismos a los que les brinda nutrientes y sitio de desarrollo. Los microorganismos del suelo son aquéllos que miden  $<200 \mu\text{m}$ ; en esta categoría se encuentran protozoos y algunos nematodos, así como bacterias, actinomicetos, hongos y algas. Las bacterias son los organismos unicelulares más numerosos en el suelo. El crecimiento microbiano más importante tiene lugar en la

superficie de las partículas del suelo, normalmente en la zona conocida como rizósfera. Se estima que en un gramo de suelo en buen estado se pueden encontrar hasta 600 millones de bacterias, correspondiente entre 15 y 20 mil especies (Contreras- Araneda, 2005).

La población microbiana en la rizósfera es considerablemente mayor que la de los suelos sin raíces y es fisiológicamente más activa (Bauer, 1991). La rizósfera puede considerarse como una zona de amortiguamiento microbiológico (Kruppa y Dommergues, 1981).

Los microorganismos de la rizósfera contribuyen al crecimiento vegetal aumentando la disponibilidad de nutrientes limitantes como el fósforo y el nitrógeno, y a su vez, la composición y actividad de la comunidad bacteriana, está fuertemente influenciada por el tipo de vegetación presente en el suelo (Semmartin *et al.*, 2010; Thomson *et al.*, 2010).

Los microorganismos juegan un papel dentro de los factores formadores del suelo como los encargados de la fertilidad del suelo y degradación de la materia orgánica; además, gracias al proceso de degradación, se liberan ciertos elementos esenciales para la nutrición de las plantas; así, la fertilidad del suelo se puede ver incrementada por la presencia de azufre, fósforo, o manganeso entre otros (Porta-Casanellas *et al.*, 2003), además de ser indispensable en los ciclos biogeoquímicos tanto del carbono, nitrógeno y de muchos otros elementos.

Las bacterias son los organismos más numerosos en el suelo (entre  $10^6$  y  $10^7$  bacterias g<sup>-1</sup> de suelo), mientras que los hongos dado su mayor tamaño aunque menor abundancia tiene mayor biomasa (Alexander, 1980; Tate III, 1995).

### 2.3.1 Hongos

Los hongos son heterótrofos y mayoritariamente aerobios, desarrollan estructuras filamentosas denominadas micelios formando largas hifas individuales de 1 a 20  $\mu$ m de diámetro, lo que hace que su biomasa llegue a ser comparable a la de las bacterias, a pesar de ser menos numerosos (Porta-Casanellas *et al.*, 2003).



Los hongos pueden ser divididos en diferentes grupos de acuerdo a la fuente de energía que utilizan (Ingham, 2000):

- Descomponedores
- Mutualistas
- Patógenos y parásitos

Los hongos poseen un amplio rango de funciones en el suelo, incluyendo su papel como simbioses de plantas, patógenos de plantas y animales e incluso carnívoros, sin embargo su papel más importante en el suelo desde el punto de vista ecológico, es la descomposición de la materia orgánica desde los azúcares simples y aminoácidos hasta polímeros muy resistentes como la lignina y complejos de ácidos húmicos del suelo. El papel de los hongos como simbioses para el desarrollo de plantas va en función de su papel en la toma de nutrientes, resistencia a enfermedades y relaciones hídricas favorables (Alexander, 1980; Lynch, 1983; Parkinson y Coleman, 1991; Killham, 1994).

### 2.3.2 Bacterias

Las bacterias son organismos unicelulares, con un tamaño promedio de 1  $\mu\text{m}$ . Frecuentemente viven en colonias de miles o millones de individuos, todos de la misma especie. Muchas de estas colonias producen sustancias que actúan como adhesivos que permiten que las partículas del suelo se adhieran.

Las bacterias poseen una gran variedad de funciones en el suelo. La descomposición de animales, plantas y residuos microbianos es llevada a cabo por bacterias heterótrofas. Estas bacterias tienden a ser los miembros más numerosos de la comunidad microbiana del suelo y su selectividad de los substratos varía de una especie de bacteria a otra. Las bacterias del suelo, juegan un papel en los ciclos de nutrientes como desintegradoras de los compuestos orgánicos (Alexander, 1980; Lynch, 1983; Parkinson y Coleman, 1991; Killham, 1994).

## 2.4 Propiedades del suelo

Las propiedades físicas y químicas determinan la productividad de los suelos. El deterioro del suelo se manifiesta en pérdida de las propiedades físicas y químicas, lo cual repercute sobre la actividad biológica ya que los microorganismos son sensibles a los cambios de calidad del suelo (Torres *et al.*, 2006; Medina *et al.*, 2011).

### 2.4.1 Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Rucks *et al.*, 2004).

Las características físicas de un suelo en condiciones húmedas y secas, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la retención de nutrientes de las plantas, entre otras están íntimamente conectados con la condición física del suelo (Rucks *et al.*, 2004). Algunas propiedades físicas del suelo estudiadas en este trabajo son:

**Textura:** La textura de un suelo está determinada por las cantidades de partículas minerales inorgánicas (medidas como porcentajes en peso) de diferentes tamaños (arena, limo y arcilla) que contiene. La proporción y magnitud de muchas reacciones físicas, químicas y biológicas en los suelos están gobernadas por la textura, debido a que ésta determina el tamaño de la superficie sobre la cual ocurren las reacciones (Huerta-Cantera, 2010).

**Densidad aparente y real:** La densidad aparente está relacionada con el peso específico de las partículas minerales y las partículas orgánicas así como por la porosidad de los suelos. Si se considera cierto volumen de suelo en sus condiciones naturales, es evidente que solo cierta proporción de dicho volumen está ocupada por el material del suelo (Aguilera, 1989). El resto lo constituyen espacios intersticiales que, en condiciones ordinarias de campo, están ocupados en parte por agua y en parte por aire. El peso de la

unidad de volumen de suelo con espacios intersticiales es lo que da la densidad aparente (Wooding, 1967). La densidad real está asociada únicamente al tamaño de las partículas sólidas del suelo; es decir, a su textura. Si las partículas son pequeñas ocupan menos espacio que si son grandes y viceversa (Gisbert *et al.*, 2012).

#### 2.4.2 Propiedades químicas

La química de suelos es la ciencia que estudia los componentes inorgánicos y orgánicos, así como los fenómenos a que da lugar la mezcla de esos componentes, corresponden fundamentalmente a los contenidos de diferentes sustancias importantes como micro nutrientes (N,P, Ca, Mg,K,S) y micro nutrientes (Fe, Mn,Co,B,MO,Cl) (Bornemisza, 1982). Algunas propiedades químicas estudiadas son:

pH: El pH o potencial de hidrógeno determina el grado de adsorción de iones ( $H^+$ ) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad y disponibilidad en el suelo. Una de las características del suelo más importantes es su reacción, ésta ha sido debidamente reconocida debido a que los microorganismos y plantas superiores responden notablemente a su medio químico. El pH se clasifica en ácido, neutro y básico (Buckman y Brady, 1966).

Materia orgánica: La materia orgánica del suelo constituye la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo así como sustancias producidas por los organismos del suelo. La fracción orgánica del suelo regula los procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas y es el centro de todas las actividades biológicas en el mismo, incluyendo la microflora y la fauna (Bornemisza, 1982).

### **2.5 Nutrientes principales del suelo**

Los nutrientes son elementos obtenidos por las plantas, generalmente del suelo. La nutrición vegetal se relaciona con el abastecimiento y absorción de compuestos químicos necesarios para el crecimiento y metabolismo de las plantas. Los compuestos requeridos

por los vegetales se denominan nutrientes. El 90-95 % del peso seco del material vegetal está constituido por C, O e H, que son los principales constituyentes de los compuestos orgánicos, y el 5-10 % restante corresponde a otros elementos cuya presencia es esencial para completar su desarrollo normal y su ciclo biológico.

Debido a su papel fisiológico se les llama elementos esenciales y, de acuerdo a la concentración en que son requeridos por la planta, se clasifican en macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B, Cl). Un nutriente es esencial para la planta cuando: su ausencia debe impedir completar el ciclo vital, debe tener al menos una clara y determinada función fisiológica no realizable por otro elemento y debe formar parte de una molécula esencial o debe ser requerido para una reacción enzimática (Álvarez, S/F).

El nitrógeno (N) es un recurso esencial para el crecimiento vegetal por ser un elemento fundamental en la síntesis de compuestos como aminoácidos y proteínas, el cual es tomado básicamente del suelo. Sin embargo, para que el N se encuentre en el suelo es necesario que sea mineralizado por los microorganismos del suelo, principalmente por heterótrofos (Paul y Clark, 1996). La planta lo puede obtener por absorción radicular del nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y del amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), aunque algunas plantas pueden establecer simbiosis con bacterias fijadoras de  $\text{N}_2$  atmosférico. Más del 50 % del N se halla en proteínas y ácidos nucleicos (Paredes, 2013).

El fósforo (P) después del nitrógeno, es el nutriente inorgánico más requerido por plantas y microorganismos y además, en el suelo es el factor limitante del desarrollo vegetal a pesar de ser abundante tanto en formas inorgánicas como orgánicas (Alexander, 1980). Como fosfato forma ésteres en los ácidos nucleicos o moléculas estructurales como los fosfolípidos, es imprescindible en la generación de la energía necesaria para lograr el proceso de fotosíntesis y la formación de fotosintatos energéticos (azúcares y almidones) siendo clave en todo el metabolismo (Paredes, 2013).

### **3. *Prosopis laevigata* (Humb. Et Bonpl. Ex Willd)**

Las especies del género *Prosopis* son componentes florísticos de las regiones áridas y semiáridas del Norte de América. Las adaptaciones morfológicas y fisiológicas que presentan les permiten establecerse en condiciones limitadas de humedad, salinidad y fertilidad del suelo, lo cual le da un papel en la dinámica de los ecosistemas áridos. La relación que existe entre el mezquite con las demás especies vegetales tiene influencia en la distribución y supervivencia de las mismas (Cruz *et al.*, 1997; Montaña-Arias, 2000). Al igual que las mimosas el mezquite ha sido reconocido como formador de islas de recursos donde se ha demostrado que bajo su dosel contiene una gran actividad microbiana (Olalde-Portugal *et al.*, 2000).

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

Dentro del Valle del Mezquital *P. laevigata* se distribuye en gran parte en el Valle de Ixmiquilpan, parte suroeste de Actopan y parte noroeste y suroeste del Valle de Mixuiahuala (Gómez, 1970).

*P. laevigata* se localiza a altitudes que van desde el nivel del mar hasta 2300 msnm. En cuanto a condiciones de suelo se encuentran tanto en suelos calizos como ígneos, en suelos planos y profundos o con ligero declive, generalmente las texturas de los suelos en las que se encuentra son del tipo franco, franco-arenoso y arcilloso (Barrios, 1985). Las adaptaciones morfológicas y fisiológicas que presenta el mezquite, como raíces profundas y capacidad de asociarse con microorganismos simbióticos en su raíz, le permiten establecerse en condiciones limitadas de humedad, salinidad y fertilidad del suelo (Simpson y Solbrig, 1977; Felker *et al.*, 1981; Rzedowski, 1988).

### 3.1 Importancia ecológica

El mezquite es un excelente controlador de la erosión, fija el nitrógeno de la atmósfera al suelo mejorando su fertilidad, y proporciona alimento y refugio a la fauna silvestre (Carrillo, 2000). Es un recurso que puede ser utilizado para la recuperación de tierras agrícolas con problemas de salinidad en suelo y agua, además se considera útil para estabilizar y mejorar el suelo al incrementar el contenido de materia orgánica, mejora la capacidad de almacenamiento de agua y la tasa de infiltración y posee una de las capacidades fotosintéticas más altas, esto por su buen aprovechamiento de agua y de nitrógeno (Ruiz, 2011).

*Prosopis laevigata* posee la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, ya que las raíces de esta planta establecen una asociación con bacterias del género *Rhizobium*, definidas por la habilidad de fijar nitrógeno al suelo (Vázquez *et al.*, 2000).

Herrera-Arreola (2007) reporta que bajo la copa de *Prosopis laevigata* obtuvo porcentajes de 1.40 y 1.68 de nitrógeno total en un estudio realizado en Durango.

Por ello, las comunidades de mezquite juegan un papel importante en el mantenimiento del balance ecológico en ecosistemas áridos, provee alimento y refugio a un amplio rango de organismos (Galindo y García, 1986), además genera islas de fertilidad que originan mayor abundancia de organismos (Olalde-Portugal *et al.*, 2000) y favorecen el desarrollo de herbáceas (Frías -Hernández, 1999; Flores *et al.*, 2000).

Por su capacidad de retención de suelo y de adaptación ha sido recomendada para regenerar suelos degradados, así mismo se ha empleado como planta forrajera, árbol de sombra, estabilizador de suelo y protección de cuencas hidrográficas (Villanueva, 1993; Meraz *et al.*, 1998). Debido a su capacidad de crecimiento y por sus usos diversos, el mezquite podría incluso emplearse en programas de reforestación con especies nativas en sitios degradados por actividades agrícolas y pecuarias (Ramírez y Villanueva, 1991; Ramírez y Villanueva, 1998).

La importancia ecológica del mezquite es indiscutible; por una parte juega un papel en el medio ambiente como planta nodriza de numerosas especies de aves y roedores (por otro lado, esta planta se emplea en la obtención de madera, leña, carbón, miel; sus

frutos (vainas) se utilizan en la elaboración de diversos alimentos para consumo humano y como forraje. En escala muy pequeña también se aprovecha la goma de su corteza. Si bien la utilización de la madera de mezquite representa una importante actividad económica en numerosas comunidades rurales, la tala indiscriminada, ha resultado en una severa deforestación de este recurso en zonas áridas. En contraste, el aprovechamiento de productos no maderables de alto valor, tales como vainas, miel y goma, constituyen alternativas económicas mucho más acordes con el concepto de desarrollo sostenible (Rodríguez *et al.*, 2014). En el cuadro 1 se muestran datos de algunas propiedades físicas y químicas del suelo bajo la cobertura de *P. laevigata* encontradas en otros estudios.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo bajo la cobertura de *Prosopis laevigata* (trabajos previos).

	Hidalgo Santiago de Anaya		Hidalgo Gonzalez- Ortega*		Guanajuato "El cotijo" **		Guanajuato "El cotijo" Oeste**		Guanajuato "El cotijo" Este**	
	DIR	FIR	DIR	FIR	DIR	FIR	DIR	FIR	DIR	FIR
<b>Materia orgánica %</b>	7.55	2.79	2.63	1.61	3.4	0.63	2.20	0.74	1.45	0.62
<b>Carbono orgánico%</b>	4.33	1.61	1.52	0.93	-	-	-	-	-	-
<b>Nitrógeno total %</b>	0.18	0.12	0.16	0.09	-	-	40.5	26.5	45.0	15.7

- Montañó-Arias, 2000; \*\* Cruz, 1996; \*\*\* Frías-Hernández, 1998.
- DIR= Dentro de la Isla de Recursos; FIR= Fuera de la Isla de Recursos

#### **4. *Mimosa biuncifera* (Benth.)**

En México el género *Mimosa* comprende hasta el momento 110 especies, lo que representa el 22 % del total del género, el 60 % del género *Mimosa* son endémicas del país, ocupando el segundo lugar en riqueza (Grether *et al.*, 1996; Camargo-Ricalde *et al.*, 2004). *Mimosa biuncifera* se encuentra como elemento importante en los matorrales xerófilos. Es una especie oportunista ya que su abundancia está relacionada con el grado de perturbación de la vegetación (Camargo-Ricalde, 1997).

##### 4.1 Importancia ecológica

Las especies de *Mimosa* que habitan el matorral xerófilo generalmente son arbustos espinosos que forman islas de fertilidad y pueden ser nodrizas de diversas especies (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Rzedowski y Rzedowski, 2001; Camargo-Ricalde y Dhillion, 2003; Luna-Suárez *et al.*, 2004; Martínez-Pérez *et al.*, 2006). Estas características distinguen a las especies de *Mimosa* como potenciales para ser usadas en proyectos de restauración ecológica, ya que generan condiciones ambientales propicias para el establecimiento de otras especies y con ello impulsan la sucesión (Camargo-Ricalde y Grether, 1998; Godínez y Flores-Martínez, 1999; García-Sánchez, 2005; Martínez-Pérez *et al.*, 2006). Además, varias especies de *Mimosa* en México tienen uso tradicional, lo que les confiere valor económico y cultural (Camargo-Ricalde *et al.*, 2001).

El género *Mimosa* dentro de los matorrales desarrollan nódulos fijadores de nitrógeno al asociarse con bacterias del género *Rhizobium*, lo que les da la capacidad de enriquecer el suelo, además de formar islas de recursos (Luna-Suarez, 1998; Camargo-Ricalde *et al.*, 2004). Herrera-Arreola (2007) reporta que bajo el dosel de *Mimosa Biuncifera* hubo un porcentaje de 1.39 y 1.74 de nitrógeno total, en un estudio realizado en Durango.

El crecimiento del sistema radical de la mimosa provee un sitio seguro para los microorganismos edáficos, forma banco de semillas, óptimas condiciones micro ambientales bajo su dosel, proporcionando el ambiente adecuado para el desarrollo de



microorganismos, los cuales son características esenciales de las islas de recursos (Camargo-Ricalde *et al.*, 2004).

En términos generales, se puede afirmar que las especies de Mimosa, como otras leguminosas (i.e. géneros *Acacia*, *Leucaena* y *Prosopis*), son elementos importantes en sitios perturbados y en terrenos agrícolas abandonados, debido a su capacidad de crecer en suelos pobres en nitrógeno, al mismo tiempo sirven a su mejoramiento y evitan la erosión y, por tanto, facilitan el establecimiento de otras especies vegetales; además, proveen de refugio, y de semillas y forraje a animales domésticos y silvestres (Camargo-Ricalde y García- García, 2001). En el cuadro 2 se muestran datos de algunas propiedades físicas y químicas del suelo bajo la cobertura de *M. biuncifera* encontradas en otros estudios.

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas del suelo bajo la cobertura de *Mimosa biuncifera* (trabajos previos).

	Guanajuato área recuperada*	Guanajuato área recuperada*	Guanajuato área degradada*	Guanajuato área degradada*
	DIR	FIR	DIR	FIR
<b>Materia orgánica %</b>	-	-	-	-
<b>Carbono orgánico %</b>	31.27g kg <sup>-1</sup>	26.55 g kg <sup>-1</sup>	18.18 g kg <sup>-1</sup>	17.47 g kg <sup>-1</sup>
<b>Nitrógeno total %</b>	3.52 g kg <sup>-1</sup>	2.90 g kg <sup>-1</sup>	2.27 g kg <sup>-1</sup>	1.85 g kg <sup>-1</sup>

- Montaña-Arias, 2000; \*\* Cruz, 1996; \*\*\* Frías-Hernández, 1998.
- DIR= Dentro de la Isla de Recursos; FIR= Fuera de la Isla de Recursos

## 5. PROBLEMÁTICA

Dentro de los matorrales semiáridos del Valle del Mezquital la problemática de la pérdida de cubierta vegetal debido a la expansión urbana y el incremento de las actividades ganaderas y agrícolas afectan mermando de manera considerable a las poblaciones principalmente de mezquite y *Mimosa*.

La importancia de ambas especies radica en que son especies multipropósito apreciadas por la gente de la localidad, además de su importancia ecológica menos conocida relacionada con los procesos biológicos que actualmente se sabe están ligados a la actividad microbiana del suelo. Bajo esta perspectiva, este trabajo se enfoca en conocer y comparar la abundancia de microorganismos rizosféricos en dos de las leguminosas dominantes en los matorrales del Valle del Mezquital, *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera*. En este caso se estudio a las dos leguminosas en dos matorrales, uno en cada municipio: Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya, estos matorrales son diferentes en porcentaje de cobertura vegetal y ambos tienen una marcada estacionalidad (lluvias y secas). Las poblaciones de *Mimosa* y *Prosopis* pueden recuperarse de manera natural con ayuda de las interacciones rizosféricas que puedan establecer, sin embargo existen muchos microorganismos que pueden llevar a cabo esta interacción y que son poco conocidos, por lo que es importante generar información básica que pueda ser aplicada posteriormente. Por ello surgen las siguientes preguntas de investigación:

¿Habrá la misma cantidad y tipo de microorganismos en las rizósferas de *Prosopis laevigata* y de *Mimosa biuncifera* creciendo en dos sitios: Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya?, ¿Habrá diferencias en la cantidad y tipo de microorganismos entre las especies: *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera*?, ¿La estacionalidad (secas y lluvias) afectan la abundancia de microorganismos rizosféricos de igual manera en *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera*?

## 6. HIPÓTESIS

El matorral estudiado en el municipio de Santiago de Anaya presenta mayor cobertura vegetal respecto al matorral de Tezontepec de Aldama, cobertura que se debe, en gran parte, a la altura y tamaño de copa de las leguminosas dominantes *como Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera*; ambas especies modifican de diferente manera las propiedades del suelo, por ello se espera que la abundancia de microorganismos este influenciada por la especie de leguminosa. Además, los matorrales son ecosistemas con una marcada temporada de lluvias y secas, por lo que se espera que exista influencia de la estacionalidad en la microbiota edáfica.

## 7. OBJETIVOS

### 7.1 General

Comparar la abundancia de microorganismos asociados a la rizósfera de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en dos matorrales del Valle del Mezquital en la temporada de seca y lluviosa.

### 7.2 Particulares

Evaluar la cobertura y altura de *P. laevigata* y de *M. biuncifera* en un matorral en Santiago de Anaya y Tezontepec de Aldama, Hidalgo.

Evaluar la abundancia de bacterias heterótrofas asociadas al suelo rizosférico de *P. laevigata* y de *M. biuncifera* provenientes de dos matorrales semiáridos.

Evaluar la abundancia de microorganismos fosfolubilizadores asociados al suelo rizosférico de *P. laevigata* y de *M. biuncifera* provenientes de dos matorrales semiáridos.

Evaluar la abundancia de hongos totales asociados al suelo rizosférico de *P. laevigata* y de *M. biuncifera*.

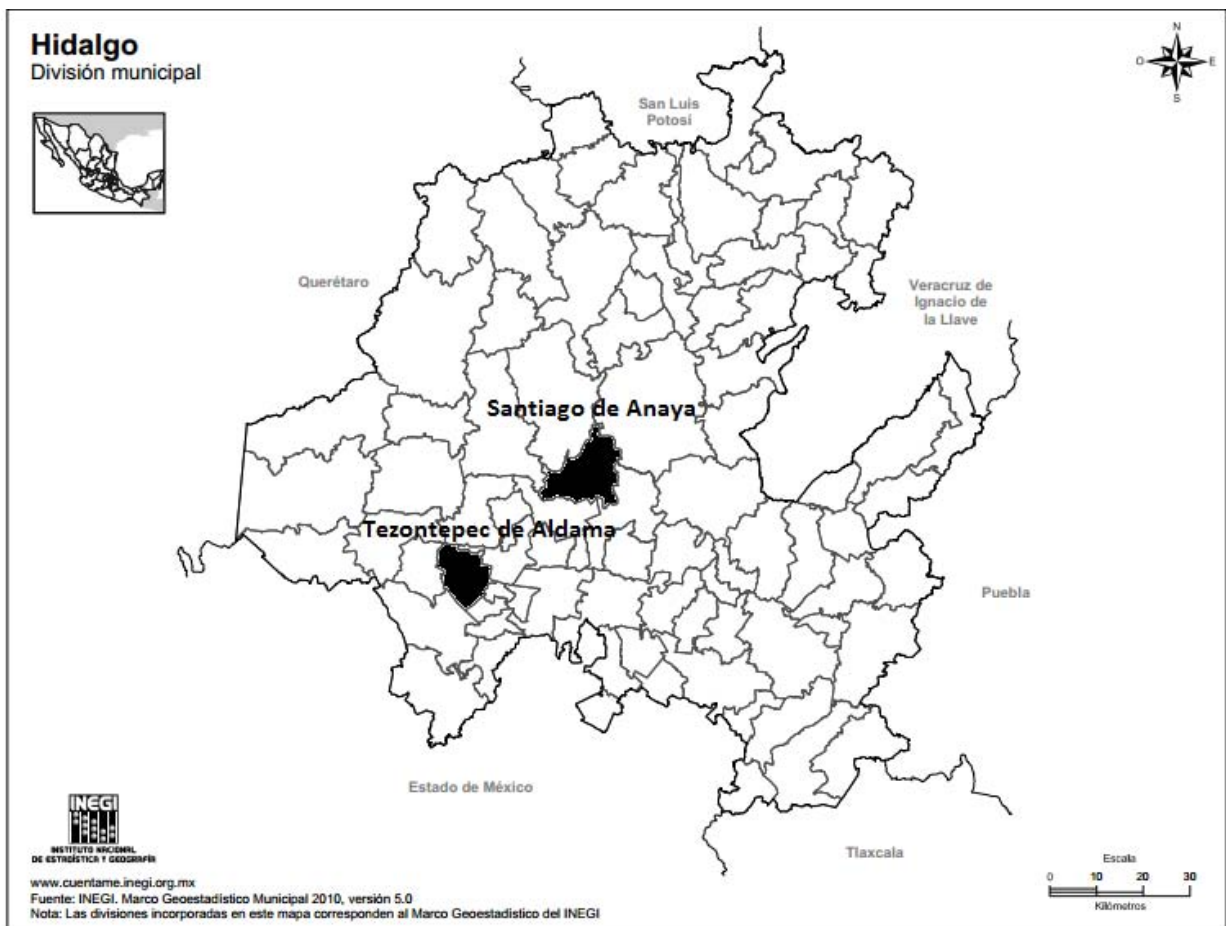
Evaluar las propiedades físico-químicas del suelo rizosférico de *P. laevigata* y de *M. biuncifera*.

Evaluar la respiración microbiana del suelo rizosférico de *P. laevigata* y de *M. biuncifera* provenientes de dos matorrales semiáridos.

## 8. MATERIALES Y MÉTODOS

### 8.1 Área de estudio

Esta investigación se realizó en el estado de Hidalgo en dos matorrales pertenecientes a las comunidades de Santiago de Anaya y Tezontepec de Aldama (Fig. 1).



**Figura 1.** Mapa referente a las dos zonas de estudio, Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya (INEGI, 2013).

### 8.1.1 Santiago de Anaya

Santiago de Anaya cuyas coordenadas geográficas son 20° 23' 04'' latitud norte y 98° 57' 53'' longitud oeste del meridiano de Greenwich, con una altura de 2040 msnm se encuentra ubicado a 56 km. de distancia de la capital del estado.

El municipio de Santiago de Anaya cuenta con una extensión territorial de 316.10 km<sup>2</sup> y representa el 1.51 % de la superficie del Estado.

Clima: El municipio en toda su extensión presenta una diversidad de climas que va desde el templado subhúmedo con lluvias en verano y de humedad media, al semiseco templado y al seco cálido; registrando una temperatura media anual de 16 °C y una precipitación pluvial de 550 mm.

Flora: Se caracteriza por agaves, palmas, mezquites y cactus, su vegetación natural es de matorrales espinosos y cracaules con especies de los géneros: *Agave*, *Yucca*, *Opuntia*, *Prosopis* y *Mimosa*.

Uso de suelo: El uso de la tierra en el municipio es principalmente agrícola 40.88%, la zona urbana corresponde a un 4.12 % (INEGI, 2009).

### 8.1.2 Tezontepec de Aldama

El municipio de Tezontepec de Aldama coordenadas geográficas son 20° 11' 35" de latitud norte, y 99° 16' 24" de longitud oeste; a una altura de 2,100 msnm se localiza a 80 km. de la ciudad de Pachuca y muy cerca de la población de Mixquiahuala.

Orografía: Todo el municipio se asienta en un inmenso valle comprendido dentro de la altiplanicie y la región geocultural del Valle del Mezquital.

Edafología: Phaeozem 49.36 %, Leptosol 24 % y Vertisol 12 %.

Clima: Presenta generalmente un clima semiseco templado, registra una temperatura media anual de alrededor de los 16.6 °C, una precipitación pluvial de 500 milímetros por año, y el período de lluvias es de mayo a octubre.

Flora: La flora es principalmente de matorral Subinerme, este matorral en el Municipio de Tezontepec de Aldama, se caracteriza por la presencia de gran número de arbustos espinosos; algunos son caducifolios, pero la mayoría son perennifolias, cuenta con mezquites, especies principalmente de los géneros: *Opuntia*, *Prosopis* y *Mimosa*.

Uso de suelo: Su uso es principalmente agrícola en más de un 70 %, siguiéndole el de agostadero cercano al 30 %. Asimismo, el municipio cuenta con tierras de riego del río Tula y algunos cultivos de temporal (INAFED, 2010).

## 8.2 Cobertura de los matorrales

Se aplicó el método de línea intercepto, de acuerdo a Canfield (1941), para la evaluación de la cobertura vegetal (Fig. 2).

1. Se eligió para cada sitio Santiago de Anaya y Tezontepec de Aldama un matorral espinoso donde *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata* fueran dominantes

2. Dentro de este matorral se ubicaron con una cinta métrica 10 líneas de muestreo al azar de 25m cada una para cubrir un total de 250 m.

3. En cada transecto de 25m se procedió a contar todas las intercepciones de las plantas (ramas, tallos, hojas, flores) de hierbas erectas, arbustos y árboles sobre la línea y se registró la información en una tabla.

4. Posteriormente se utilizó la siguiente fórmula para estimar la cobertura de suelo cubierto en porcentaje:

$$\text{Cobertura total} = \frac{\sum I_t}{L} \times 100$$

$\Sigma I_t$  = sumatoria de las intercepciones para todas las especies

L = longitud total de la línea transecta

Para la estimación del porcentaje de suelo desnudo en ese mismo transecto se utilizó la siguiente fórmula:

La 'cobertura del suelo desnudo' se obtiene:

$$\text{Cobertura del suelo desnudo} = \left( \frac{L - \sum I_i}{L} \right) \times 100$$

5. Finalmente ambos porcentajes obtenidos se representaron en una gráfica.

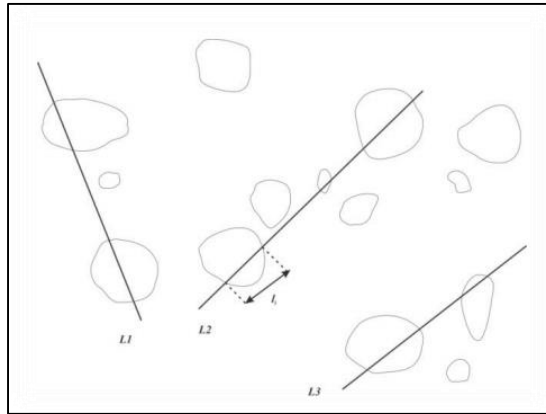


Figura 2. Trazado de línea de Canfield.

### 8.3 Cobertura y altura de *P. laevigata* y *M. biuncifera*.

Cobertura:

1. En el matorral elegido en cada sitio, se eligieron al azar 15 individuos de *Prosopis laevigata* y 10 individuos de *Mimosa biuncifera* reproductivos,
2. Con una cinta métrica se midió la altura y el ancho de cada uno de los individuos.

Altura:

1. En *Mimosa* se realizó con una cinta métrica ya que los individuos no eran muy altos.
2. En el caso de *Prosopis* se tomó de referencia la propia estatura, para esto se necesitó de dos personas la primera persona se colocó lo suficientemente lejos para poder ver todo el árbol (desde la parte inferior hasta la cima).
3. Después se sostuvo un lápiz a la altura del brazo con una mano y el brazo completamente extendido (entre tu posición y el árbol) cerrando un ojo y moviendo el lápiz para poder ver la cima del árbol en la parte superior del lápiz, mientras se sostenía el lápiz para que la punta quedara alineada con la cima del árbol de tal forma que el lápiz

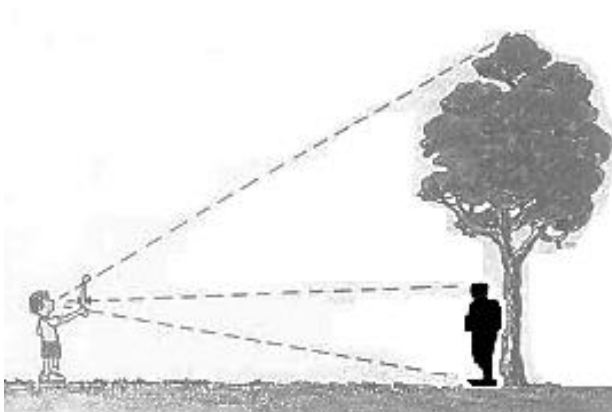


cubriera toda la altura del árbol, desde la base hasta la cima y se marcó una línea en el lápiz.

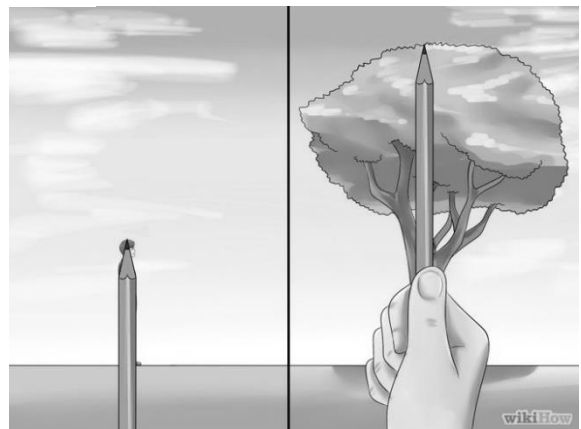
4. Después se roto el lápiz en posición horizontal (paralelo al suelo), posterior a esto la segunda persona se movió para poder verlo a través de la punta del lápiz, (los pies de la segunda persona deben quedar alineados con la punta del lápiz), para ubicar el lápiz de forma que lo cubra y se marcó la altura de la persona con una segunda línea.

5. Para los cálculos se midió con una regla la longitud de cada marca y la altura de la segunda persona. Por ejemplo, si la marca que muestra la altura de la segunda persona es de 5 cm desde y la marca de la altura del árbol es de 17,5 cm, entonces el árbol es 3,5 veces más alto que tu amigo, ya que  $17,5 \text{ cm} / 5 \text{ cm} = 3,5$ . Si la segunda persona mide 180 cm, el árbol tendrá una altura de  $180 \text{ cm} \times 3,5 = 630 \text{ cm}$ .

a)



b)



**Figura 3.** Medición de altura y cobertura de especies vegetales; a) medición de altura de *P. laevigata*, b) medición de altura de y cobertura de *M. biuncifera*.

## 8.4 Muestreo de suelo

El muestreo se realizó en un matorral de dos sitios Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en ambas estaciones de secas (muestreo en Junio) y lluvias (muestreo en Octubre).

1. Para cada matorral en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya se eligieron tres individuos de *Mimosa biuncifera* y tres de *Prosopis laevigata* al azar.

2. Con una pala se tomó aproximadamente 500 g de suelo a una distancia media entre la base del tronco y la copa del árbol a una profundidad de 10 cm<sup>2</sup>.

3. Se procedió a embolsar, sellar y etiquetar las muestras, estas muestras se conservaron en frío dentro de una hielera durante su traslado al laboratorio en donde de igual forma se conservaron en frío (refrigerador), para procurar la supervivencia de los microorganismos hasta los análisis correspondientes.



**Figura 4.** Obtención de muestras de suelo en campo.

## 8.5 Análisis bacteriológico

Se utilizaron tres muestras de suelo rizosférico de *Mimosa biuncifera* y tres de *Prosopis laevigata* para cada sitio Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya, dando un total de seis muestras por sitio de las cuales se trabajaron tres repeticiones para cada una teniendo un total de 36 muestras. Estas muestras fueron similares en la temporada de secas (Junio) y lluvias (Octubre).

Para el análisis de bacterias heterótrofas totales (BHT) y microorganismos fosfolubilizadores (MF) se utilizó la técnica de bacterias totales de conteo por placa de Zuberer, 1994 (Fig.5). Para el conteo de Hongos totales (HT) se utilizó la técnica de cuenta por dilución en placa creciendo en medio específico (Fig.5 y 6), para permitir el conteo de hongos, así como la adición de un antibiótico (estreptomocina) para evitar el crecimiento de bacterias (Fernández *et al.*, 2006).

Este análisis se divide en cuatro partes la preparación del medio de cultivo, la preparación de las diluciones, la siembra o inoculación y la incubación, para el caso de HT hay una cuarta parte que es el montaje en los portaobjetos.

El procedimiento de esta técnica es exactamente igual para BHT, MF y HT la única diferencia es el tipo de medio de cultivo y la temperatura y tiempo de incubación.

### 1. Preparación del medio

Se preparó medio de cultivo en un matraz Erlenmeyer: para BHT se utilizó agar-nutritivo, en MF medio de cultivo Pikovzkaya y en HT papa-dextrosa-agar (anexo I). Se calentó hasta disolución total y se esterilizó el medio de cultivo a 15 lb, 120 °C durante 15 minutos, una vez esterilizado el medio se dejó enfriar a 50 °C aproximadamente y se vació en cajas Petri en condiciones estériles en una campana de flujo laminar para dejar enfriar y gelificar el medio.

### 2. Diluciones

En condiciones estériles (en campana de flujo laminar), para bacterias heterótrofas y microorganismos fosfolubilizadores se pesó 10 g de suelo fresco de cada muestra y se colocó en un frasco con 90 mL de agua desionizada estéril, para hongos se pesó 1 g de

suelo en 99 mL de agua desionizada estéril (solución patrón) y se agitaron durante 10 minutos.

Posteriormente se tomó 1 ml de la solución patrón y se transfirió a un tubo de ensaye con 9 ml de agua desionizada estéril (dilución  $10^{-1}$ ). De ahí se hicieron diluciones sucesivas hasta completar diluciones decimales de  $10^{-1}$  a  $10^{-5}$  de cada muestra, utilizando una punta o pipeta estéril diferente en cada paso. Agitar de forma constante con vórtex en cada paso.

### 3. Siembra

Se tomó 0.1 ml de la dilución seleccionada ( $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$ ) para que no hubiera una saturación y asegurar la cuenta y se colocó en el centro de la superficie del medio de cultivo seleccionado, se realizó esto por triplicado. Se extendió la alícuota en la superficie de la placa con unas perlas de plástico (se eliminó la utilización del asa para evitar romper el medio de cultivo) colocando alrededor de cinco perlas sobre el mililitro de dilución se cerró la caja y sobre una superficie plana se mueve de izquierda a derecha para asegurar una distribución homogénea por toda la superficie del medio, después se retiran las perlas y se sella la caja petri colocando plástico adherente en el borde de la caja.

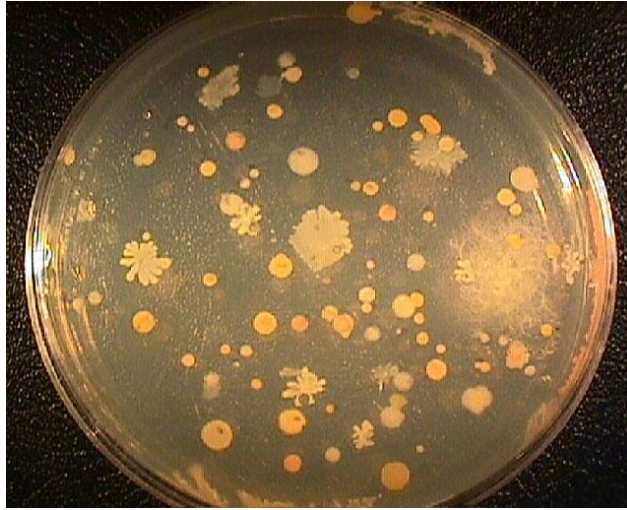
### 4. Incubación

Incubar las placas de forma invertida en ausencia de luz: para BHT a 28 °C durante 5 días para MF a 28 °C durante siete días y para HT a 30 °C durante siete días.

Después se contó el número de colonias (basándose en color, forma, borde y elevación) y se reportaron como unidades formadoras de colonias (UFC)/ g de suelo seco. Con la siguiente ecuación se calcularon las UFC/g s.s.

$$\text{UFC/g s.s.} = (\text{NC} * 1/\text{FD} * 1/ \text{V})$$

Dónde: UFC/ g s. s. = unidades formadoras de colonias / g de suelo seco. NC = número de colonias en una caja. FD = factor de dilución que corresponde a la dilución de donde se tomó la muestra con la que se inocula la caja ( $10^{-3}$  a  $10^{-5}$ ). V= volumen inoculado en la caja = 0.1 ml.



**Figura 5.** Obtención de unidades formadoras de colonias (UFC) para bacterias heterótrofas y microorganismos fosfosolubilizadores.

### 8.5.1 Montaje de hongos

A partir de las colonias obtenidas de los hongos cultivados en cajas petri, se realizaron preparaciones para identificar los hongos edáficos, mediante la técnica de la cinta pegante (Fig.6).

1. Se eligió una de las cajas petri con hongos ya cultivados, posteriormente con una mano utilizando unas pinzas se tomó una tira de cinta adhesiva de 4cm con el lado adhesivo hacia afuera para evitar que se pegue a cualquier superficie o a la ropa.

2. Con la otra mano se destapo la caja petri y se procedió a colocar esa cinta con el lado adhesivo hacia abajo presionándola firmemente contra la superficie del hongo o en este caso sobre la colonia, estas colonias se distinguían en base al color y la forma.

3. En seguida se tomó un portaobjetos y se le colocó una gota de azul de lactofenol en el centro, con las pinzas se desprende la cinta adhesiva de la caja petri y con la parte adhesiva hacia abajo se colocó sobre el portaobjetos y se presionó un poco para extender la gota de azul de lactofenol en todo el portaobjetos, estas placas se etiquetaron y se dejaron secar un poco para proceder a observar en el microscopio.

Esta técnica es una de las más usadas debido a que se conserva la yuxtaposición original de las esporas y segmentos de hifas (Koneman, 1978) lo que nos permitió observar estructuras fúngicas casi sin alteración (Arenas, 1987), la observación de esas estructuras nos sirvieron para poder identificar los diferentes tipos de colonias de hongos junto con el color y la forma observadas a simple vista en las cajas petri.



**Figura 6.** Montaje y fijación de hongos.

## 8.6. Propiedades físicas y químicas del suelo

Las técnicas que se emplearon para la determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo son las recomendadas por la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000), por el Manual de Procedimientos Analíticos para Análisis de Suelos y Plantas del Laboratorio de Fertilidad de Suelos IRENAT (1996) y el manual de prácticas de suelo Ríos (1985), las propiedades evaluadas se enlistan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Técnicas utilizadas para la obtención de las propiedades físicas y químicas del suelo

Propiedad	Técnica	Referencia
Densidad aparente	Técnica de la probeta	Ríos, 1985
Densidad real	Técnica del picnómetro	Ríos, 1985
Textura	Técnica Bouyocus	Ríos, 1985
pH	1:2 (suelo: H <sub>2</sub> O) potenciómetro, Willard.	AS-02 NOM-021-RECNAT-2000
Materia Orgánica %	Método Walkey y Black	AS-07 NOM-021-RECNAT-2000
Carbono Orgánico %	Por calculo	IRENAT, 1996
Nitrógeno total %	Método semimicro-Kjeldhal	AS-08 NOM-021-RECNAT-2000
Fósforo mg Kg <sup>-1</sup>	Olsen	AS-010 NOM-021-RECNAT-2000
Respiración microbiana	Método fumigación-incubación	Jekinson <i>et al.</i> , 2004

## 8.7 Respiración microbiana

Para evaluar la respiración microbiana del suelo, se utilizó el método de fumigación-Incubación consiste en la cuantificación de C-biomasa producido por muestras de suelo (fumigadas y no fumigadas), inoculadas con 20 gr de suelo húmedo (sin fumigar) e incubadas por un período 5 días a 35 °C – 37 °C (Fig.7). El contenido de humedad durante el período de incubación se mantuvo a su capacidad de campo (Delgado, 2000).

En este método las muestras de suelo se exponen a la acción fumigante del cloroformo, el cual mata todo su contenido microbiano, y tras una reincubación con suelo no fumigado se determina la materia orgánica mineralizada durante una incubación, la cual, cuando se descuenta la medida de controles no fumigados, se admite que es proporcional a la biomasa microbiana existente en la muestra antes de la incubación. Así, este método se realiza en tres pasos: Fumigación con cloroformo de las muestras, Incubación y Determinación analítica del C y o del N mineralizados.

1. Se pesaron dos fracciones de suelo natural fresco tamizado de 20 g (la fracción 1 es suelo para fumigar y la fracción 2 es suelo natural) y se colocaron en frascos de vidrio con tapa hermética.

2. A la fracción 1 se le adiciono 5mL de cloroformo, y a la fracción 2 se agregó 5 mL de agua esterilizada, se cerraron y se mantuvieron así por 48 hrs., pasado este tiempo se abrieron los frascos y se colocaron a baño maría a 40 °C, hasta eliminar el cloroformo, ambas fracciones se reinocularon con 1g más de suelo natural.

3. A ambas fracciones se les agrego la cantidad de agua necesaria para llevarlas a su capacidad de campo.

4. En cada frasco se introdujo un tubo de ensaye con 7mL de KOH 0.4 N y una tira de papel filtro con una longitud ligeramente más larga que la del tubo, se cerraron los frascos y se dejaron incubar entre 35 °C y 37 °C durante 5días.

5. Al termino de la incubación se sacó el tubo de ensaye de ambos frascos y se transfirió todo su contenido a un matraz Erlenmeyer de 50 mL.



6. A cada matraz se le agrego 3 gotas de fenoftaleína como indicador y se procedió a titular con HCL 0.5 N, incluyendo un blanco de titulación.

7. Para los cálculos:

a) Calcular los miliequivalentes de KOH en el blanco y muestras problema

(Normalidad del ácido)(mL gastados en la titulación)= meq KOH.

b) Obtener los miliequivalentes de KOH transformados en K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

(meq blanco- meq muestra= meq K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

c) Igualar unidades a equivalentes químicos

(meq K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/ 100 = eq de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

d) Obtener gramos de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> formados

( eq de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)(PM K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/ # H sust) = g de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

e) Por estequiometria se obtienen losmiligramos de CO<sub>2</sub>

[8 g de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)(PM CO<sub>2</sub>)/ PM K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>]1000 = mg CO<sub>2</sub>

f) Obtener el peso del carbono en la biomasa microbiana (CBM)

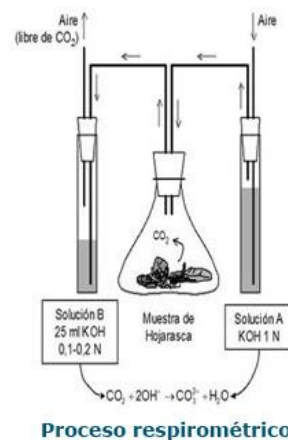
(mg CO<sub>2</sub> suelo fumigado- mg CO<sub>2</sub> suelo natural)/ 0.45 = CBM mg

g) Índice de eficiencia microbiana (IEM)

IEM = mg CO<sub>2</sub>/ mg CBM



**Respirómetro de laboratorio**



**Proceso respirométrico**

**Figura 7.** Medición de respiración microbiana.

## 8.8 Análisis estadístico

Los análisis físicos y químicos del suelo rizosférico y la abundancia de unidades formadoras de colonias de bacterias, hongos y organismos fosfolubilizadores del suelo rizosférico asociado a *P. laevigata* y *M. biuncifera* se realizaron utilizando un ANDEVA y las medias fueron sometidas a una prueba de Tukey, esto con el fin de mostrar las diferencias entre especies, sitios y estaciones; de igual forma se realizó un análisis de componentes principales para destacar el factor ambiental (propiedades físicas y químicas) que puede tener mayor relevancia en la abundancia de los microorganismos rizosféricos. Todo esto se realizó con el paquete estadístico de uso libre del software InfoStat (2013).

## 9. RESULTADOS

### 9.1 Cobertura de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en dos matorrales

El porcentaje de cobertura vegetal solo se midió en la temporada seca (Junio) ya que no cambia con la estacionalidad y mostró que el sitio A (Santiago de Anaya) presenta mayor cobertura vegetal que el sitio B (Tezontepec de Aldama). En el sitio A se tuvo 78 % de cobertura vegetal, mientras que el sitio B tuvo un 56 % de cobertura vegetal (Fig.8).

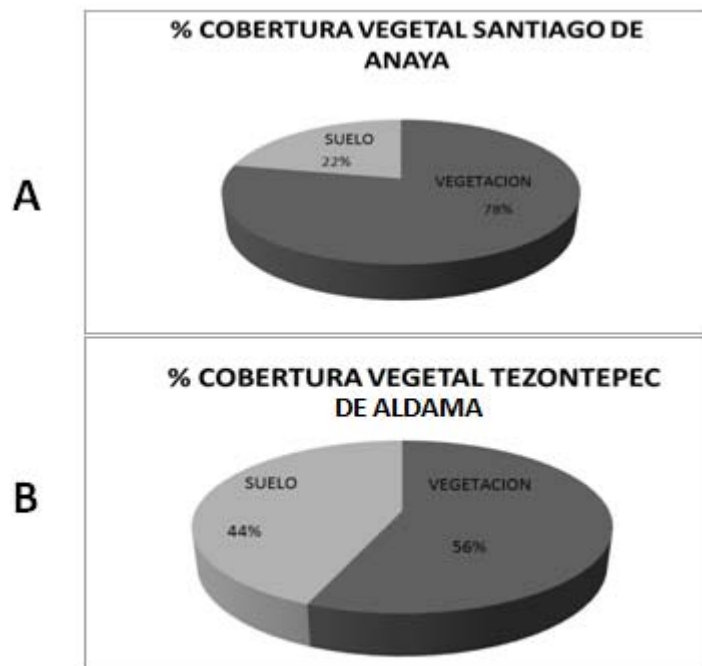
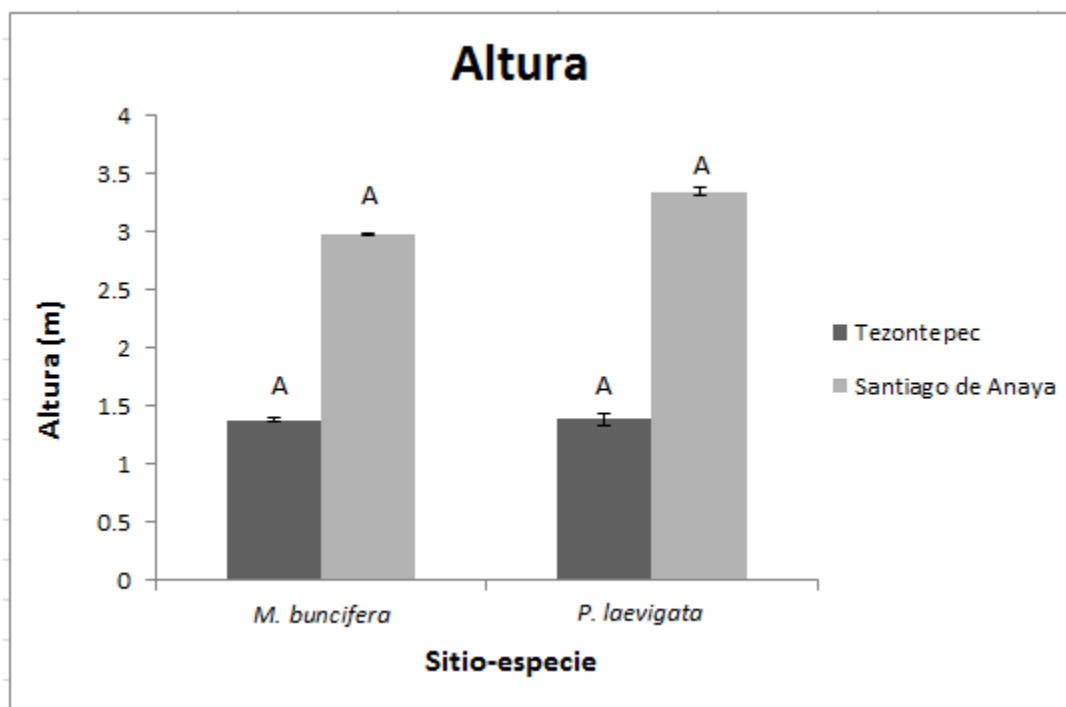


Figura 8. Representación de la cobertura vegetal en Santiago de Anaya y Tezontepec de Aldama. Hgo.

### 9.2 Altura y cobertura de las especies en cada sitio.

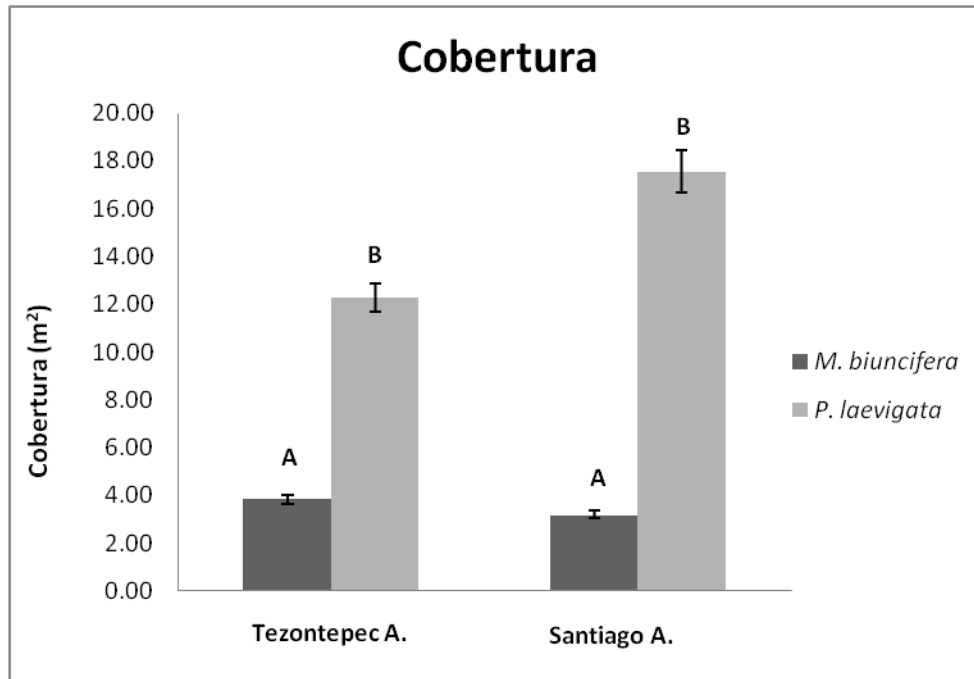
Se muestrearon para cada sitio 15 individuos para *Prosopis laevigata* y 10 para *Mimosa biuncifera*. Las alturas promedio fueron para *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama de 1.40 m y de 1.38 m para Santiago de Anaya. Por otra parte *Prosopis laevigata* en

Tezontepec de Aldama tuvo una altura de 2.98 m y 3.38 m en Santiago de Anaya (Fig.9). Las alturas no fueron diferentes para ninguna de las especies entre matorrales ( $p > 0.05$ ).



**Figura 9.** Altura de *P. laevigata* y *M. biuncifera* en Santiago de Anaya y Tezontepec de Aldama. Hgo. \*Letras iguales significa que no hay diferencias estadísticas entre sitios para la misma especie.

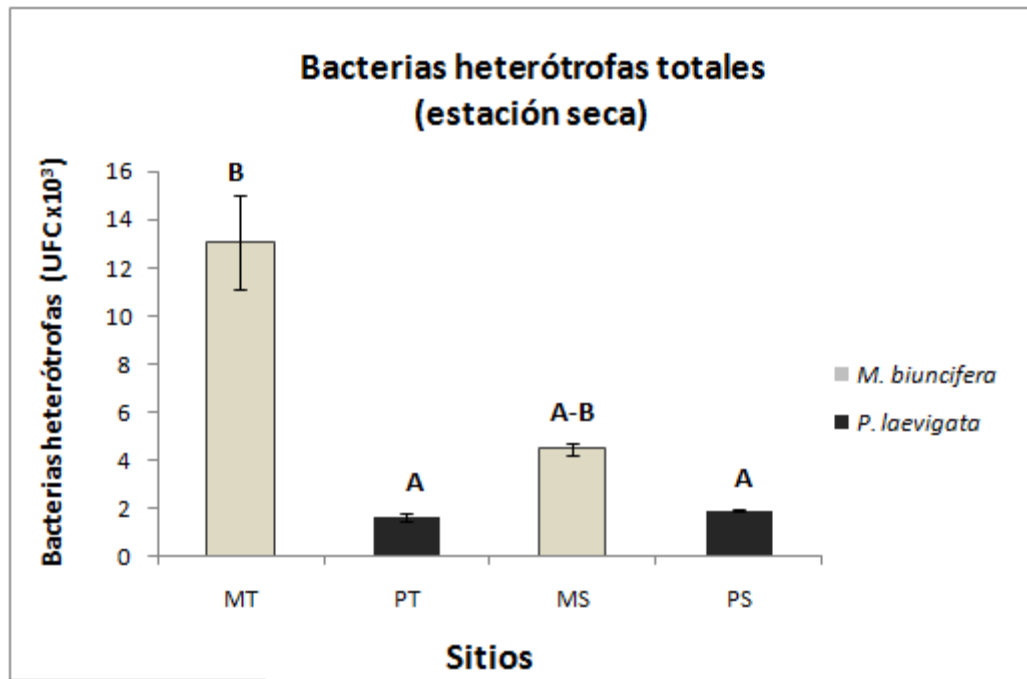
La cobertura promedio de la copa de *M. biuncifera* fue de 3.35 m<sup>2</sup> en Tezontepec de Aldama y en Santiago de Anaya de 3.07 m<sup>2</sup>; para *P. laevigata* fue de 12.28 m<sup>2</sup> para Tezontepec de Aldama y en Santiago de Anaya tuvo una cobertura de 17.55 m<sup>2</sup> (Fig. 10). Las leguminosas estudiadas no presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) en cobertura de la copa entre especies, pero si entre sitios.



**Figura 10.** Cobertura de la copa en *P. laevigata* y *M. biuncifera* en y Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya. \* Letras iguales significa que no hay diferencias estadísticas.

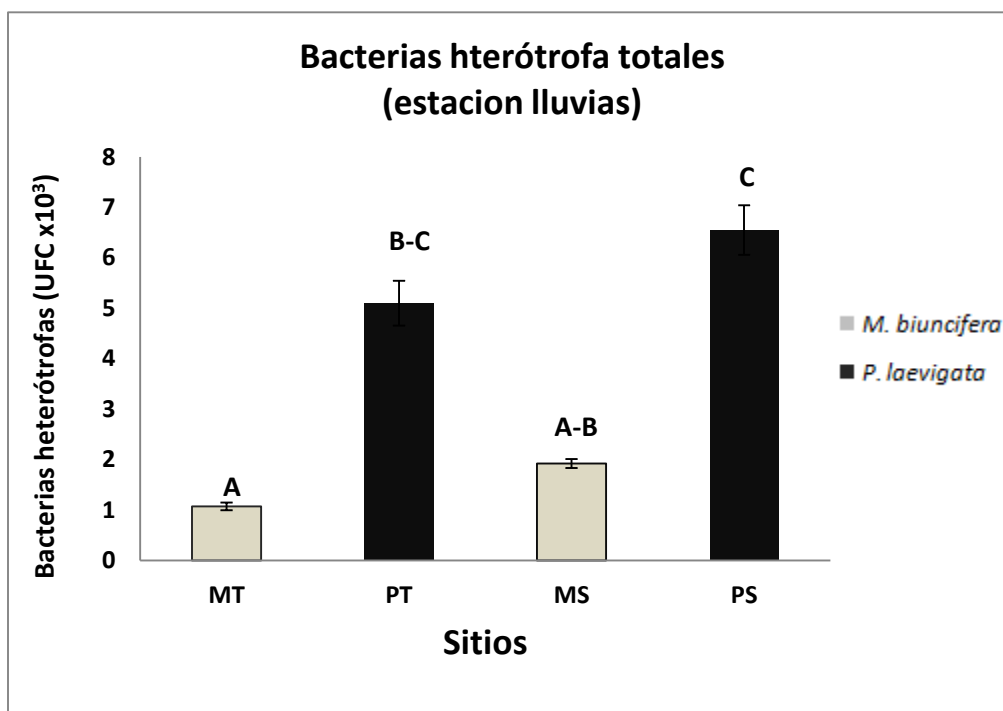
### 9.3 Bacterias heterótrofas asociadas a la rizósfera de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en la estación de secas y lluvias.

La abundancia de unidades formadoras de colonias (UFC) en la temporada seca en *Mimosa biuncifera* fueron en Tezontepec de Aldama de  $13.08 \times 10^3$  UFC, este fue el valor más alto encontrado y en Santiago de Anaya de  $4.46 \times 10^3$  UFC. En el caso de *Prosopis laevigata* los valores fueron para Tezontepec de Aldama de  $1.64 \times 10^3$  UFC y en Santiago de Anaya de  $1.92 \times 10^3$  UFC. En la gráfica (Fig.11) se puede observar que dentro de la temporada seca hubo mayor número de UFC en *M. biuncifera* respecto a *P. laevigata* en ambos matorrales, el número de unidades formadoras de colonias asociadas a la rizósfera de ambas leguminosas en época de secas presentó diferencias estadísticas significativas entre especies ( $p \leq 0.05$ ).



**Figura 11.** Bacterias heterótrofas cultivables totales (UFC X10<sup>3</sup>) en el suelo rizosférico de *P. laevigata* y *M. biuncifera* en Santiago de Anaya y Tezontepec de Aldama en temporada seca. MT= *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama, PT= *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama, MS= *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya, PS= *Prosopis laevigata* en Santiago de Anaya\* Letras iguales significa que no hay diferencias estadísticas.

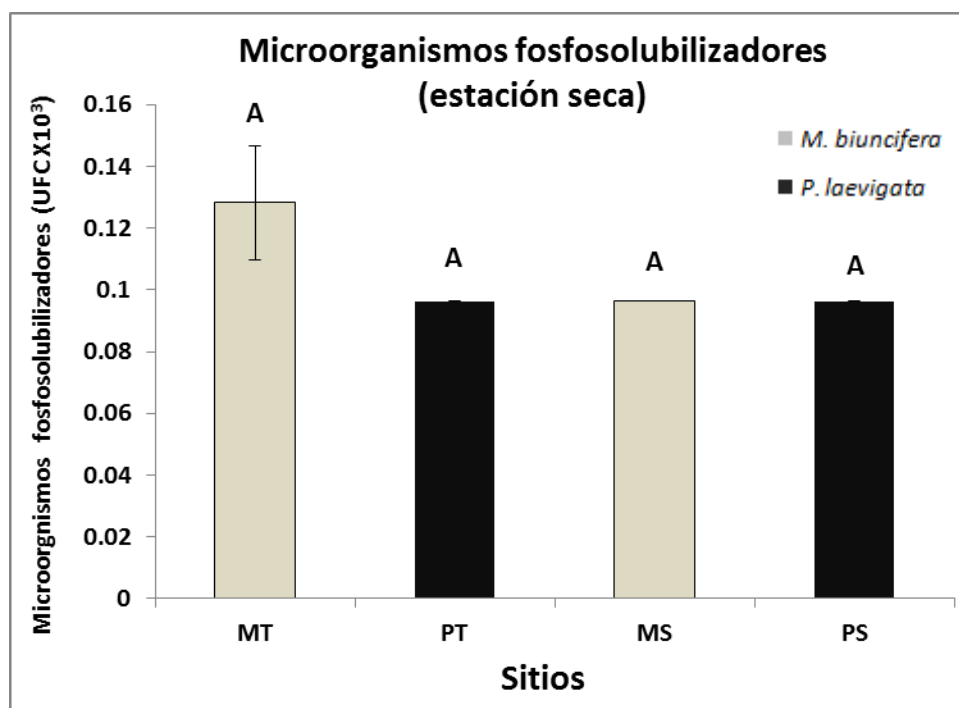
En la temporada de lluvias los valores más bajos fueron los de *M. biuncifera*, para Tezontepec de Aldama con 1.06 X10<sup>3</sup> UFC y en Santiago de Anaya con 1.92 X10<sup>3</sup> UFC. En *P. laevigata* los valores de UFC fueron más altos en Tezontepec de Aldama donde se tuvieron 5.10 X10<sup>3</sup> UFC mientras que en Santiago de Anaya se tuvieron 6.55 X10<sup>3</sup> UFC. La abundancia de UFC en el suelo rizosférico de ambas leguminosas en temporada lluviosa presentó diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre especies (Fig.12).



**Figura 12.** Representación de Bacterias heterótrofas totales (UFC X10<sup>3</sup>) en el suelo rizosférico de *P. laevigata* y *M. biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en temporada de lluvias. MT= *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama, PT= *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama, MS= *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya, PS= *Prosopis laevigata* en Santiago de Anaya. \* Letras iguales significa que no hay diferencias estadísticas.

#### 9.4 Microorganismos fosfolubilizadores en la rizósfera de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* en estación de secas y lluvias.

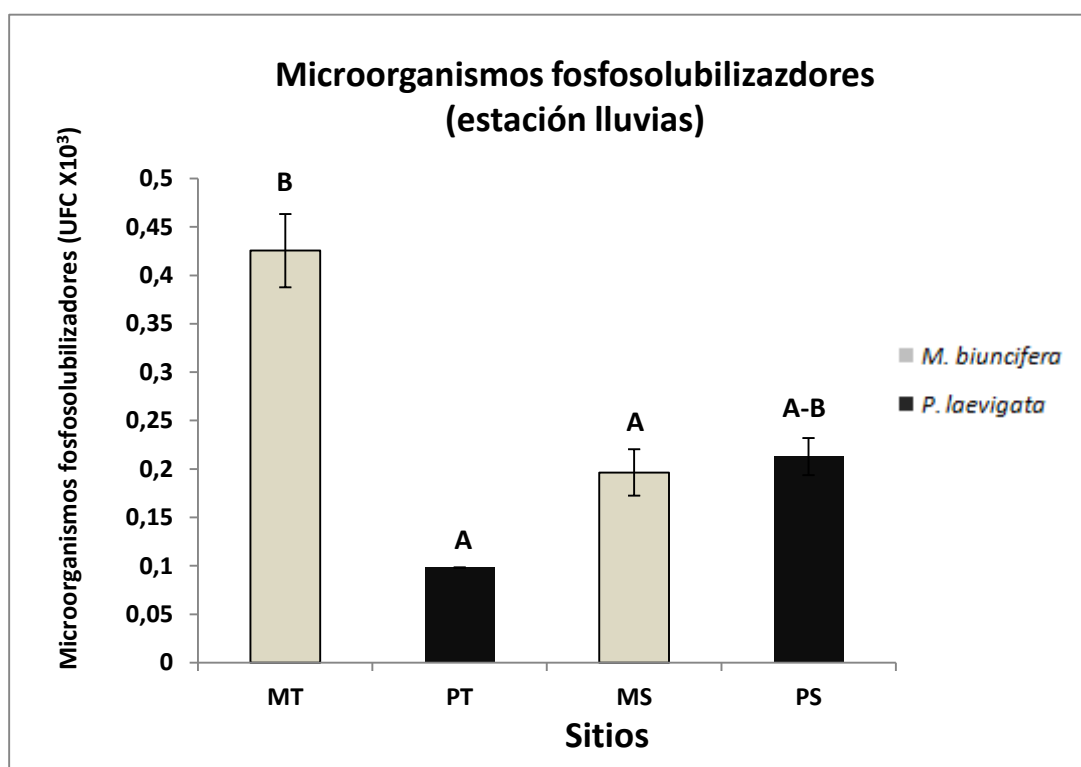
En la temporada seca el valor más alto de microorganismos fosfolubilizadores cultivables se presentó en el suelo de *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama con  $0.12 \times 10^3$  UFC, en Santiago de Anaya el valor fue de  $0.09 \times 10^3$  UFC. En *Prosopis laevigata* el valor fue el mismo para ambas localidades  $0.09 \times 10^3$  UFC. La abundancia de microorganismos fosfolubilizadores no presento diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) ni entre sitios ni entre especies (Fig. 13).



**Figura 13.** Abundancia de microorganismos fosfolubilizadores (UFC X 10<sup>3</sup>) en el suelo rizosférico de *P. laevigata* y *M. biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en temporada secas. MT= *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama, PT= *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama, MS= *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya, PS= *Prosopis laevigata* en Santiago de Anaya. \* Letras iguales significa que no hay diferencias estadísticas.



En la temporada lluviosa el valor más alto de microorganismos fosfolubilizadores cultivables se presentó en el suelo de *M. biuncifera* en Tezontepec de Aldama con  $0.42 \times 10^3$  UFC, en Santiago de Anaya el valor fue de  $0.09 \times 10^3$  UFC. En *P. laevigata* el valor en Tezontepec de Aldama de  $0.09 \times 10^3$  UFC, en Santiago de Anaya el valor fue de  $0.21 \times 10^3$  UFC. La abundancia de microorganismos fosfolubilizadores presento diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre sitios y entre especies (Fig. 14).



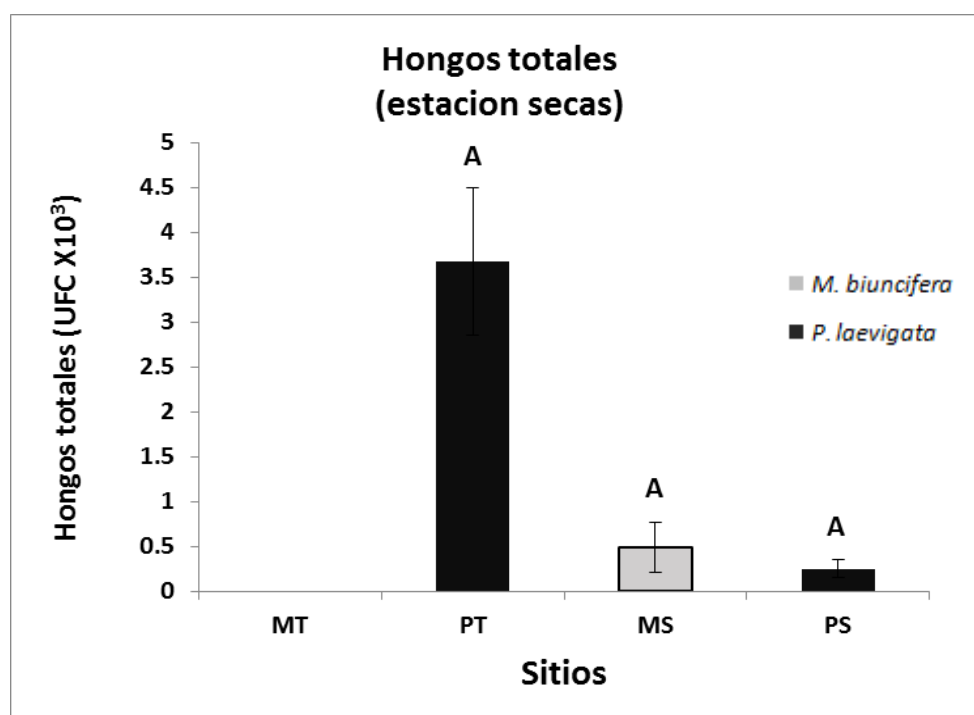
**Figura 14.** Abundancia de Microorganismos fosfolubilizadores (UFC X10<sup>3</sup>) en el suelo rizosférico de *P. laevigata* y *M. biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en temporada lluviosa. MT= *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama, PT= *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama, MS= *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya, PS= *Prosopis laevigata* en Santiago de Anaya  
\* Letras iguales significa que no hay diferencias estadísticas.

Con el cambio de temporada, las lluvias provocaron un cambio en la cantidad de microorganismos solubilizadores de fósforo; en *M. biuncifera* se contabilizó mayor cantidad de UFC en Tezontepec se registró un 30 % más UFC mientras que en SA el aumento fue del 50 %. En el caso de *P. laevigata* las lluvias favorecieron la presencia de UFC principalmente en Santiago de Anaya con un aumento del 46 % y para Tezontepec de

Aldama el crecimiento fue del 1 % lo que indica que prácticamente se mantuvo la misma cantidad de organismos que en la estación seca. Es notorio el aumento en la temporada lluviosa de las bacterias fosfosolubilizadoras en *M. biuncifera*.

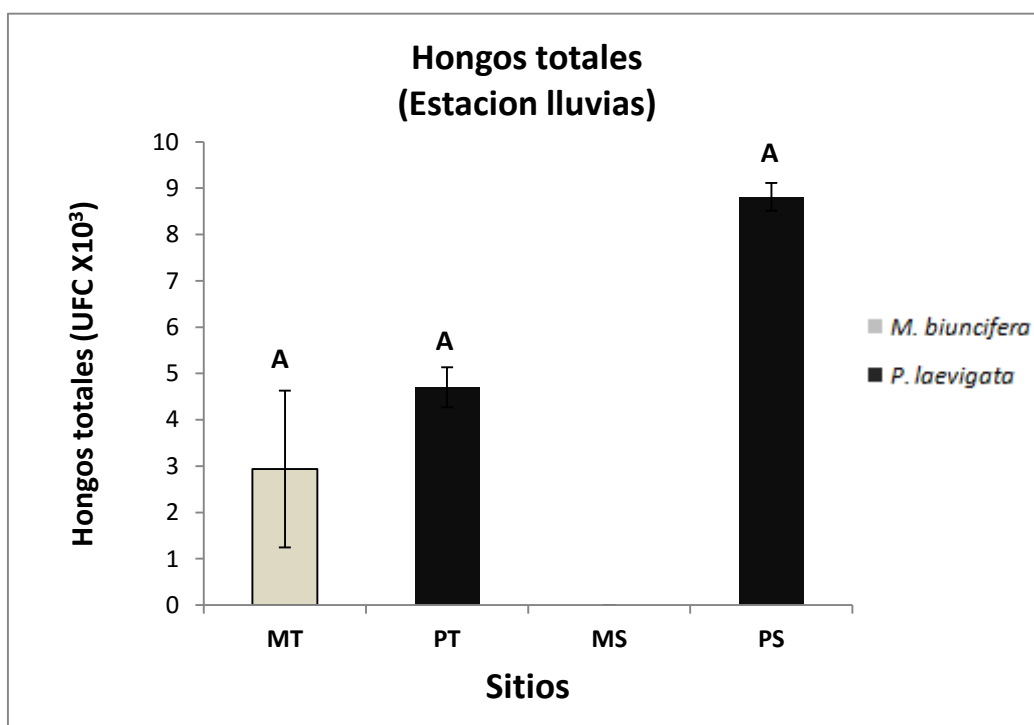
## 9.5 Hongos totales

En la temporada seca la abundancia de hongos totales cultivables del suelo fue nula para *Mimosa Biuncifera* en Tezontepec de Aldama donde no hubo registro de unidades formadoras de colonias (UFC) en contraste con Santiago de Anaya donde el valor fue de  $0.48 \times 10^3$  UFC. En el caso de *P. laevigata* en Tezontepec de Aldama se encontró  $3.67 \times 10^3$  UFC, en Santiago de Anaya se registraron  $0.24 \times 10^3$  UFC (Fig.15). Los valores de hongos totales en este caso fueron variables e incluso en algunos individuos no hubo registro por lo que a pesar de que numéricamente existen diferencias, éstas no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ).



**Figura 15.** Abundancia de hongos totales (UFC X10<sup>3</sup>) en el suelo rizosférico de *P. laevigata* y *M. biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en temporada secas. MT= *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama, PT= *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama, MS= *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya, PS= *Prosopis laevigata* en Santiago de Anaya. \* Letras iguales significa que no hay diferencias estadísticas.

En la temporada lluviosa, las UFC de hongos totales para *M. biuncifera* en Tezontepec de Aldama fue de  $2.93 \times 10^3$  UFC, en el caso de *M. biuncifera* en Santiago de Anaya no hubo presencia de hongos en los cultivos. Para *P. laevigata* el valor más alto registrado en abundancia de hongos fue para el suelo de en Santiago de Anaya  $8.81 \times 10^3$  UFC, en Tezontepec de Aldama se registraron  $4.69 \times 10^3$  UFC. Los valores de UFC para hongos totales aumentaron con respecto a la temporada seca, aunque también se encontraron individuos donde no hubo registro de hongos, esta variación en los valores absolutos pueden ser la causa de que no se detecten diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ), (Fig.16).



**Figura 16.** Abundancia de hongos totales (UFC X10<sup>3</sup>) en el suelo rizosférico de *P. laevigata* y *M. biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya en temporada de lluvias. MT= *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama, PT= *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama, MS= *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya, PS= *Prosopis laevigata* en Santiago de Anaya. \* Letras iguales significa que no hay diferencias estadísticas.

## 9.6 Microorganismos rizosféricos totales

El cuadro 4, presenta la riqueza total de microorganismos rizosféricos para cada especie, sitio y temporada, esta tabla se elaboró con base en las diferencias cualitativas que presentaron las colonias en los diferentes cultivos realizados. Se observa que hay mayor riqueza de microorganismos totales en la temporada lluviosa que en la de secas excepto para *Prosopis laevigata* en Santiago de Anaya, donde disminuye su riqueza total. En el caso de *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya no hay diferencias entre la temporada de secas y lluvias. En el caso de Tezontepec de Aldama se observa un aumento en riqueza de microorganismos en el suelo rizosférico de las dos leguminosas. También fue notorio que la mayor riqueza de formas está dada por las bacterias heterótrofas, mientras que en la riqueza de los hongos totales hubo mayor variación, incluso en *M. biuncifera* de Santiago de Anaya no se detectaron ni en temporada lluviosa ni en temporada de secas. Los microorganismos fosfosolubilizadores fueron los que presentaron menor riqueza de formas, pero su presencia fue constante en ambos sitios, especies y temporadas.

**Cuadro 4.** Riqueza de microorganismos rizosféricos asociados a *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata* por sitio y por temporada.

SITIO	SECAS				LLUVIAS			
	BHTS	MFS	HTS	TOTAL	BHLL	MFL	HTLL	TOTAL
MT	10	1	1	12	12	1	6	19
MS	11	2	0	13	9	4	0	13
PT	5	2	7	14	10	2	7	19
PS	14	5	3	22	4	2	9	15

MT= *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama, PT= *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama, MS= *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya, PS= *Prosopis laevigata* en Santiago de Anaya. BHTS= Bacterias heterótrofas totales en temporada seca, MFS= Microorganismos fosfosolubilizadores en temporada seca, HTS= Hongos totales temporada seca, BHLL= Bacterias heterótrofas totales en temporada lluviosa, MFL= Microorganismos fosfosolubilizadores en temporada lluviosa, HTLL= Hongos totales temporada lluviosa.

## **9.7 Propiedades físicas y químicas del suelo rizosférico de *Prosopis laevigata* y de *Mimosa biuncifera*.**

### 9.7.1 Densidad aparente

Los valores promedio de densidad aparente (Cuadro 5) para el suelo rizosférico de *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama 1.34 g/cc y en Santiago de Anaya de 1.32 g/cc por otra parte *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama tuvo una densidad aparente del suelo rizosférico de 1.17 g/cc y 1.38 g/cc para Santiago de Anaya, estos valores en la estación seca no presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p>0.05$ ).

En la temporada lluviosa la densidad aparente mostró diferencias estadísticas ( $p<0.05$ ), estas diferencias se presentaron entre el suelo rizosférico de las dos leguminosas, para *M. biuncifera* en Tezontepec de Aldama tuvo suelo con DA de 1.27 g/cc y en Santiago de Anaya de 1.21 g/cc. Para *P. laevigata* los valores en Santiago de Anaya fueron de 1.33 g/cc y para Tezontepec de Aldama de 1.13 g/cc.

### 9.7.2 Densidad real

Los valores en la densidad real (Cuadro 5) para suelo de *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya fue de 2.22 g/cc y 2.50 g/cc para Tezontepec de Aldama, para *Prosopis laevigata* en Santiago de Anaya tuvo una densidad aparente de 2.22 g/cc y 2.22 g/cc para Tezontepec de Aldama. En la temporada lluviosa los valores para *M. biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya fueron de 2.22 g/cc y para *P. laevigata* en Tezontepec de Aldama fue de 1.94 g/cc y para Santiago de Anaya fue de 2.22 g/cc. La densidad real en la rizósfera de *P. laevigata* y *M. biuncifera* no presentó diferencias significativas ni en la temporada seca ni en la de lluvias ( $p>0.05$ ).

### 9.7.3 Espacio poroso

Para el espacio poroso (Cuadro 5) en ambos sitios se obtuvieron porcentajes que van del 39-46 %. En la temporada lluviosa el espacio poroso vario principalmente entre especies obteniendo un mayor porcentaje en *Mimosa biuncifera* con valores para ambos sitios de 43.81 %, para el caso de *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama 40.31 % y para Santiago de Anaya 38.51 %; contrario a la estación seca donde se obtuvo un mayor porcentaje de espacio poroso en Tezontepec de Aldama respecto a Santiago de Anaya, siendo así los valores en Tezontepec de Aldama para *M. biuncifera* 46.24 % y *P. laevigata* 46.64 % y para Santiago de Anaya en el caso de *M. biuncifera* 39.01 % y *P. laevigata* 36.58%.

### 9.7.4 Textura

Para ambos sitios Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya el porcentaje de arenas fue el más alto sus valores van de un 76.5 % a un 88.5 %, seguido por limos 6.09- 17.9 % y después arcillas 3.3- 7.7 %, estos porcentajes caen dentro de la clase textural de arenoso-migajonoso (Cuadro 5).

### 9.7.5 pH

El valor de pH (Cuadro 5) en la temporada seca para *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama fue de 4.9 y en Santiago de Anaya fue de 7.4. Para *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama fue de 5.0 y para Santiago de Anaya el pH fue de 6.8; por lo tanto los valores de pH en suelo rizosférico de ambas leguminosas en Tezontepec de Aldama entran en el límite de fuertemente ácidos y en Santiago de Anaya entran en el rango de neutro de acuerdo a la NOM 021. Los valores promedio de pH del suelo rizosférico de *Mimosa biuncifera* y de *Prosopis laevigata*, presentaron diferencias estadísticas entre los sitios ( $p < 0.001$ ).

### 9.7.6 Materia orgánica

En la temporada de seca, el porcentaje más alto de MO fue para el suelo rizosférico de *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya con 5.25 %, en Tezontepec de Aldama el valor fue

de 4.37 %. El porcentaje de MO para *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama presento el 5.15 %, mientras que en Santiago de Anaya obtuvo 4.12 %.

En la temporada lluviosa se registró un aumento en el porcentaje de MO, para *Mimosa biuncifera* los porcentajes de MO fueron en Tezontepec de Aldama de 7.78 % y para Santiago de Anaya de 7.99 %; en el caso de *Prosopis laevigata* para Tezontepec de Aldama el porcentaje fue de 8.01 % y para Santiago de Anaya 7.59% (Cuadro 5).

El porcentaje de materia orgánica no presento diferencias estadísticas significativas ni entre especies ni sitios ni temporada ( $p>0.05$ ) y de acuerdo a la NOM 021 para suelos no volcánicos los valores para la temporada seca se ubican en la clase de alto mientras que para la temporada lluviosa los valores entran el rango de muy alto.

#### 9.7.7 Nitrógeno total

La concentración de nitrógeno total (Cuadro 5) en la temporada seca para el suelo rizosférico de *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama fue de 0.20 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que para Santiago de Anaya fue de 0.24 mg kg<sup>-1</sup>. En *Prosopis laevigata* la concentración de nitrógeno fue de 0.26 mg kg<sup>-1</sup> para Tezontepec de Aldama, mientras que en Santiago de Anaya se obtuvo 0.30 mg kg<sup>-1</sup>. La concentración de nitrógeno total en suelo rizosférico en la estación seca de *M. biuncifera* y *P. laevigata* presentaron concentraciones similares y no hubo diferencias estadísticas significativas ( $p>0.05$ ).

En la temporada lluviosa la concentración de nitrógeno para *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama fue de 0.29 mg kg<sup>-1</sup> y para Santiago de Anaya 0.42 mg kg<sup>-1</sup>. En el caso de *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya se obtuvo la misma concentración de nitrógeno con un valor de 0.39 mg kg<sup>-1</sup>. La concentración de Nitrógeno total en la temporada lluviosa en suelo rizosférico de *M. biuncifera* y *P. laevigata* presentó diferencias estadísticas significativas ( $p\leq 0.05$ ) entre especies. De acuerdo con la NOM 021 las concentraciones de nitrógeno en la temporada de secas y de lluvias son muy bajas.

### 9.7.8 Fósforo

En la temporada seca la concentración de fósforo para el suelo rizosférico de *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya fue de 5.3 mg kg<sup>-1</sup>, y en Tezontepec de Aldama de 0.85 mg kg<sup>-1</sup>. Para *Prosopis laevigata* fue de 4.8 mg kg<sup>-1</sup> para Santiago de Anaya, mientras que en Tezontepec de Aldama obtuvo 0.8mg kg<sup>-1</sup>. El fósforo en el suelo rizosférico de *M. biuncifera* y de *P. laevigata* presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ), observándose diferencias entre sitios con una mayor concentración de fósforo en Santiago se Anaya.

En la temporada de lluvias la concentración de fosforo para *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama fue de 0.15 mg kg<sup>-1</sup> y para Santiago de Anaya 0.01 mg kg<sup>-1</sup>. Para *Prosopis laevigata* en Tezontepec 0.16 mg kg<sup>-1</sup> y para Santiago de Anaya 0.02 mg kg<sup>-1</sup>. El fósforo en temporada lluviosa en el suelo rizosférico de *M. biuncifera* y de *P. laevigata* presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ), observándose diferencias entre sitios con una mayor concentración de fósforo en Santiago se Anaya (Cuadro 5).

Según la NOM 021, en el caso de la temporada seca los valores caen dentro de la clase baja para ambas especies en Tezontepec de Aldama, mientras que para Santiago de Anaya ambas especies están dentro la clase media. En la temporada lluviosa los valores de ambas especies en ambos sitios están dentro de la clase baja.



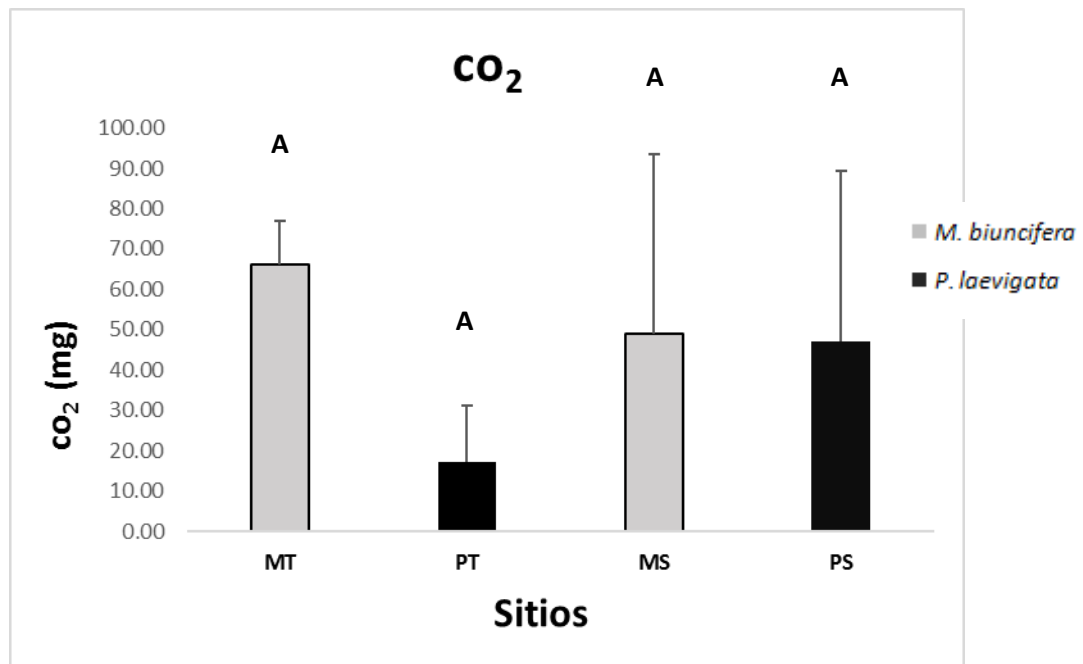
Cuadro 5 Propiedades físicas y químicas de suelos de dos matorrales del Valle del Mezquital por sitio y por estacionalidad.

Estación	Sitio-especie	DA (g cm <sup>3</sup> )	DR	EP %	AR %	LIM %	ARE %	pH	MO %	N %	P (mg/kg <sup>-1</sup> )
SECAS	MT	1.34 a	2.50 a	46.24 a	3.39 a	13.74 a	82.87 a	4.9 a	4.37 a	0.20 a	0.85 b
	PT	1.17 a	2.22 a	46.64 a	7.72 a	10.74 a	81.54 a	5.0 a	5.15 a	0.26 a	0.8 b
	MS	1.32 a	2.22 a	39.01 a	6.6 a	16.81 a	76.59 a	7.4 b	5.25 a	0.24 a	5.3 a
	PS	1.37 a	2.22 a	36.58 a	6.05 a	11.33 a	82.61 a	6.8 b	4.12 a	0.30 a	4.8 a
LLUVIAS	MT	1.21 ab	2.22 a	43.81 a	4.18 a	11.71 ab	84.11 ab	5.4 a	7.78 a	0.29 b	0.15 a
	PT	1.13 a	2.22 a	40.31 a	5.33 a	6.09 a	88.58 b	5.4 a	8.01 a	0.39 ab	0.16 a
	MS	1.21 ab	2.22 a	43.81 a	3.42 a	17.93 b	78.65 a	7.5 b	7.99 a	0.42 a	0.01 b
	PS	1.33 b	2.22 a	38.51 a	5.97 a	11.93 ab	82.11 a	6.9 b	7.59 a	0.39 ab	0.02 b

MT= *M. biuncifera* en Tezontepec de Aldama; PT= *P. laevigata* en Tezontepec de Aldama; MS= *M. biuncifera* en Santiago de Anaya; PS= *P. laevigata* en Santiago de Anaya; DA= Densidad Aparente; DR= Densidad Real; EP= Espacio Poroso; MO= Materia Orgánica; P= Fosforo inorgánico; N= Nitrógeno total; AR= Arenas; LIM= Limos; ARE= Arenas. Letras diferentes indican la diferencia significativa de los valores ( $p \leq 0.05$ ). (Anexo II)

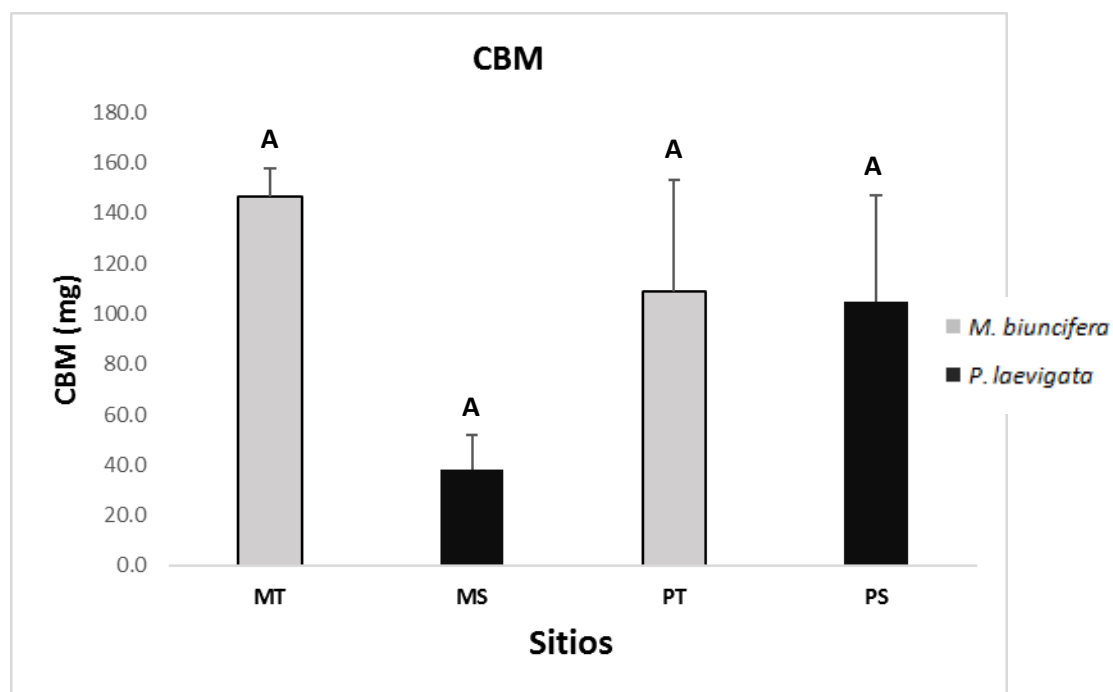
## 9.8 Respiración microbiana

La respiración microbiana en *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya fue de 0.22mg CO<sub>2</sub> y en Tezontepec de Aldama de 0.14 mg CO<sub>2</sub>. Para *Prosopis laevigata* en Santiago de Anaya fue de 0.28 mg CO<sub>2</sub> mientras que para Tezontepec de Aldama fue de 0.22 mg CO<sub>2</sub> (Fig.17). Los mg de CO<sub>2</sub> obtenidos no presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p>0.05$ ).



**Figura 17.** Miligramos de CO<sub>2</sub> en el suelo rizosférico de *P. laevigata* y *M. biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya. MT= *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama, PT= *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama, MS= *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya, PS= *Prosopis laevigata* en Santiago de Anaya. \* Letras iguales significa que no hay diferencias estadísticas.

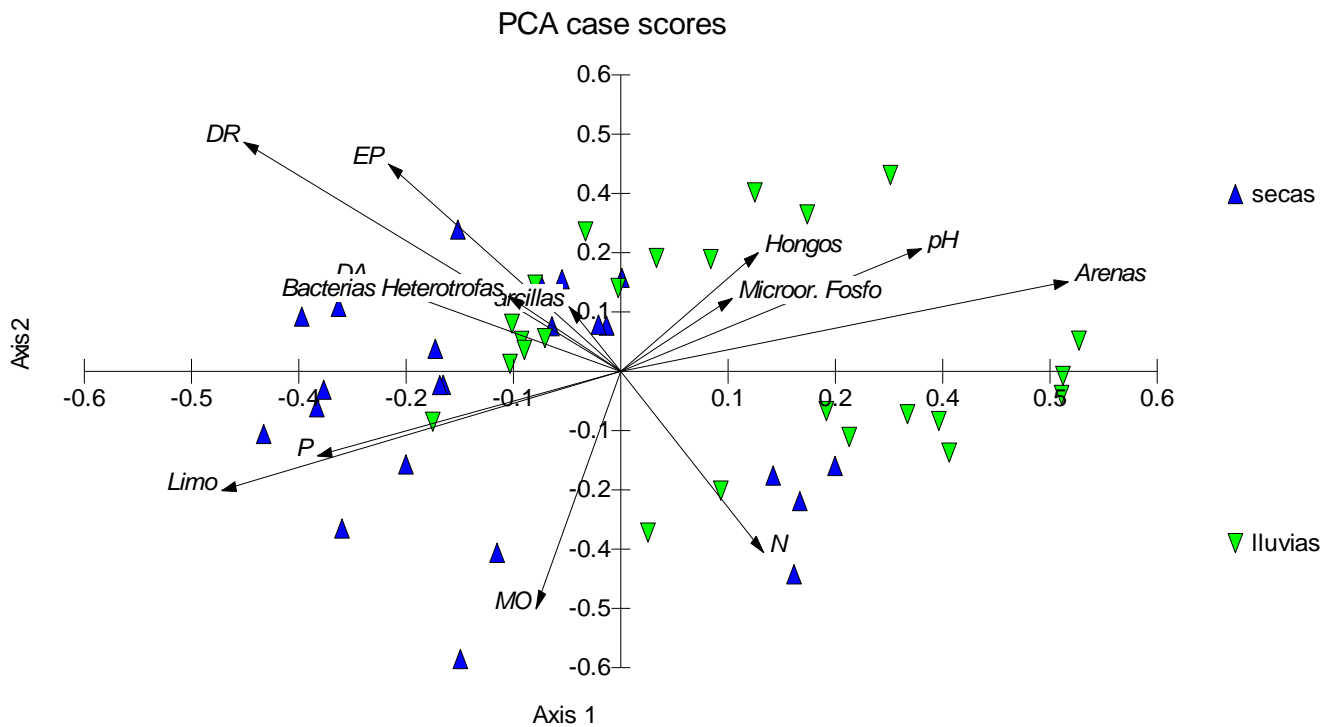
El carbono para *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya fue de 0.49 mg y en Tezontepec de Aldama de 0.32 mg. Para *Prosopis laevigata* en Santiago de Anaya el valor fue de 0.63 mg, mientras que para Tezontepec de Aldama fue de 0.48 mg (Fig. 18). El carbono en la masa microbiana no presento diferencias estadísticas significativas, ( $p>0.05$ ).



**Figura 18.** Carbono de la biomasa microbiana del suelo rizosférico de *P. laevigata* y *M. biuncifera* en Tezontepec de Aldama y Santiago de Anaya. MT= *Mimosa biuncifera* en Tezontepec de Aldama, PT= *Prosopis laevigata* en Tezontepec de Aldama, MS= *Mimosa biuncifera* en Santiago de Anaya, PS= *Prosopis laevigata* en Santiago de Anaya.\* Letras iguales significa que no hay diferencias estadísticas.

## 9.9 Análisis de componentes principales

En la figura 19 se muestra la gráfica del análisis de componentes principales realizado con las variables del suelo evaluadas y la densidad de UFC del suelo en las dos temporadas (secas y lluvias). En la estación de secas se observó que de las variables evaluadas la densidad real tiene el mayor peso con un p-value de 0.444, las bacterias heterótrofas y los limos se agrupan con la estación de secas. En la estación de lluvias la variable con mayor peso fue la materia orgánica con un p-value de 0.459, los microorganismos fosfolubilizadores y los hongos se ven favorecidos en esta estación. Se puede ver que no hay diferencia en las variables entre especies si no entre temporada.



Vector scalina: 1.06

**Figura 19.** Análisis de componentes principales del suelo rizosférico de *P. laevigata* y *M. biuncifera* en Tezontepec y Santiago de Anaya en estación de secas y de lluvias.

## 10. DISCUSIÓN

### 10.1 Caracterización de los sitios de estudio

Los valores de cobertura vegetal sugieren que el matorral de Santiago de Anaya, presenta una mayor área de suelo cubierto por vegetación, lo que puede implicar que se encuentra en un menor estado de perturbación con respecto al matorral de Tezontepec de Aldama, quien presenta mayor área de suelo descubierto, con algunos claros y vegetación dispersa en parches como resultado de la degradación de su cubierta vegetal. Dentro de estos dos matorrales la población de *M. biuncifera* en Santiago de Anaya presentan una altura y tamaño de copa menor a las presentes en Tezontepec de Aldama, lo que sugiere que en este sitio hay mejores condiciones para el crecimiento de esta especie ya que la altura y la amplitud de la copa en los individuos de *Mimosa* son mayores como lo reporta León-Arizmendi (2008). Por otra parte los individuos de *P. laevigata* en Santiago de Anaya en promedio son más altos y la amplitud de su dosel es mayor a la que presentan los individuos en Tezontepec de Aldama, estos resultados semejantes a lo reportado por Montaña-Arias (2000).

Se ha demostrado que diferentes microorganismos como bacterias, fijadores de nitrógeno de vida libre, hongos, etc., tienen un efecto directo o primario en la nutrición vegetal y, por ende, en la estimulación del crecimiento de las plantas; (Aliye *et al.*, 2008; Yasir *et al.*, 2009) de igual manera bacterias y hongos de la rizósfera pueden producir sustancias aleloquímicas o antibióticos que impiden el desarrollo de enfermedades causadas por patógenos edáficos en las plantas (Sturz y Christie, 2003), esto nos sugiere que la biomasa microbiana sumada a las propiedades del suelo en ambos sitios interviene benéficamente en el establecimiento, crecimiento y desarrollo de *P. laevigata* y *M. biuncifera* al proporcionarles nutrientes y a la vez servirles de defensa contra enfermedades, sin embargo este hecho no se puede adjudicar totalmente a la diferencia en porcentaje de cobertura en ambos matorrales ya que no se encontró una diferencia en la cantidad de UFC por sitio, lo que nos lleva a pensar que esta diferencia en porcentaje de

la cobertura vegetal es principalmente a las actividades económicas que se llevan a cabo en cada sitio.

En Tezontepec de Aldama existe una mayor actividad agrícola y ganadera a lo largo del municipio, por lo que se recurre a la tala de especies vegetales para implementar campos de cultivo o pastoreo a diferencia de Santiago de Anaya en donde estas actividades son en menor proporción.

## 10.2 Análisis bacteriológico del suelo

### 10.2.1 Bacterias heterótrofas totales

Reyes-Reyes *et al.* (2002) reportan cantidades bacterianas de suelos muestreados bajo el dosel de *Acacia tortuosa* y *Prosopis sp.* de  $2.93 \times 10^6$  UFC  $g^{-1}$  y  $1.65 \times 10^6$  UFC  $g^{-1}$  respectivamente, estos datos son mayores en tres órdenes de magnitud a los obtenidos en este trabajo que van de  $13.08 \times 10^3$  a  $1.64 \times 10^3$  en época de secas y de  $6.55 \times 10^3$  a  $1.06 \times 10^3$  en época de lluvias, sin embargo, nuestros datos coinciden con lo reportado por Varnero (2006) que menciona que en suelos áridos y semiáridos, la densidad bacteriana no pasa de los órdenes de magnitud de  $10^3$  a  $10^4$  UFC  $g^{-1}$  de suelo en los primeros 20 cm.

En la temporada seca la rizósfera de *Mimosa* presentó mayor cantidad de UFC de bacterias heterótrofas totales, el sitio de Tezontepec de Aldama mostró más del doble de UFC con respecto a Santiago de Anaya, esta diferencia de UFC entre sitios se puede explicar en que la principal actividad económica realizada en Tezontepec de Aldama es la agricultura, por lo tanto es común el uso de abonos orgánicos y fertilizantes, Siddiqui y Akhtar (2008) mencionan que la adición de abonos orgánicos puede mejorar la multiplicación y la eficiencia de microorganismos antagonistas en la rizósfera. En *Prosopis laevigata* no hubo diferencias en la cantidad de UFC de bacterias heterótrofas, este aumento de UFC principalmente en *M. biuncifera* se puede deber a que sus raíces no son tan profundas como las de *P. laevigata*, lo que propicia que las UFC se encuentren más cercanas a la superficie del suelo y asimilen con mayor facilidad esos abonos orgánicos y

fertilizantes. Con el cambio de temporada, las lluvias provocaron un cambio en la cantidad de microorganismos; en *M. biuncifera* se contabilizó menor cantidad de UFC en Tezontepec de Aldama se registró 90 % menos UFC, mientras que en Santiago de Anaya la disminución en UFC fue del 43 %.

En el caso de *P. laevigata* las lluvias favorecieron la presencia de bacterias en un 30 % para los dos sitios y presentó mayor cantidad en comparación con *Mimosa*.

Las diferentes estrategias de las raíces en las especies también pueden afectar a las poblaciones microbianas. Huxman *et al.* (2004) menciona que *Prosopis glandulosa*, con raíces profundas, responde más lentamente a las precipitaciones que *Larrea tridentata* que presenta raíces más superficiales; lo que sugiere que los microorganismos bajo el dosel de *P. laevigata* fueron más abundantes en la temporada lluviosa debido a la baja respuesta de la especie a los pulsos de precipitación a diferencia de *M. biuncifera* que al tener raíces más superficiales reacciona de forma más rápida a los cambios de humedad y por lo tanto se ve disminuida la densidad de microorganismos de manera más drástica.

Por otro lado Luizao *et al.* (1992) y Montañaño *et al.* (2009) encontraron mayor número de microorganismos en la temporada seca sugiriendo que se debe a la mayor presencia de materia orgánica. En este trabajo se tienen resultados similares en *M. biuncifera*, sin embargo, en el caso de *P. laevigata* se encontró un incremento de UFC en la temporada de lluvias, lo que puede deberse a que la materia orgánica que aportan las hojas de *Prosopis* sea de más lenta degradación y por ello se mantenga mayor tiempo en el suelo permitiendo un aumento en el número de UFC.

Las regiones áridas se caracterizan por presentar procesos eco-sistémicos de lenta dinámica y alta variabilidad espacio-temporal, diversos autores (Younis *et al.*, 1999; Jobbagy *et al.*, 2002) demostraron que la variación temporal de las precipitaciones controla la productividad primaria neta en los sistemas áridos y semiáridos. Estos ecosistemas se caracterizan por la elevada aleatoriedad espacio-temporal de las lluvias y el corto tiempo de la disponibilidad de agua en el suelo como recurso para las plantas (Iglesias *et al.*, 2010), modificando la cantidad de agua en el suelo y puede afectar la

densidad de microorganismos, marcando una respuesta estacional a la temporada de lluvias como en la de secas.

Varnero (2006) menciona que en regiones áridas o semiáridas, está limitada la disponibilidad de agua hacia la vegetación, esto ocurre por la marcada estacionalidad que hay en estas zonas. La cantidad y distribución de la lluvia puede modificar los procesos biológicos en el suelo, en el caso de la materia orgánica un clima estacional estimula la mineralización (Salas, 1979), lo que, a su vez, incide en el desarrollo y actividad microbiológica del suelo; confirmando de esta manera que la cantidad de agua en las zonas áridas (estacionalidad) afecta directamente la densidad microbiana. En general, se encontraron diferencias en el número de UFC, entre especies y temporadas, en el caso de *M. biuncifera*, el número de UFC fue mayor en la temporada seca, con respecto a lluvias; caso contrario lo que sucede con *P. laevigata*, quien se ve favorecido con la temporada de lluvias mostrando un aumento en el número de UFC con respecto a la temporada seca.

#### 10.2.2 Microorganismos fosfolubilizadores

Autores como Cleveland *et al.* (2007) y Ferer *et al.* (2007) mostraron un efecto favorable sobre abundancia de bacterias solubilizadoras de P con respecto a la disponibilidad de carbono (C), sugiriendo que un incremento en la concentración de P inorgánico inhibe a los solubilizadores, estas evidencias sugieren que el C disponible podría estar regulando parcialmente a las bacterias solubilizadoras, ya que su disponibilidad podría ser sensible a la variación en la humedad del suelo impuesta por la distribución de la lluvia. Esta fuerte dependencia de la dinámica microbiana del P a los pulsos de humedad ya ha sido reportada en otros estudios como los realizados por Campo *et al.* (1998, 2001).

En este estudio, las bacterias solubilizadoras mostraron tendencias estacionales, fueron más abundantes en la temporada lluviosa lo que puede deberse a la disponibilidad de carbono y de fósforo.



### 10.2.3 Hongos totales

Los hongos se vieron favorecidos en la temporada de lluvias habiendo un incremento de del 100 % de UFC de la temporada seca a la temporada de lluvias, esto se puede deber como algunos autores señalan a que la disponibilidad del agua aumenta la actividad microbiana al facilitar el ingreso de sustratos oxidables, inducir la hidratación intracelular microbiana y fomentar la liberación de nutrimentos por mineralización y por lisis microbiana debida a los cambios en el potencial hídrico (Singh *et al.*, 1989; Morris y Blackwood 2008).

De acuerdo con algunas investigaciones, las grandes variaciones en el número de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) pueden estar ligadas a patrones estacionales de esporulación, la cual puede variar de acuerdo a la especie de HMA o de la planta (Mosse y Bowen, 1968; Dhillion y Anderson, 1993; Dhillion *et al.*, 1994, Jacobson, 1997). De la misma manera, algunos estudios han determinado que la distribución, actividad y supervivencia de los HMA puede ser influenciada por varios factores y procesos físicos, químicos y biológicos del suelo como son la fertilidad y la humedad (Anderson *et al.*, 1984), la compactación (Nadian *et al.*, 1997, 1998), la profundidad (Virginia *et al.*, 1986), el movimiento físico y la saturación de agua (Cooke *et al.*, 1993; Miller, 2000), el pH (Green *et al.*, 1976), la temperatura (Koske, 1987), la intensidad de luz, la altitud y la latitud (Allen *et al.*, 1995); además de la actividad propia de la micro y mesofauna del suelo (Hayman, 1982). Asimismo, McGee (1989) y Allen (1991) señalan que las diferencias en el número de esporas de HMA del suelo también podrían estar relacionadas con diferentes estrategias de supervivencia de las especies de HMA al habitar en un ecosistema determinado; es decir, el ciclo de vida de los HMA presenta una alta adaptación al ambiente que los rodea, sobre todo durante la etapa de formación de esporas (Camargo-Ricalde, 2002) y su habilidad competitiva puede ser afectada por diversos factores como la frecuencia de inóculo y el tiempo diferencial de incubación y la distribución espacial de los propágulos que interactúan (Wilson, 1984; Koske, 1987), estos factores pueden estar relacionados con estas diferencias en número y distribución de esporas de los hongos totales encontrados en los sitios estudiados, principalmente en

*Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata* que al ser leguminosas la doble simbiosis rizobium – micorriza está bien establecida.

#### 10.2.4 Riqueza de microorganismos

Noguez *et al.* (2005) y Montaña *et al.* (2009) mencionan que en los Bosques Tropicales Secos de México los pocos estudios sobre ecología bacteriana del suelo basados en métodos de cultivo, actividad microbiana, y análisis bioquímicos y moleculares, sugieren que la composición y riqueza de las comunidades bacterianas están relacionadas a la disponibilidad de nutrientes, esto puede asociarse de igual manera a los matorrales de este estudio, en donde también son muy escasos los estudios sobre composición y riqueza microbiana.

La marcada variación temporal de las zonas áridas y semiáridas puede estar modificando la disponibilidad de nutrimentos del suelo y en consecuencia, afecta el tamaño y la actividad de ciertos grupos microbianos en este ecosistema. A pesar de que algunas investigaciones indican que los microorganismos del suelo pueden ser ubicuos y no responden a la disponibilidad de recursos (Finlay y Clarke, 1999; Finlay, 2002) no siempre se cumple la regla como ocurrió en el caso de los microorganismos asociados a la rizósfera de *Mimosa biuncifera* en donde la estacionalidad y la disponibilidad de agua marco una disminución de UFC; existen otros trabajos señalando que el tamaño y la composición de las comunidades microbianas si varían con la disponibilidad de nutrimentos en el suelo (Waldrop *et al.*, 2000, Balser y Firestone, 2005; Noguez *et al.*, 2005; Montaña *et al.*, 2009).

Tal como muestran los resultados en este trabajo la riqueza microbiana es variable de temporada seca a temporada lluviosa, esto puede deberse como bien lo mencionan otros autores a la disponibilidad de agua y de nutrientes, los microorganismos del suelo aumentan o disminuyen su secreción de enzimas extracelulares en respuesta a sustratos orgánicos disponibles (Fontaine *et al.*, 2003; Schimel y Weintraub, 2003), esto podría fomentar el que haya una riqueza variable entre las especies, los sitios y la estacionalidad y puede depender de la cantidad de nutrimentos disponibles y de los tipos de

microorganismos capaces de sobrevivir con esa disponibilidad de nutrientes o en ciertas condiciones que el ecosistema o la especie le pueda proporcionar.

Otro factor importante son las especies que generan Islas de fertilidad (IDF) como en el caso de *P. laevigata* y *M. biuncifera* (García-Sánchez, 2011) pueden ser controladores bióticos críticos del funcionamiento del ecosistema de las zonas áridas y semiáridas, porque influyen en el tamaño de la biomasa microbiana del suelo y en su actividad a través de la cantidad y calidad de la hojarasca producida y/o raíces producidas (Bardgett, 2005).

En general, se registró un aumento de bacterias heterótrofas totales, microorganismos fosfosolubilizadores y hongos en la estación de lluvias que coincide con condiciones favorables de suelo, similar a lo reportado con el de un estudio realizado en Tlapehuala, estado de Guerrero, en la rizósfera de plantas de ilama (*Annona diversifolia* Saff.) en cuatro épocas del año, creciendo en un suelo de textura franco arenoso y pH de 6.6, donde las poblaciones de bacterias totales fueron más abundantes en la época de mayor precipitación (Cortés –Sarabia *et al.*, 2009). Esto sugiere que la relación entre los recursos y las comunidades microbianas en el suelo son complejas y aún falta entenderlas y evidenciar con datos de riqueza microbiana, la que podría depender de los factores limitantes del suelo.

### **10.3 Propiedades químicas del suelo**

La evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo aportan información sobre la disposición de los nutrimentos en el suelo, la cual depende de la interacción suelo-planta y en la cual la función de los microorganismos es fundamental para la descomposición y mineralización de los nutrimentos asimilables para las plantas.

**pH:** En Santiago de Anaya el pH del suelo rizosférico de *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata* se consideran ácidos, estos valores son típicos en las zonas semiáridas, donde las escasas precipitaciones y alta tasa de evapotranspiración hacen que exista poco lavado, por lo cual las bases cambiables del suelo (especialmente los que forman sales de

carbonatos y sulfatos) se acumulen superficialmente y originen valores altos de pH (Zamora *et al.*, 2005).

En Tezontepec de Aldama se encontró un pH fuertemente ácido para el suelo rizosférico de ambas leguminosas, lo cual se puede deber a alto contenido de materia orgánica en el suelo ya que uno de los factores que provocan la acidez en el suelo es la descomposición de la materia orgánica y la formación de ácidos tanto orgánicos como inorgánicos (Buckman y Brady, 1996), otro factor es el uso de fertilizantes principalmente de fuentes amoniacales y urea, ya que Tezontepec de Aldama es una zona de cultivos (Jaurixje *et al.*, 2013).

La relación pH-microorganismos fue muy variable en ambos sitios y ambas leguminosas, se encontraron UFC bacterianas en mayor o menor abundancia sin un patrón definido y con colonias morfológicamente diferentes por estacionalidad, esto se debe a que hay microorganismos que requieren ambientes oxidantes para crecer, mientras que otros necesitan ambientes reductores. El metabolismo de ambos tipos de microorganismos presenta diferencias notables (Pisabarro, 2009).

**MO:** El porcentaje de materia orgánica y el carbono orgánico muestran las mismas tendencias, con valores altos para ambos matorrales y para ambas especies según la NOM-021 se encuentran en la clase de alto a muy alto. Esto se debe que bajo el dosel de estas leguminosas se acumulan nutrimentos formando las llamadas “islas de fertilidad” que hace mención a las porciones fértiles de suelo en un mar de suelo menos fértil (Montaño-Arias, 2000). Estas islas de fertilidad son formadas principalmente por el efecto del dosel de la especie que la forma, las leguminosas arbustivas como *M. biuncifera* y *P. laevigata*, favorecen el componente herbáceo del ecosistema, condiciones nutrimentales, microambientales y microbiológicas claves en los ecosistemas áridos (García-Moya y Mckell, 1970; Frias-Hernández, 1999).

La acumulación de materiales orgánicos en el suelo está en función directa de la producción de la cantidad anual de biomasa muerta, y en función inversa a la tasa anual de la descomposición de materia orgánica (Paul y Clark, 1996; Fisher y Binkley, 2002; Nuñez *et al.*, 2001; Vitousek, 2004).

**N:** El nitrógeno total para la temporada de secas en la rizósfera de *M. biuncifera* y *P. laevigata* mostro una tendencia similar a la de materia orgánica, los valores encontrados en ambos matorrales y ambas especies no mostraron diferencias y coinciden con los datos reportados por León-Arizmendi (2008) para otros matorrales del Valle del Mezquital, los contenidos de nitrógeno está relacionado con los altos contenidos de materia orgánica y con la presencia de otras bacterias fijadoras de nitrógeno que seguramente albergan estas leguminosas.

Para la temporada de lluvias existe un ligero aumento en las concentraciones de nitrógeno (N) y de igual manera que en secas los valores entre especies y matorrales no mostraron diferencias, este aumento de N podría deberse a que en la estación de lluvias también hubo un aumento de MO y de los microorganismos del suelo tanto heterótrofos, fosfolubilizadores y hongos, de esta forma al haber un aumento en la MO y en los microorganismos hay una mayor degradación de esta y por lo tanto un aumento en el carbono orgánico del suelo (COS) propiciando así también un aumento en el porcentaje de N. Tal como lo mencionan Paul y Clark (1996) quien sugiere que el nitrógeno del suelo aumenta cuando es mineralizado por los microorganismos del suelo, principalmente por heterótrofos, que requieren del carbono orgánico del suelo (COS), porque es su principal fuente de energía.

En zonas áridas y semiáridas, el N en el suelo es considerado como un recurso limitante (West y Skujiņš, 1978; Hooper y Johnson, 1999), esto concuerda con valores obtenidos ya que dentro de la NOM-021 las concentraciones de N encontrado son muy bajas.

*Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera* al promover condiciones para el crecimiento de poblaciones de microorganismos en el suelo (Halvorson *et al.*, 1994; Carrillo-García *et al.*, 2000) con la formación de las Islas de fertilidad pueden favorecer la mineralización del N, incrementando así su disponibilidad (Halvorson *et al.*, 1994; Bardgett, 2005).

Las tasas de mineralización del N dependen de la temperatura, relación C:N, pH del suelo y humedad. La relación C: N opera un poco distinto en suelos ácidos que en suelos

con altos niveles de bases (Sánchez, 1981). Con valores bajos de pH el carbono tiende a mineralizarse más rápidamente que el nitrógeno, disminuye la relación C: N y da por resultado un incremento en la mineralización del N. En suelos con altos niveles de bases las cantidades totales mineralizadas dependen del contenido total de N (Bornemisza y Pineda, 1969).

La tasa de mineralización no siempre cambia en gradientes de humedad, debido a que la productividad primaria neta, la materia orgánica del suelo, la biomasa microbiana y la inmovilización de nitrógeno del suelo también cambian con la precipitación (Epstein *et al.*, 2006), en este caso la actividad microbiana y la cantidad de MO se ven afectadas por la estacionalidad.

Austin *et al.* (2004) mencionan que la menor concentración de N durante lluvias puede deberse a que existe una mayor demanda por parte de las plantas y las poblaciones microbianas, mientras que en la temporada seca, estos procesos disminuyen de intensidad o se interrumpe por la falta de agua en el suelo. El patrón estacional de mayor disponibilidad de N durante secas se ha reportado para otras zonas áridas y semiáridas, lo que es contrario a los datos obtenidos en el Valle del Mezquital, en la estación de lluvias se registró un ligero aumento en la concentración de N, es posible que el incremento en la disponibilidad de N durante lluvias se explique por una baja demanda por las plantas y microorganismos del suelo. Schiwinning y Sala (2004) proponen la existencia de diferentes presiones de selección en el uso del agua en diferentes especies de ecosistemas áridos y semiáridos probablemente la microbiota del suelo pueda continuar más tiempo inactiva (inmovilizando el N) en comparación con las plantas al inicio de un periodo de lluvias.

**P:** La mayoría de los ecosistemas tienen baja disponibilidad de fósforo asimilable en el suelo, y a que su concentración varía en forma considerable temporal y espacialmente (Gojon *et al.*, 2009; Robinson, 2005) esto concuerda con la concentración de PO<sub>4</sub> en el suelo rizosférico de *M. biuncifera* y *P. laevigata* presentaron diferencias y sus valores según la NOM-021 entran dentro de la clase baja, esto se pudiera atribuir en parte a que en ambas rizósferas en Tezontepec los valores de pH fueron fuertemente ácidos,

esto podría provocar la solubilidad de algunos elementos ocasionando la formación de complejos con el fósforo disminuyendo así su disponibilidad en el suelo (Cruz, 2006).

La solubilidad del P orgánico e inorgánico es extremadamente baja, solo una pequeña cantidad del P del suelo está en solución en algún momento determinado, la mayoría de los suelos contienen menos de 1 kg/ ha de fósforo soluble en algunos casos el contenido es menor, es por esta razón que las plantas se valen de los microorganismos para la mineralización de este compuesto.

La disponibilidad de P en los suelos está regulada por procesos biogeoquímicos y biológicos. En la mayoría de los ecosistemas naturales, los procesos geoquímicos determinan su distribución en el largo plazo, pero, en el corto tiempo, influyen preferentemente los procesos biológicos, ya que el P asimilable por la planta deriva de la materia orgánica (Cross y Schelesinger, 1995).

Los microorganismos además de constituir una reserva de P en el suelo a través de su biomasa, median varios procesos claves en el ciclo biogeoquímico de este elemento. La absorción microbiana del P y su subsecuente liberación y redistribución, afectan de manera significativa la disponibilidad del P para las plantas en los ecosistemas naturales y manejados, especialmente cuando los últimos reciben enmiendas orgánicas (Oberson y Joner, 2005). En el caso del Valle del Mezquital en ambos sitios estudiados, en ambas especies y estaciones se registró un número muy bajo principalmente de hongos, se sabe que aunque las bacterias son los microorganismos más numerosos del suelo, en términos de biomasa, los hongos representan los mayores aportes de P (Oberson y Joner, 2005).

Por esta razón podemos suponer que los niveles de P encontrados fueron muy escasos ya que la microbiota del sitio también era escasa lo que afectó significativamente la disponibilidad de este elemento.

Otra razón de la baja disponibilidad de este elemento podría ser que los microorganismos del suelo requieren P para su crecimiento y actividades. Si los materiales orgánicos que oxidan para obtener energía contienen menos P que el requerido, los microorganismos inmovilizan P a partir de la solución y los microorganismos mineralizan P a la solución del suelo (Oberson y Joner, 2005).

## 10.4 Evaluación de la actividad microbiana

La actividad microbiana en este trabajo se determinó mediante la evaluación del CO<sub>2</sub> del suelo como resultado de la respiración aerobia. Los resultados mostraron que en el suelo rizosférico de Santiago de Anaya hay mayor respiración de los microorganismos que en Tezontepec de Aldama, lo que puede deberse a la existencia de mejores condiciones como cobertura vegetal, el alto contenido de materia orgánica, y posiblemente al tipo de materia orgánica, factores que favorecen la mayor actividad microbiana.

En cuanto a la estacionalidad y las poblaciones de Bacterias heterótrofas, organismos fosfolubilizadores y hongos se observó que hubo un incremento de estas en la estación de lluvias, esto se debe a que la presencia de carbono permite un incremento de la población activa de hongos, bacterias, actinomicetes y algas, las cuales aceleran el flujo del ciclo orgánico en el suelo (Sierra y Sierra, S/F).

La producción de CO<sub>2</sub> puede cambiar con la calidad del material orgánico aportado al suelo (Delaney *et al.*, 1996 y Arrigo *et al.*, 2002) y con las variaciones estacionales definidas por el clima (Swift *et al.*, 1979).

Luna-Suarez (1998) menciona que el grado de deterioro de un sitio provoca la disminución de la actividad microbiana en el suelo, por lo que se sugiere que en Tezontepec la reducción de la actividad microbiana se puede deber al menor porcentaje de cubierta vegetal y que puede relacionarse con el grado de deterioro en el que se encuentra. Otro factor importante en la liberación de CO<sub>2</sub> es el tiempo que tarda en descomponerse el desecho orgánico en el suelo, y que depende mucho de la composición química de las hojas, tallos y raíces de la vegetación presente en un ecosistema (Nuñez *et al.*, 2001); es probable que los residuos orgánicos favorezcan más a un sitio que a otro, en su descomposición y puede ocurrir que haya dominancia en los procesos microbianos liberando más CO<sub>2</sub>.

En cuanto al carbono de la biomasa microbiana (CBM), se observó que en el sitio de Santiago de Anaya los microorganismos de la rizósfera de *P. laevigata* y *M. biuncifera* tienen mayor contenido de carbono que en Tezontepec de Aldama; resultados similares



fueron mencionados por León- Arizmendi (2008) para otros matorrales del Valle del Mezquital, Hidalgo, y por Luna- Suarez (1998) quien reporta una mayor cantidad de carbono en biomasa microbiana (CBM) en suelos conservados que en suelos perturbados en la meseta central de México.

También se pudo observar que la actividad microbiana en la rizósfera de *P. laevigata* en ambos sitios fue mayor que en la rizósfera de *M. biuncifera*, esto puede deberse a que bajo la copa de *P. laevigata* las condiciones microambientales apropiadas en términos de humedad, temperatura y sustratos carbónicos favorezcan la actividad microbiana; Chen y Satark (2000) y Conant *et al.* (2004) refieren que la abundancia, el tipo y la actividad microbiana son fuertemente reguladas por el desarrollo de las estructuras de los micrositios en el suelo, además de la energía suministrada, la humedad y la temperatura del suelo.

La concentración de C lábil tiene su máximo valor en la estación de lluvias. El ingreso de agua al suelo durante la estación humedad solubiliza el C lábil y lo hace disponible para la actividad microbiana, mientras que en la estación seca esas formas solubles de C son menores, debido posiblemente a que fueron utilizados por los microorganismos del suelo durante la época humedad o se perdieron del sistema por otras causas como la lixiviación (Perroni, 2007).

## CONCLUSIONES

- 1) La densidad total de bacterias heterótrofas, microorganismos fosfolubilizadores y hongos en *M. biuncifera* fue mayor en la temporada de lluvias respecto a la temporada de secas, *P. laevigata* no presentó cambios en la densidad de UFC entre estaciones.
- 2) Se encontraron diferencias estadísticas en pH y en concentración de fósforo en suelo rizosférico de *M. biuncifera* y *P. laevigata* en ambos sitios.
- 3) La cantidad de MO se ve afectada fuertemente por la estacionalidad habiendo un incremento en la temporada de lluvias.
- 4) Los nutrimentos N, P, C del suelo rizosférico se ven afectados por pH, humedad y cantidad de MO.
- 5) La concentración de C lábil tiene su máximo valor en la temporada de lluvias.
- 6) La actividad microbiana fue mayor en el suelo rizosférico de las leguminosas del matorral de Santiago de Anaya.
- 7) La actividad microbiana del suelo rizosférico de *P. laevigata* fue mayor que en el suelo rizosférico de *M. biuncifera*.

## Literatura citada

- Abril, A. 2003. ¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? *Ecología Austral* 13:195-204.
- Acuña, O., Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, D., Trejos, J. y Segura, A. 2006. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. Reunion Internacional de Asociaciones para la cooperación en el Caribe. Brasil.
- Aguilera, N. 1989 Tratado de Edafología de México, Tomo I, Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México.
- Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. Ed. AGT. México, DF, México.
- Aliye, N., Fininsa, C., Hisklas, Y. 2008. Evaluation of rhizosphere bacterial antagonists for their potential to bioprotect potato (*Solanum tuberosum*) against bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*). *Biol. Control*. 47:282-288.
- Allen, M.F. 1991. The ecology of Mycorrhizae. Cambridge University. Nueva York. 184 p.
- Allen, E.B., Allen, M.F., Helm, D.J., Trappe, J.M., Molina, R. y Rincón, E. 1995. Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity. *Plant Soil* 170: 47-62.
- Alvarez, M. s-a. El suelo, regulador fisicoquímico de elementos traza para las plantas. Recuperado de: [Digital.csic.es](http://Digital.csic.es).
- Álvarez-Solis, J.D. y Anzueto-Martinez, M. J. 2004. Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 38:13-22.
- Anderson, R.C., Libertad, A.E. y Dickman, L.A. 1984. Interaction of vascular plants and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi across a soil moisture-nutrient gradient. *Oecología* 64: 111-117.
- Arenas, R. 1987. Micología medica ilustrada. Clínica, laboratorio y terapéutica. Primera edición. MacGraw Hill. México D.F.

- Arrigo, N. M., Jiménez, M. P., Efron, D. y Defrieri, R. 2002. Carbono de respiración de un suelo forestal y su relación con la calidad de la hojarasca. *Agric. Téc.* , 62 (2), 331-338.
- Austin, A. T., Yahdjian, L., Stark, J. M., Belnap, J., Porporato, A., Norton, U., Ravetta, D. A. y Schaeffer, S. M. 2004. Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. *Oecología* 141: 221-235.
- Balser, T.C. y Firestone, M.K. 2005. Linking microbial community composition and soil processes in a California annual grassland and mixed-conifer forest. *Biogeochemistry* 73: 395-415.
- Bardgett, R., 2005. *The Biology of Soil: a Community and Ecosystem Approach*. Oxford University Press, Oxford.
- Barrios, T.R. 1985. Caracterización nutricional del Mezquite *Prosopis laevigata* en tres épocas de corte. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza. UNAM. México.
- Bauer, I. 1991. *Fitopatología*. Ed. Limusa. México.
- Bornemisza, E. y Pineda, P. 1969. Minerales amorfos y mineralización de nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas. En: Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. Centro de Enseñanza e Investigación del IICA. Turrialba, Costa Rica. B.7.1-7.7.
- Bornemisza, E. 1982. *Introducción a la Química de Suelos*, Universidad de Costa Rica, San José , Costa Rica, Secretaría General de la Organización de los Estados Unidos Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Monografía no. 25 p. 21-47.
- Buckman, H.y Brady, N.C. 1966. *The Nature and Properties of Soils*. TheMacmillancompany. 590 pp.
- Camargo-Ricalde, L. 1997. Aspectos de la biología del Tepescohuite, *Mimosa tenuiflora*. Tesis de maestría en ciencias, UNAM.
- Camargo-Ricalde, S. L. y R. Grether. 1998. Germinación, dispersión y establecimiento de plántulas de *Mimosa tenuiflora* (*Leguminosae*) en México. *Revista de Biología Tropical* 46:543-554.

- Camargo-Ricalde, S.L., Grether, R., Martínez-Bernal, A., García-García, V. y Barrios del Rosal, S. 2001. Especies útiles del género *Mimosa* (*Fabaceae-Mimosoideae*) en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 68:33-44.
- Camargo-Ricalde, S.L. y García-García, V. 2001. El género *Mimosa. L* (*Fabaceae*) y la restauración ecológica. UAM-I. México.
- Camargo-Ricalde, S.L. 2002. Dispersal, distribution and establishment of arbuscular mycorrhizal fungi: a review. Bol. Soc. Bot. México 71: 33-44.
- Camargo-Ricalde, S. L. y S. Dhillion. 2003. Endemic *Mimosa* species can serve as mycorrhizal "resource islands" within a semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán, México. Mycorrhiza 13:129-136.
- Camargo-Ricalde, S.L. y Dhillion, S.S. 2004. Use and management of mimosa species in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, a tropical semi-arid region in Mexico (*Fabaceae-Mimosoideae*). Rev. Biol. Trop 52:845-851.
- Camargo-Ricalde S. L., Martínez, A. P., Navarrete, R. D. y Tenango, C. M. 2004. Islas de recursos formadas por *Mimosa*, una opción de la biodiversidad. UAM, 54: 5-15.
- Campo, J., Jaramillo, V. J. y Maass, J. M. 1998. Pulses of soil phosphorus availability in a Mexican tropical dry forest: effects on seasonality and level of wetting. Oecología 115:167-172.
- Campo, J., Maass, J. M. y Pablo, L. 2001. Intemperismo en un bosque tropical seco de México Agro ciencia 35: 245- 254.
- Canfield, H.R. 1941. Application of the line interception method in sampling range vegetation. Journal of the American Society of Agronomy 34: 805-822.
- Carrillo, F. R. 2006. Efecto de la poda sobre el potencial productivo de mezquitales nativos (*Prosopis glandulosa torr, var. glandulosa*) en la Comarca Lagunera. Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente 6: 47-54.
- Carrillo-García, A., Bashan, Y. y Bethlenfalva y , G. J. 2000. Resource-island soils and the survival of the giant cactus, cardon, of Baja California Sur. Plant and Soil. (In press.)
- Chen, J., y Stark, J.M. 2000. Plant species effects and carbon and nitrogen cycling in a sagebrush - crested wheatgrass soil. Soil Biology and Biochemistry 32:47-57.

- Cleveland, C., Nemergut, D., Schmidt, S.K y Townsend, A. R. 2007. Increases in soil respiration following labile carbon additions linked to rapid shifts in soil microbial community composition. *Biogeochemistry* 82: 229-240.
- Conant, T.R., Dalla, B. P., Klopatek, C.C. y Klopatek, M.J. 2004. Controls on soil respiration in semiarid soils. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 945–95.
- CONAZA. 1994. Mezquite, *Prosopis sp.* Cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Comisión Nacional de las Zonas Áridas, Instituto de Ecología, México, 31 pp.
- Contreras-Araneda P.A. 2005. Suelos Contaminados con Hidrocarburos: RNA 16S como Indicador de Impacto. Tesis Ingeniero Civil en Biotecnología, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología.
- Cooke, J.C., Butler, R.H. y Madole, G. 1993. Some observations on the vertical distribution of vesicular myorrhizae in roots of salt marsh grasses growing in saturated soil. *Mycologia* 85: 574-550.
- Cortés-Sarabia, J., Pérez-Moreno, J., Delgadillo, M., Ferrera-Cerrato, R. y Ballesteros-Patrón, G. 2009. Estacionalidad y microorganismos rizosféricos de ilama (*Annona diversifolia Saff*) en huertos naturales del trópico seco. *Terra Latinoamericana*. 27:27-34.
- Cross, A.F., y Schelesinger, W.H. 1995. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma* 64:197-214.
- Cruz, G. F. 2006. Ecología del suelo, un enfoque hacia la nutrición mineral de plantas superiores. FES Zaragoza. UNAM.
- Cruz, R. J. A., García-Moya, E., Frías- Hernández, J. T., Montesinos, G. y Flores, J. L. 1997. Influencia de los mezquites en la composición y cobertura de la vegetación herbácea de un agostadero semiárido del Norte de Guanajuato. *Boletín de la Soc. Bot. México*. 61: 21-30.

- Delaney, M.T., Fernández, I.J., Simmons J.A. y Briggs, R.D. 1996. Red maple and white pine litter quality: Initial changes with decomposition. Technical Bulletin, University of Maine 162, 1-19.
- Delgado, R. y España, M. 2000. Evaluación de la biomasa microbiana por los métodos fumigación-incubación y fumigación-extracción y su relación con la disponibilidad de nitrógeno en suelos de Venezuela. Centro nacional de investigaciones agropecuarias. Venezuela.
- Dhillon, S.S. y Anderson, R.C. 1993. Seasonal dynamics of dominant species of arbuscular mycorrhizae in burned and unburned sand prairies. *Can. J. Bot.* 71: 1625-1630.
- Dhillon, S.S., McGinley, M.A., Friese, C.F. y Zak, J.C. 1994. Construction of sand shinnery oak communities of the Llano Estacado: animal disturbances, plant community structure and restoration. *Rest. Ecol.* 2: 51-60.
- Epstein, H. E., Pareuelo, J. M., Piñeiro, G., Burke, I. C. y Lauenroth, W. K. 2006. Interactions of water and nitrogen on primary productivity across spatial and temporal scales in grasslands and shrubland ecosystems. pp. 201-216.
- FAO. 1999. Suelos de México. Recuperado de [www.fao.org.mx](http://www.fao.org.mx)
- Felker, P; Clark, P. R; Laag, A. E; y Pratt, P. F. 1981. Salinity tolerance of the tree legumes: mezquite (*Prosopis glandulosa* var. *Torreyana*, *P. velutina* and *P. articulate*), algarobo (*P. chilensis*), Kiawe (*P. palida*) and tamarugo (*P. tamarugo*), ground in sandculture on nitrogen-free media. *Plant and soil* 61:311-317.
- Fierer, N., Bradford, M.A. y Jackson, R.B. 2007. Towards an ecological classification of soil bacteria. *Ecology* 88: 1354-1364.
- Finlay, B.J. 2002. Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science* 296: 1061-1063.
- Finlay, B.J. y K.J. Clark. 1999. Ubiquitous dispersal of microbial species. *Nature* 400: 828.
- Fisher, R. F y Binkley, D. 2002. Ecology and management of forest soils. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Flores, J.L., Cruz, A., García, E., Frías, J. T. y Montesinos, G. 2000. Características de la vegetación herbácea en una comunidad semiárida dominada por mezquite *Prosopis laevigata*. Universidad de Guanajuato. México.

- Fontaine, S., Mariotti, A. y Abbadie, L. 2003. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition. *Soil Biol. Biochem.* 35: 837-843.
- Frías-Hernández, J.T. 1999. Papel del mezquite *Prosopis laevigata* (Humb. Y Bonpl. Ex. Wild) M.C.Johnst. En la sustentabilidad de un ecosistema semiárido. Tesis Doctoral en biotecnología de plantas. Irapuato, Gto. México. Pp 192.
- Galindo, A. C y García, E. 1986. The uses of mezquite (*Prosopis*) in the highlands of San Luis Potosi, México. *Forest Ecology and Management* 16:49-56.
- Garbisu, C., Becerril J., M., Epelde, L. y Alkorta, I. 2007. Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. *Ecosistemas* 16:44-49.
- García, E. 1978. Modificaciones al sistema de clasificación climática Köppen. 2ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- García-Moya E. y C. M. Mackell. 1970. Contribution of shrubs to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology* 51: 81-88.
- García-Sánchez, R. 2005. Restauración de la cubierta vegetal de los matorrales semiáridos del Valle del Mezquital, Hidalgo, México.
- García-Sánchez, R. 2011. Diversidad funcional de los hongos micorrizogenos arbusculares de islas de recursos del Valle del Mezquital, Hidalgo. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- Gisbert, J., Ibañez, S., y Moreno, H. 2012. El espacio poroso del suelo. Mayo 22, 2015, de universidad politécnica de Valencia Sitio web: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16873/AD%20espacio%20poroso.pdf?sequence=1>
- Godínez, A. H. y A. Flores-Martínez. 1999. Germinación de semillas de 32 especies de plantas de la costa de Guerrero: su utilidad para la restauración ecológica. *Polibotánica* 11:1-29.
- Gómez, L. 1970. Importancia económica de los mezquites (*Prosopis sp.*) en algunos estados de la República Mexicana, en mezquites y huisaches. PP. 1-16. IMRNR, México.



- Green, N.E., Graham, S.O. y Schenk, N.C. 1976. The influence of pH on the germination of vesicular-arbuscular mycorrhizal spores. *Mycologia* 68: 929-934.
- Grether, R., Camargo-Ricalde, S. y Martínez-Bernal. A. 1996. Especies del género *Mimosa* (*Leguminosae*) presentes en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 58: 149 – 152.
- Gojon, A., Nacry, P. y Davidian, J. C. 2009. Root uptake regulation: a central process for NPS homeostasis in plants. *Current Opinion in Plant Sciences* 12: 328-338.
- Halvorson, J. J., Bolton Jr, H., Smith, J. L. y Rossi, R. E. 1994. Geostatistical analysis of resource islands under *Artemisia tridentata* in the shrub-steppe. *Great Basin Naturalist* 54: 313-328.
- Hayman, D.S. 1982. Influence of soils and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Phytopathology* 72: 1119-1125.
- Herrera-Arreola, G., Herrera, Y., Reyes-Reyes, B. G. y dendooven, L. 2007. Mesquite (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.), huisache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) and catclaw (*Mimosa biuncifera* Benth.) and their effect on dynamics of carbon and nitrogen in soils of the semi-arid highlands of Durango México. *Journal of Arid Enviroments* 69: 583-598.
- Hooper, D.U. y Vitousek, P.M. 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* 277: 1302-1305.
- Hooper, D.U y Johnson. L. 1999. Nitrogen limitation in dryland ecosystems: responses to geographical and temporal variation in precipitation. *Biogeochemistry* 46: 247-293.
- Huerta-Cantera, H. E. 2010. Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Qro., y su relación con el crecimiento bacteriano. Tesis de licenciatura. Facultad de ciencias naturales. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Huxman, T., Smith., Fay. P., Knapp. A., Shaw. M. 2004. Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. *Nature* 429: 651-654.

- Iglesias, M. R., Barchuk, A. y Grilli, M. P. 2010. Dinámica estacional e interanual del NDVI en bosques nativos de zonas áridas argentinas. *Teleredacción* 34: 44-54.
- INAFED. 2010. Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. SEGOB Secretaría de Gobernación.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).2013. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo .
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1993. Carta de vegetación del estado de Hidalgo. Escala 1:250 000. México, D. F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática), 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Ixmiquilpan, Hidalgo. México, D.F.
- INFOSTAT. 2013. Software estadístico. Grupo InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina.
- Ingham, E.R. 2000. The soil f Ingham, E.R. Capítulos 1-6 In: *Soil Biology Primer*. Soil and Water Conservation Society. Rev. Edition. Ankeny Iowa.
- IRENAT. 1996. Manual de procedimientos analíticos para el análisis de suelos y plantas de Laboratorio de Fertilidad de suelos - Colegio de Postgraduados. Sociedad Mexicana de Ciencias del Suelo, A. C. México.
- Jacobson, K.M. 1997. Moisture and substrate stability determine VA-mycorrhizal fungal community distribution and structure in arid grasslands. *J. Arid Environ.* 35: 59-75.
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M. y Contreras, J. 2013. Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, estado Lara. *Bioagro* 47-56 pp.
- Jenkinson S. D., Brookes C. P. Powlson S.D. 2004. Measuring soil microbial biomass. *Soil Biology y Biochmistry* 36: 5-7.
- Jobbágy, E. G., Sala, O. E. y Paruelo, J. M. 2002. Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: a remote sensing approach. *Soil Ecology* 83(2): 307-319.
- Killman, K. 1994. *Soil ecology*. Cambridge University Press. New York. 242 pp.
- Kolher J., Caravaca,F., Carrasco,L. y Roldán. A. 2006. Contribution of pseudomonas mendocina and *Glomus intraradices* to aggregate stabilization and promotion of

- biological fertility in rhizosphere soil of *lettuce* plants under field conditions. *Soil Use Manage* 22, 298-304.
- Koneman, E. W; Roberts, G. D; Wright, S. E.1978. *Practical Laboratory Mycology*, 2nd. Ed. The Williams y Wilkins Company. Baltimore.
- Koske, R.E. 1987. Distribution of VA mycorrhizal fungi along a latitudinal temperature gradient. *Mycologia* 79: 55-68.
- Krupa y Dommergues. 1981. *Ecology of root pathogens*. 2a edicion. Elsevier scientific publishing company. USA.
- León- Arizmendi E., 2008. Evaluación de la actividad microbiana en las islas de recursos formados por: *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata* en dos matorrales xerófilos del Valle del Mezquital, Hidalgo. Tesis de licenciatura, UNAM, FES Zaragoza.
- Lesser-Carrillo, L.E., Lesser-Illades, J.M., Arellano-Islas, S, González-Posadas, D., 2011, Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle Mezquital, México central: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 28, núm. 3, p. 323-336.
- Lynch, J. 1983. *Soil biotechnology. Microbiological factors in crop productivity*. London. Blockwell Sc. Publications. 191 pág. Número 2, Mayo – Agosto 2007, pp. 461-480.
- Luizao, R.C., Bonde, T.A. y Rosswall. T. 1992. Seasonal variation of soil microbial biomass. The effects of clearfelling or tropical rainforest and establishment of pasture in the Central Amazon. *Soil Biol. Biochem.* 8: 805-813.
- Luna-Suarez S. 1998. Dinámica de C y N en regiones semiáridas de la meseta central de México bajo la influencia de la vegetación nativa. Tesis para maestro en ciencias. CINVESTAV.
- Luna-Suárez, S., T. J. Frías-Hernández, V. Olalde-Portugal y Dendooven, L. 2004. Catclaw (*Mimosa biuncifera*): a pest or a means to restore soil fertility in heavily eroded soil from central highlands of México? *Biology and Fertility of Soils* 32:109-113.
- Maestre, F. T., Bautista, S. y Cortina, J. 2003. Positive, negative and net effects in grass-shrub interactions in Mediterranean semiarid grassland. *Ecology* 84(12): 3186-3197.

- Maestre, F. T. y Cortina, J. 2005 Remnant shrubs in Mediterranean semi-arid steppes: effects of shrub size, abiotic factors and species identity on understory richness and occurrence. *Acta Oecologica* 27: 161-169.
- Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. 2006. México. Secretaria del medio ambiente y recursos naturales.
- Martínez-Pérez, G., A. Orozco-Segovia y C. Mantorell. 2006. Efectividad de algunos tratamientos pre-germinativos para ocho especies leñosas de la Mixteca Alta Oaxaqueña con características relevantes para la restauración. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 79:9-20.
- McGee, P. 1989. Variation in propagule numbers of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a semi-arid soil. *Mycol*, 92: 28-33.
- Medina, S., López, M. y Vilorio, J. 2011. Evaluación de la biofertilización en el cultivo maíz en suelo del estado Guárico. *Memorias XIX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*.
- Meraz, S., Orozco, J., Lechuga, L. A., Cruz, F. y Vernon, J. 1998. El mezquite, árbol de gran utilidad. *Ciencias* 51: 20-21.
- Miller, S.P. 2000. Arbuscular mycorrhizal colonization of semi-aquatic grasses along a wide hydrologic gradient. *New Phytol.* 145: 145-155.
- Monsiño, A. 1983. Climatología de las zonas áridas y semiáridas de México. Recursos agrícolas de las zonas áridas y semiáridas de México, Memoria de Simposio. Colegio de Posgraduados. Chapingo, Estado de México, pp. 9-38.
- Montaño- Arias, N. M. 2000. Potencialidad de hongos micorrizógenos arbusculares de las islas de fertilidad de Mezquite (*Prosopis laevigata*) de dos agostaderos semiáridos del Valle de Actopan, México Central, enfoque ecológico para recuperar la vegetación” Tesis de licenciatura en Biología. FES Zaragoza. UNAM.
- Montaño-Arias, N.M., Sandoval-Pérez, A.L., García-Oliva, F., Larsen, J. y Gavito, M. E. 2009. Microbial activity in contrasting conditions of soil C and N availability in a tropical dry forest. *J. Trop. Ecol.* 25: 401-413.

- Moreno, B., Garret, M. G., Fierro, U.J. 2006. Otomíes del Valle del Mezquital. México. D.R. ©.p. 5.
- Moreno, Z. 2000. Correlación de la tasa de crecimiento radial y la tasa de crecimiento específico de hongos filamentosos aislados de la planta *Espeletia barclayana*. Microbiólogo Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Bogotá D.C. p.133.
- Morris, S. J. y Blackwood, C. B. 2008. The Ecology of Soil Organisms (Chapter 8). En: Book Soil Microbiology and Biochemistry. Edition Elsevier, Burlington USA. 535p.
- Mosse, B. y Bowen, G.D. 1968. The distribution of Endogone spores in some Australian and New Zeland soils, and in an experimental field soil at Rothamsted. Trans. Br. Mycol. Soc. 51: 485-492.
- Nadian, H., Smith, S.E., Alston, A.M y Murray, R.S. 1997. Effects of soil compaction on plant growth, phosphorus uptake and morphological characteristics of vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization of *Trifolium subterraneum*. New Phytol. 135: 303-311.
- Nadian, H., Smith, S.E., Alston, A.M., Murray, R.S y Siebert, B.D. 1998. Effects of soil compaction on phosphorus uptake and growth of *Trifolium subterraneum* colonized by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytol. 139: 155-165.
- Noguéz, A.M., Arita, H.T., Escalante, A., Forney, L.J., García-Oliva, F. y Souza, V. 2005. Microbial macroecology: highly structured prokaryotic soil assemblages in a tropical deciduous forest. Global Ecol. Biogeo. 14: 241-248.
- NOM- 021 RECNAT (Norma Oficial Mexicana-021-Recursos Naturales) 2002. SEMARNAT.
- Nuñez S., Martínez- Yrizar A., Búrquez A., García-Oliva F. 2001. Carbon mineralization in the southern Sonoran Desert. Acta Oecologica 22: 269-276.
- Oberson, A. y Joner, E. 2005. Microbial turnover of phosphorus in soil. In: B. L. Turner, E. Frossard y D. S. Baldwin (Editors ed.). Organic phosphorus in the environment. CAB International. 133-160 pp.

- Olalde-Portugal, V; Frías, J. T., Aguilar, A.L., Pescador, N. y Aguilar, L.I. 2000. Caracterización microbiológica de suelos de islas de fertilidad de mezquite en ambientes semiáridos. Universidad de Guanajuato. México.
- Oropeza- Orozco. O y Alfaro, G. S. 1997. Vulnerabilidad global de las zonas áridas a la desertificación; Geografía y desarrollo. Revista de Colegio Mexicano de Geógrafos Posgraduados. A.C. 15, México, pp.30-31.
- Paredes, M. C. 2013. Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina
- Parkinson, D. y Coleman, D. C. 1991 Microbial communities, activity, and biomass. Agriculture, Ecosystem and Environment 34, 3-33.
- Paul E. A. y Clark F. E. 1996. Soil microbiology and biochemistry. New York: Academic Press, Inc.
- Perroni, V. Y. 2007. Aspectos Islas de fertilidad en un ecosistema semiárido: Nutrientes en el suelo y su relación con la diversidad vegetal. Tesis de doctorado en ciencias, INECOL.
- Pisabarro, A. G. 2009. Microbiología Clínica 1er .Curso de diplomatura. Curso 2008-2009. Universidad Pública de Navarra Departamento de Producción Agraria Sitio web: <http://www.unavarra.es/genmic/microclinica/Notas%20de%20Micro%20Clinica%202008.pdf>
- Porta-Casanellas, J., López-Acevedo, M. y Roquero De Laburu, C., 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente, Tercera edición; Impreso en España, Ediciones Mundi-prensa, pp.929.
- Putten, W.H. 2005. Plant-soil feedback and soil biodiversity affect the composition of plant communities. In: Bardgett RD, Usher MB, Hopkins DW (eds). Biological diversity and function in soils. Cambridge University Press, UK.
- Ramírez, J.A. y J. Villanueva. 1991. Reforestación con mezquite en la zona media y altiplano potosino. Folleto No. 9. SARH-INIFAP-CIFAP, San Luis Potosí. 20 p.

- Ramírez, G. R. M., Luna, M. B., Mejía, Ch. A., Velázquez, M. O., Tsuzuki, R. G., Vierna, G. L. y Müggenburg, I. 1992. Manual de prácticas de microbiología general. Laboratorio de microbiología experimental. Facultad de Química, UNAM.
- Ramírez, J. A. y Villanueva, J. 1998. Selección y manejo de material reproductivo de mezquite (*Prosopis* spp.). Folleto técnico No. 8. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. San Luis Potosí.
- Ramos, V. E. y Zúñiga, D. D. 2008. Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología Aplicada* 7:2-8.
- Reyes-Reyes, B. G., Barón-Ocampo, L., Cuali- Álvarez, I., Frías Hernández, J.T., Olalde-Portugal, V., Varela-Fregoso, L. y Dendooven, L. 2002. C and N dynamics in soil from the central highlands of Mexico as affected by mesquite (*Prosopis* spp) y huizache (*Acacia tortuoso*): a laboratory investigation. *App Soil Ecol.* 19: 27-34.
- Ríos, G. R. 1985. Laboratorio integral de Biología IV. Practics del modelo de suelo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 117 pp.
- Robinson, D. 2005. Integrated root responses to variations in nutrient supply. En: H.BassiriRad (Ed.) Nutrient acquisition by plants, an ecological perspective. *Ecological Studies*, Vol. 181. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 43-61 pp.
- Rodríguez- Saucedo, E. N., Rojo- Martínez, G. E., Ramírez -Valverde, B., Martínez- Ruiz, R., Cong -Hermida, M. d. I. C., Medina -Torres, S. M. y Piña- Ruiz, H. H. 2014. Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. y Bonpl. ex Willd.) EN MÉXICO. *Ra Ximhai*, 10(3) 173-193.
- Rosenblueth, M., y Martínez, R. E. 2004. Rhizobium etli maize populations and their competitiveness for root colonization. *Arch. Microbiol.* 181: 337–344.
- Rucks, L.; Garcia, F., Kaplán, A., Ponce de León, J. y Hill, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Depto. Suelos y aguas, Facultad de agronomía. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.
- Ruíz, T. D. R. 2011. Uso potencial de la vaina de mezquite para la alimentación de animales domésticos del Altiplano Potosino. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México.

- Rzedowski, J., 1988. Análisis de la distribución geográfica del Complejo *Prosopis* en Norteamérica, Acta botánica Mexicana, num. 3, México.
- Rzedowski, J. 1994. Vegetación de México. Limusa. México, D. F.
- Rzedowski J. y G. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Limusa, México, D.F. 1406 p.
- Salas, G. 1979. La materia orgánica del suelo. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. p 21.
- Sánchez, P. A. 1981. Suelos del trópico: Características y manejo. USA: John Wiley Sons, Inc.
- Schimel, J.P. y Weintraub, M.N. 2003. The implications of exoenzyme activity on microbial C and N limitation in soil: a theoretical model. Soil Biol. Biochem. 35: 549-563.
- Schlesinger WH, Reynolds, J.F., Cunningham, G.L., Huenneke, L.F., Jarell, W.M., Virginia, R.A. y Whitford, W.W.. 1990. Biological feedbacks in global desertification. Science 127: 1043-1048.
- Schwinning, S. y Sala, O.E. 2004. Hierarchy of responses to resource pulses in arid and semi-arid ecosystems. Oecologia 141: 211-220.
- Semmartin, M. Di Bella, C., García de Salamone, I.E. 2010. Grazing-induced changes in plant species composition affect plant and soil properties of grassland mesocosms. Plant and Soil 328: 471-481.
- Siddiqui, Z.A., Akhtar, M.S. 2008. Synergistic effects of antagonistic fungi and a plant growth promoting *rhizobacteria*, an arbuscular mycorrhizal fungus, or composted cow manure on populations of *Meloidogyne incognita* and growth of tomato. Biocontrol Sci. Techn. 18(3):279-290.
- Sierra, C. y Sierra, C. (Sin Fecha). La materia orgánica y su efecto en las características físico-químicas y biológicas del suelo. Chile: INIA.
- Simpson, B. B. y Solbrig, O.T. 1977. Mezquite its biology in two desert scrub ecosystem, Simpson B.B; Dowden, Hutchison and Ros (ed). IncStraudburg, pp. 1-21.
- Sturz, A.V., Christie, B.R. 2003. Beneficial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. Soil & Tillage Res. 72:107-123.



- Singh, R. K., Shuka, R.P., Dwivedi, R. S. 1989. Studies on Fungitoxicity of Oils Against *Aclerotium rolfsii* Sacc. And soil mycoflora. Natinal Acaddemy Science Letters: 12(6), 183-185.
- Swift, M.J., Heal, O.W. y Anderson, J.M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems, Studies in Ecology 5. London: Blackwell Scientific Publications., p. 323.
- Sylvia, D.M y Williams, S.E. 1992. Vesicular arbuscular mycorrhizae and environmental stress. Pp. 101.124. In: Bethlenfalvay GJ and RG Linderman (Eds.). Mycorrhizae in sustainable agriculture. ASA-SpecialPublication No. 54.
- Tate III, R.L. 1995. Soil microbiology. John Wiley y Sons, New York, USA.
- Thomson, B., Ostle, N., McNmara, N., Bailey, M., Whiteley, A., Griffiths, R. 2010. Vegetation affects the relative abundances of dominant soil bacterial taxa and soil respiration rates in an upland grassland soil. Microbial Ecology 59: 335-343.
- Toledo, V.M. y Ordoñez, Ma. 1998. El panorama de la Biodiversidad de México: una revisión de los hábitats terrestres. Instituto de Biología, UNAM. México.
- Torres, D., Rodríguez, N., Yendis, H., Florentino, A. y Zamora, F. 2006. Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, estado Falcón, Venezuela. Bioagro 18(2): 123-128.
- Valenzuela, N., Trucíos C., R., Rios, S., J. C., Sosa, P., G. y González, B., J. L. 2011. Caracterización dasométrica y delimitación de rodales de mezquite en el Estado de Coahuila. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17 (3). 87-96.
- 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 Tehuacán Valley, México. Journal of Ecology 79:961-971.
- Valiente-Banuet, A. 1996. La conservación de los desiertos: un desafío, Ocelotl Revista Mexicana de la conservación PRONATURA 4:34-37.
- Van der Heijden, M.G.A., Klironimos, J.N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engle, R., Boller, R., Weimkeny, A. y Sanders, I.R. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity ecosystem variability and productivity. Nature 396: 69-72.

- Varnero, M. T. 2006. Biodiversidad de Chile: Patrimonio y Desafíos. Chile: CONAMA.
- Vazquez, P., Holguin, G., Puente, M.E., López-Cortes, A. y Bashan, Y. 2000 Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of mangroves in a semiarid coastal lagoon. *BiolFertil Soils* 30: 460-468.
- Villanueva, J. D. 1993. Distribución actual y características ecológicas del mezquite (*Prosopis laevigata* H. y B. Johnst.), en el estado de San Luis Potosí. INIFAP. México, D.F.
- Villanueva, J., Jasso, R., Gonzalez, G., Sanchez, I. y Potisek, M.C. 2004. El mezquite en la Comarca Lagunera: Alternativa de producción integral para ecosistemas desérticos. Folleto Científico No. 14. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango, México. 35 p.
- Virginia, R.A., Jenkins, M.B. y Jarrel, W.M. 1986. Depth of root symbiont occurrence in soil. *Biol. Fert. Soil* 2: 127-130.
- Vitousek, P. 2004. Nutrient cycling and limitation; Hawai'i as model system. Princeton: University press, Princeton.
- Volke -Sepúlveda, T., Velasco-Trejo, J.A. y de la Rosa Pérez, D.A., 2005. Suelos Contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación, Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México, D.F. 19-31pp.
- Waldrop, M.P., Balser, T. y Firestone, M.K. 2000. Linking microbial community composition to function in a tropical soil. *Soil Biol. Biochem.* 32: 1837-1846.
- Walter, H. y Stadelmann, E. 1974. A new approach to water relations of desert plants. En: G. W. Brown (ed.). *Desert Biology. Volume II.* Academic Press, New York, EE.UU.
- West, N.E. y Skujiņš, J. (eds). 1978. Nitrogen in desert ecosystems. US/IBP Synthesis Series 9, Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg.
- Wilson, J.M. 1984. Competition for infection between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 97: 427-482.

- Whitford, W.G. 1986. Decomposition and nutrient cycling in deserts. 93-118.pp En: WG Whitford (Ed.). Pattern and process in desert ecosystems. University of New Mexico Press. Albuquerque.
- Wooding, G. 1967. Los Suelos, Su Origen, Constitución y Clasificación, Ediciones Omega S.A. Barcelona. McGraw-Hill Interamericana quinta edición 2005 impreso en México 731-739 pp.
- Yasir, M., Aslam, Z., Kim, S.W., Lee, S.W., Jeon, C.O. Chung, Y.R. 2009. Bacterial community composition and chitinase gene diversity of vermicompost with antifungal activity. *Bioresource Technology*. 100:4396- 4403.
- Younis, M.T., Gilabert, M.A y Mélia, J. 1999. La dinámica de la vegetación como indicador de la desertificación en la Cuenca del Guadalentín, SE España. *Revista de Teledetección* 12: 1-4.
- Zamora, F., Mogollón, J.P. y Rodríguez, N. 2005. Cambios en la biomasa microbiana y la actividad enzimática inducidos por la rotación de cultivos en un suelo bajo producción de hortalizas en el estado Falcón, Venezuela. *Multiciencias* 5(1): 62-70.
- Zak, J.C., Sinsabaugh, R. y MacKay, W.P. 1995. Windows of opportunity in desert ecosystems: their implications to fungal development. *Canadian Journal of Botany* 73 (supplement 1): 1407-1414.
- Zuberer, D.A. 1994. Recovery and enumeration of viable bacteria, p. 119-144. In R.W. Weaver (ed.). *Methods of soil analysis, part 2: microbiological and biochemical properties*. SSSA Book series: 5. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, EE.UU.

## ANEXO I

### Medios de cultivo

#### Agar nutritivo

Ingredientes	(g/L)
Peptona de caseína	5.0
NaCl	8.0
Extracto de carne	3.0
Agar	15.0
pH	6.5-7.0

#### Agar papa-dextrosa (PDA)

Ingredientes	(g/L)
Glucosa	20.0
Extracto de papa	4.0
Agar	15.0
pH	5.6

Esterilizar en autoclave a 121°C durante 15 minutos

## ANEXO II

### ALTURA

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura	46	0,64	0,61	32,34

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	36,06	3	12,02	24,61	<0,0001
Especie-sitio	36,06	3	12,02	24,61	<0,0001
Error	20,51	42	0,49		
Total	56,57	45			

#### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.78295

Error: 0.4884 gl: 42

Especie-sitio	Medias	n	E.E.	
MS	1,38	13	0,19	A
MT	1,40	13	0,19	A
PT	2,98	10	0,22	B
PS	3,34	10	0,22	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### COBERTURA

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Cobertura	46	0,36	0,31	101,41

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1628,43	3	542,81	7,80	0,0003
Especie-sitio	1628,43	3	542,81	7,80	0,0003
Error	2923,54	42	69,61		
Total	4551,97	45			

#### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=9.34707

Error: 69.6080 gl: 42

Especie-sitio	Medias	n	E.E.	
MS	3,07	13	2,31	A
MT	3,35	13	2,31	A
PT	12,25	10	2,64	A B
PS	17,24	10	2,64	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## UFC BACTERIAS HETEROTROFAS

### Análisis de la varianza

#### UFC SECAS

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
UFC SECAS	28	0,34	0,26	131,63

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	60199896956,11	3	20066632318,70	4,15	0,0167
ESPECIE	60199896956,11	3	20066632318,70	4,15	0,0167
Error	115944250016,57	24	4831010417,36		
Total	176144146972,68	27			

#### Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=102488,48657

Error: 4831010417,3571 gl: 24

ESPECIE	Medias	n	E.E.
PT	16491,43	7	26270,60 A
PS	19238,71	7	26270,60 A
MS	44656,29	7	26270,60 A B
MT	130832,00	7	26270,60 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

#### UFC LLUVIAS

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
UFC LLUVIAS	28	0,47	0,41	70,42

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	15172777219,43	3	5057592406,48	7,15	0,0014
ESPECIE	15172777219,43	3	5057592406,48	7,15	0,0014
Error	16983532891,43	24	707647203,81		
Total	32156310110,86	27			

#### Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=39225,13893

Error: 707647203,8095 gl: 24

<u>ESPECIE</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
MT	10697,14	7	10054,47	A	
MS	19219,14	7	10054,47	A	B
PT	55680,00	7	10054,47	B	C
PS	65513,43	7	10054,47		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

## SECAS VS LLUVIAS

### Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
UFC	56	0,37	0,28	116,19

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	78534099516,98	7	11219157073,85	4,05	0,0015
ESPECIES	78534099516,98	7	11219157073,85	4,05	0,0015
Error	132927782908,00	48	2769328810,58		
Total	211461882424,98	55			

### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=89120,46994

Error: 2769328810,5833 gl: 48

<u>ESPECIES</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
MT2	10697,14	7	19890,16	A	
PT1	16491,43	7	19890,16	A	
MS2	19219,14	7	19890,16	A	
PS1	19238,71	7	19890,16	A	
MS1	44656,29	7	19890,16	A	B
PT2	55680,00	7	19890,16	A	B
PS2	65513,43	7	19890,16	A	B
MT1	130832,00	7	19890,16		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

## BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFORO

### UFC SECAS

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
UFC SECAS	17	0.29	0.13	21.39

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	254043.45	3	84681.15	1.78	0.1997
ESPECIE	254043.45	3	84681.15	1.78	0.1997
Error	616962.67	13	47458.67		
Total	871006.12	16			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=449.13411**

Error: 47458.6667 gl: 13

ESPECIE Medias n E.E.

PS	962.00	6	88.94	A
PT	962.00	3	125.78	A
MS	962.00	5	97.43	A
MT	1282.67	3	125.78	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### UFC LLUVIAS

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
UFC LLUVIAS	17	0.54	0.43	47.60

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	17386194.47	3	5795398.16	5.04	0.0156
ESPECIE	17386194.47	3	5795398.16	5.04	0.0156
Error	14947022.00	13	1149770.92		
Total	32333216.47	16			



**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2210.67009**

Error: 1149770.9231 gl: 13

ESPECIE	Medias	n	E.E.	
PT	982.00	3	619.08	A
MS	1964.00	5	479.54	A
PS	2127.67	6	437.75	A B
MT	4255.33	3	619.08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p &gt; 0.05)

**BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFORO SECAS VS LLUVIAS****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	30588600.39	7	4369800.06	7.30	0.0001
ESPECIE	30588600.39	7	4369800.06	7.30	0.0001
Error	15563984.67	26	598614.79		
Total	46152585.06	33			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1787.65808**

Error: 598614.7949 gl: 26

ESPECIE	Medias	n	E.E.	
PS1	962.00	6	315.86	A
MS1	962.00	5	346.01	A
PT1	962.00	3	446.70	A
PT2	982.00	3	446.70	A
MT1	1282.67	3	446.70	A
MS2	1964.00	5	346.01	A
PS2	2127.67	6	315.86	A
MT2	4255.33	3	446.70	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p &gt; 0.05)

## pH

### Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
pH	24	0.83	0.81	8.70

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	27.27	3	9.09	33.28	<0.0001
ESPECIE	27.27	3	9.09	33.28	<0.0001
Error	5.46	20	0.27		
Total	32.74	23			

### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.84458

Error: 0.2732 gl: 20

<u>ESPECIE</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
MT	4.94	6	0.21	A
PT	4.99	6	0.21	A
PS	6.74	6	0.21	B
MS	7.36	6	0.21	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

## MATERIA ORGANICA Y CARBONO ORGANICO

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
% MO	36	0.12	0.04	29.13

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	33.33	3	11.11	1.49	0.2359
ESPECIE	33.33	3	11.11	1.49	0.2359
Error	238.62	32	7.46		
Total	271.95	35			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.48773**

Error: 7.4570 gl: 32

ESPECIE Medias n E.E.

PS	8.18	9	0.91	A
MT	8.68	9	0.91	A
PT	10.22	9	0.91	A
MS	10.42	9	0.91	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## NITROGENO

### Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
Nitrógeno total (mg kg-1)	36	0.07	0.00	57.12

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	0.05	3	0.02	0.78	0.5150
ESPECIE	0.05	3	0.02	0.78	0.5150
Error	0.68	32	0.02		
<u>Total</u>	<u>0.73</u>	<u>35</u>			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.18613**

Error: 0.0212 gl: 32

ESPECIE Medias n E.E.

MT	0.20	9	0.05	A
PT	0.24	9	0.05	A
MS	0.27	9	0.05	A
PS	0.31	9	0.05	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## FÓSFORO

### Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
[P]	36	0.27	0.21	13.05

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	5.54	3	1.85	4.03	0.0154
ESPECIE	5.54	3	1.85	4.03	0.0154
Error	14.67	32	0.46		
<u>Total</u>	<u>20.22</u>	<u>35</u>			

### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.86491

Error: 0.4586 gl: 32

ESPECIE Medias n E.E.

PS	4.76	9	0.23	A
PT	4.95	9	0.23	A B
MS	5.26	9	0.23	A B
<u>MT</u>	<u>5.79</u>	<u>9</u>	<u>0.23</u>	<u>B</u>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )