



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

---

**“COMPARACIÓN DE LA COMUNIDAD DE AMEBAS DESNUDAS  
DE VIDA LIBRE DE LA ZONA DE RAÍCES DE *Prosopis laevigata* Y  
*Parkinsonia praecox* EN EL VALLE DE ZAPOTITLÁN DE LAS  
SALINAS, PUEBLA”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**BIÓLOGO**

PRESENTA:

**HORACIO PÉREZ JUÁREZ**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. SALVADOR RODRÍGUEZ ZARAGOZA**

**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

Tlalnepantla Estado de México, 2010.





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.

**Este proyecto fue financiado por la DGAPA con los recursos otorgados al proyecto PAPIIT IN221709**

# ÍNDICE

1. Resumen.....	3
2. Introducción.....	4
3. Antecedentes.....	15
4. Justificación.....	19
5. Pregunta.....	20
6. Hipótesis.....	21
7. Objetivos.....	22
8. Área de estudio.....	23
9. Materiales y Métodos.....	27
10. Resultados.....	31
11. Discusión.....	49
12. Conclusiones.....	61
13. Referencias.....	62
14. Anexo.....	69

# RESUMEN

---

El suelo es un sistema heterogéneo donde la presencia y distribución de los microorganismos están afectadas por su microambiente inmediato. Esta heterogeneidad de los factores bióticos y abióticos del suelo es lo que determina la distribución y la abundancia de los organismos. El objetivo de este estudio fue determinar la composición de la comunidad de amebas desnudas de vida libre y caracterizar fisicoquímicamente los microambientes de la zona de raíces de *Prosopis laevigata* y *Parkinsonia praecox* en un gradiente de profundidad, de una terraza degradada del valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, durante un periodo de sequía. La familia *Vahlkampfiidae* es la que presenta mayor frecuencia de aparición, dentro de esta familia, el género *Vahlkampfia* está representado por 8 sp, el género *Tetramitus* y *Adelphamoeba* sólo con una especie cada una y los géneros *Filamoeba*, *Mayorela*, *Nuclearia*, *Stachyamoeba*, *Vampirella*, *Vanella*, son las especies con menor frecuencia de aparición, en total se encontraron: 7 familias, 11 géneros y 31 especies. El microambiente en el que se encontró mayor riqueza de especies de amebas de vida libre fue en *Parkinsonia praecox*, que puede ser consecuencia de mejores condiciones microambientales. Los tres microambientes muestran diferencias en cuanto a riqueza de especies y en los parámetros fisicoquímicos. Los resultados de MANOVA ( $\alpha = 0.05$ ) indican que los nitratos y el pH no presentan diferencias significativas ni entre microambientes, ni entre profundidades y, la humedad, la salinidad, la materia orgánica y los ortofosfatos fueron significativamente diferentes entre microambientes. Por otra parte se encontró que la capacidad de campo sólo presentó diferencias significativas entre profundidades. También se observó que salinidad/nitratos y materia orgánica/ortofosfatos son variables que se encuentran correlacionadas positivamente. Finalmente podemos concluir que cada microambiente sí determina

la heterogeneidad de la riqueza de especies. *P. praecox* también tiene condiciones que favorecen el establecimiento de más especies de AVL en comparación con los otros dos microambientes y, el suelo desnudo presentó una pobre presencia de microorganismos en las profundidades de 10-20 cm y 20-30 cm.

# 1. INTRODUCCIÓN

## EL SISTEMA SUELO

El suelo es un sistema heterogéneo donde la presencia y distribución de los microorganismos están afectadas por su microambiente inmediato (Li, *et al.*, 2004). El suelo está constituido de partículas de varios tamaños y características químicas, de las raíces de las plantas, de los microorganismos del suelo y un componente de la materia orgánica en varios estados de descomposición, además de gases, agua y minerales disueltos (Atlas & Bartha, 2006; Paul & Clark, 1989). Los nutrientes del suelo (entre ellos el P y el N), al igual que los factores como el pH, cantidad de materia orgánica, la aireación, la humedad, entre otras, son características fisicoquímicas del suelo muy importantes para el desarrollo de los macro y microorganismos que allí habitan, en suma, estos factores fisicoquímicos forman los microambientes donde viven los organismos del suelo (González-Ruiz, 2008).

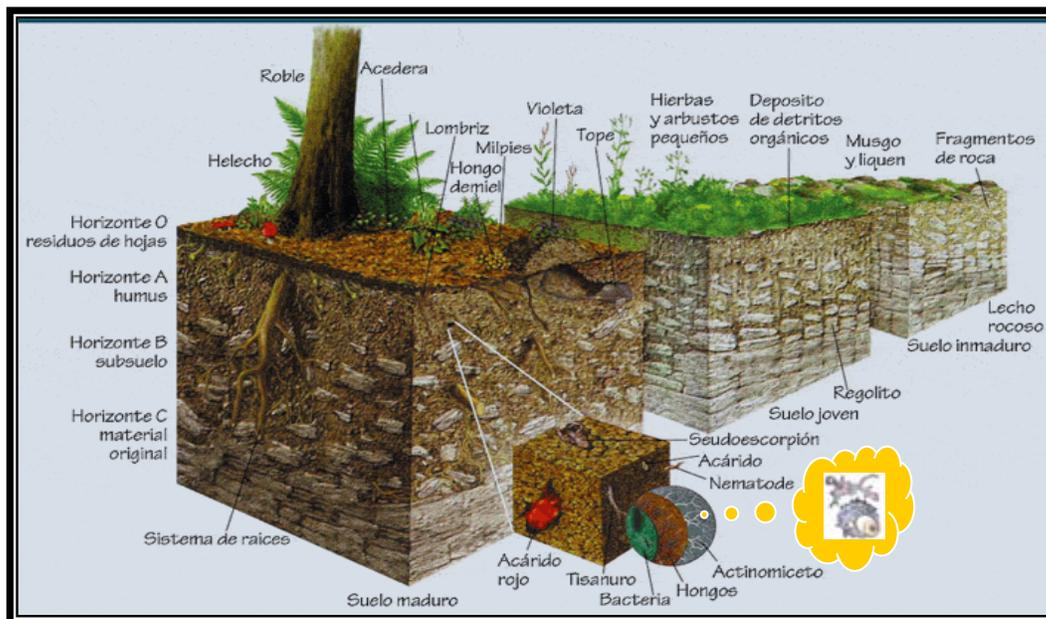


Figura 1: Muestra los elementos que constituyen al suelo.

## Microambientes

Los estudios ecológicos requieren un poco de conocimiento sobre y alrededor de los ambientes en una escala relativa a la dimensión del organismo involucrado, en la ecología microbiana del suelo, conocer sobre los ambientes en las microescalas es muy importante. Definimos al ambiente como la suma de todos los factores bióticos y/o abióticos que envuelven a un organismo y, a su vez, los organismos también participan en la génesis del hábitat donde viven, ya que la composición orgánica es el producto de la actividad biológica, y supone el paso de materia orgánica a través de las redes alimentarias del detritus, que se sustenta principalmente por los tejidos de plantas muertas y exudados de la raíz (Darbyshire, 1994; Paul & Clark, 1989; Banforth, 1981). El suelo consiste de materia mineral, las raíces de las plantas, la biomasa animal y microbiana, materia orgánica en varios estados de descomposición, también contiene agua y una atmósfera gaseosa. La distribución irregular de estos componentes ofrece una gran variedad de condiciones y de microambientes en todos los niveles y escalas, desde el campo hasta los microporos, y ofrece un desafío a todos los que trabajan el suelo para estudiar su composición y función (Killham, 1994). La estructura también es un factor en la composición de los microambientes del suelo; la porosidad del suelo tiene una mayor influencia en las concentraciones del oxígeno y la distribución de los microorganismos. Los poros de 2 a 10  $\mu\text{m}$  retienen agua por capilaridad formando un microambiente casi anaerobio que resulta en una gran abundancia de amebas; la composición de los poros del suelo y de la superficie de los agregados son muy distintas (Rodríguez-Zaragoza, 1994). En el caso de la materia orgánica, también es un factor que determina la estructura del suelo y se encuentra en las partes muertas de las plantas y animales, o en el humus y en los ácidos húmicos. El total de la materia orgánica la podríamos dividir por porcentajes, el 85% es materia muerta, 10% raíces, bacterias y hongos, y el 1% corresponde a la fauna del suelo entre ellas las amebas desnudas de vida libre (AVL) (Banforth, 1985). Los microorganismos también pueden atraer arcillas y

materia orgánica a su superficie y, algunos polisacáridos que ellos producen, ayudan a formar agregados del suelo con partículas minerales. Esta estructuración del suelo también, permite la infiltración del agua y el paso del oxígeno, sin embargo, la cantidad de oxígeno en el interior del suelo depende de su solubilidad en agua para su difusión posterior a través de un espacio subterráneo (Rodríguez-Zaragoza, 1994). El pH dentro y fuera de los microambientes es importante, pero también puede haber cambios críticos de pH en los microambientes durante periodos de fuerte actividad biológica (Cambell, 1983). El papel del pH en la distribución microbiana es muy compleja porque éste tiene un amplio rango de efectos en la disponibilidad de los nutrientes para los microorganismos (Tomescu, 1985). En suma, un amplio espectro de interacciones físicas y factores químicos, contribuyen a la variedad natural del hábitat suelo y, a consecuencia de esto, se determina la composición y actividad de la biota del mismo en un lugar y tiempo particular (Killham, 1994). Además de las interacciones con los elementos presentes en el suelo, las raíces también determinan las propiedades de éste, debido a las relaciones que se llevan a cabo en la rizósfera y por las aportaciones que hacen al sistema.

## Zona de raíces

Las raíces son parte fundamental del sistema suelo y los procesos que son ampliamente controlados o directamente influenciados por las raíces, son referidos como procesos de la rizósfera. Estos procesos son esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, tal como es el caso de la descomposición de la materia orgánica y la mineralización del nitrógeno (Cheng, 2009).

La rizósfera puede ser definida como la zona del suelo alrededor de la raíz de la planta por el que sus características están influenciadas por la presencia y la actividad de la raíz, convirtiendo a la rizósfera es un ambiente complejo donde las raíces interactúan con las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Las características estructurales y funcionales de las raíces, contribuyen en los

procesos de la rizósfera, y ambas tienen una influencia significativa en la capacidad de las raíces para adquirir nutrientes. Las raíces también interactúan con los microorganismos del suelo que influyen sobre la nutrición de las plantas, ya sea directamente participando en la disponibilidad de los nutrientes y la absorción, o indirectamente a través de las plantas (raíz) promoviendo su crecimiento (Richardson *et al.*, 2009).

Las raíces de las plantas tienen influencia directa sobre la diversidad de microorganismos de la rizósfera. Esta influencia depende del tipo de exudados radiculares de cada planta, lo cual proporciona ciertas condiciones ambientales al suelo, y permiten el establecimiento de diferentes especies que facilitan el aprovechamiento de los nutrimentos por las plantas (Atlas, 1995).

Por otra parte, los microorganismos de la rizósfera pueden promover el crecimiento de las plantas o su detrimento, causándoles enfermedades o la muerte. También pueden actuar como saprofitos que descomponen la materia orgánica y realizan los procesos de mineralización y reciclaje de nutrientes en el suelo; en este caso, muchos de estos microorganismos pueden no interactuar directamente con las plantas, pero sus efectos en los parámetros bióticos y abióticos del suelo, tienen un impacto en el crecimiento de las plantas (Buée *et al.*, 2009).

## LOS ORGANISMOS DEL SUELO

### La mesofauna

La microbiología del suelo incluye el estudio no solo de la microflora, sino también de muchos pequeños animales multicelulares habitantes del suelo, tales como nemátodos, insectos pequeños y larvas de insectos (Paul & Clark, 1989). Por décadas, el término “fauna de la rizósfera” ha sido usado como un sinónimo para denotar las enfermedades en la agricultura provocadas por los herbívoros de las raíces principalmente los nemátodos, ya que todos estos organismos viven en el suelo y parasitan a plantas (Bonkowski *et al.*, 2009), sin embargo, la importancia de la mesofauna, también está en el relativo acomodo del suelo, y en el efecto de las propiedades físicas y químicas del sistema, además del detritus y en la

---

*“Comparación de la comunidad de amebas desnudas de vida libre de la zona de raíces de Prosopis laevigata y Parkinsonia praecox en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla”.*

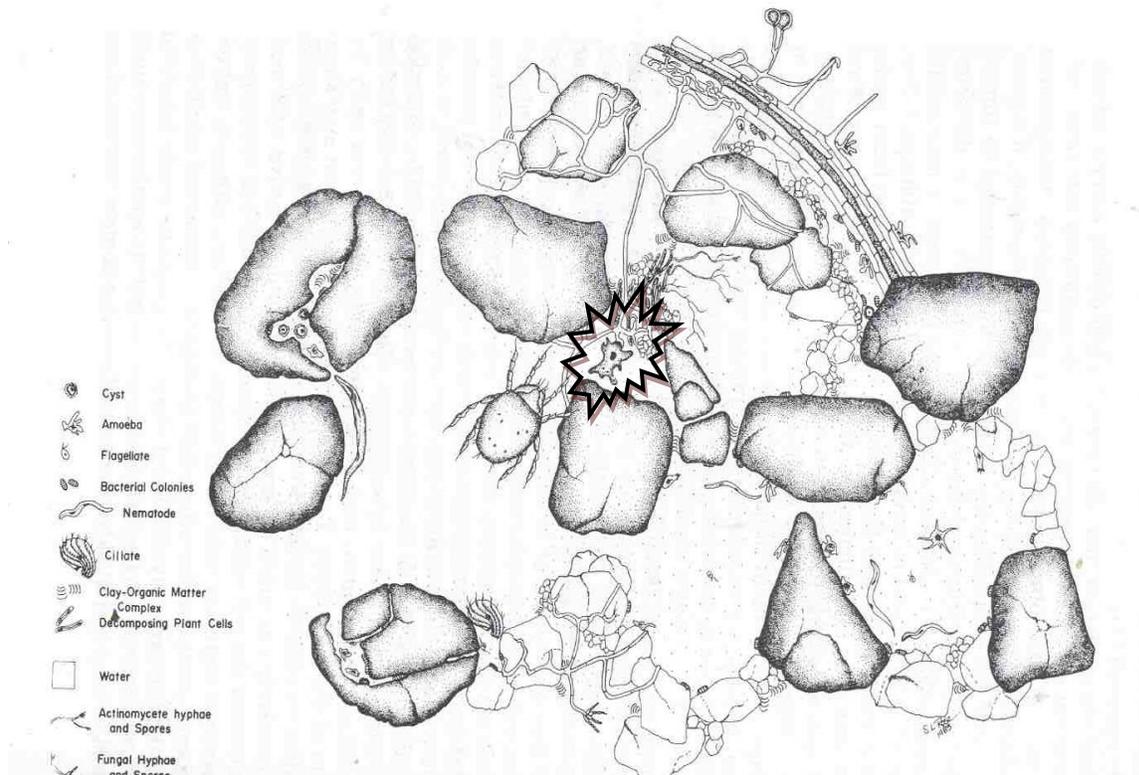
estructura de las comunidades microbianas, ya que ellos, por ejemplo, transportan materia orgánica a las capas más profundas del suelo, además de que participan con pequeñas fragmentaciones, cambiando el acomodo de los agregados, permitiendo el intercambio gaseoso y el flujo del agua y de nutrientes (Paul & Clark, 1989). Su voracidad también estimula el ritmo de crecimiento de microorganismos determinando la estructura de las comunidades de la microfauna función que comparten con los protozoos (Brussaard, 2007).

## Los microorganismos del suelo

La importancia de los microorganismos en ambientes naturales deriva de su cantidad, diversidad y, sobre todo, de su gran espectro de actividades que, en la mayoría de los casos, repercuten en los otros seres vivos con los cuales comparten un determinado hábitat. Concretamente en el suelo, los microorganismos desarrollan una amplia gama de acciones que inciden en el desarrollo y nutrición vegetal (Barea y Olivares, 1998).

Las interacciones entre las raíces de la planta y los microorganismos del suelo son ubicuos, de un lado a otro y en varios niveles tróficos, y son un componente esencial en la función de los ecosistemas. Las interacciones microbianas con las raíces puede incluir microorganismos endofíticos o de vida libre, pueden tener alguna relación simbiótica (estar asociados) o en estado casual (Richardson *et al.*, 2009). Los microorganismos del suelo están divididos en grandes grupos y cuentan con características y funciones particulares, estos grupos serán descritos brevemente:

Los virus son las entidades biológicas más abundantes en la tierra. Los fagos contribuyen de un 20% a un 40% de la mortalidad bacteriana y, por lo tanto, son una fuerza conductora de los ciclos biogeoquímicos de nutrientes (Buée *et al.*, 2009).



**Figura 2** Muestra los diferentes organismos del suelo la cual representa aproximadamente un  $\text{cm}^2$  de la estructura del microambiente del suelo (tomado de Paul & Clark, 1989).

Los fagos actúan como vectores de la transferencia horizontal de genes, contribuyendo a la evolución genómica bacteriana, sin embargo pocos estudios describen la diversidad de fagos y su impacto en los suelos; incluso se sabe muy poco de su función en la rizósfera (Canchaya *et al.*, 2003; Buée *et al.*, 2007).

Las bacterias son los microorganismos más numerosos en el suelo, y algunos de los géneros más importantes en este sistema son *Arthrobacter*, *Streptomyces*, *Pseudomonas*, *Cyanobacteria* (Paul & Clark, 1989). Las bacterias rizosféricas, conocidas en la literatura como *PGPR* (del inglés "Plant Growth Promoting Rhizobacteria"), desempeñan funciones importantes para las plantas

(solubilización de fosfatos, fijación de nitrógeno y control biológico de patógenos, ayudan a formar agregados dándole estructura al suelo), al facilitar la emergencia o el enraizamiento. Además, se conoce que bacterias fijadoras de nitrógeno y los hongos micorrízicos, son los componentes más destacados entre los simbioses mutualistas.

Los hongos de tipo micorriza arbusculares (VAM), una vez que colonizan la raíz desarrollan un micelio externo que la conecta con los variados micro habitats del suelo, permitiendo una mayor disponibilidad de producto del metabolismo de la planta, además ofrecen protección frente a estrés biótico y abiótico (Atlas & Bartha, 2006).

Cianobacterias y Algas. Las cianobacterias, formalmente conocidas como algas verde-azules y algas verdes, son organismos fotosintetizadores del suelo; son más abundantes en la superficie del suelo, donde hay suficiente luz para la fotosíntesis. La contribución de estos organismos a la producción primaria neta no es clara (Wood, 1995).

Estos son algunos de los grupos que podemos encontrar en el suelo, además de los protozoarios, que son microorganismos a los que se les ha restado importancia, pero que cumplen un papel fundamental debido a las funciones que desempeñan dentro del sistema (Atlas & Bartha, 2006).

## Los protozoos

Los protozoos son en gran medida los organismos fagotróficos más abundantes que viven en el suelo (Esteban, *et al.*, 2006). Aunque los protozoarios son un importante componente de la biota del suelo, hay pocos estudios que reportan la abundancia y composición de la comunidad de éstos en suelos de las regiones áridas (Rodríguez-Zaragoza, 2007); pero se sabe que la abundancia de los protozoos en el suelo, depende directamente del número de bacterias, lo que nos hace suponer, que los protozoos se encuentran distribuidos de manera heterogénea en el suelo, de igual manera que las bacterias (Tomescu, 1985; Garbeva, *et al.*, 2004). Los protozoarios del suelo comparten dos funciones

---

*"Comparación de la comunidad de amebas desnudas de vida libre de la zona de raíces de Prosopis laevigata y Parkinsonia praecox, en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla".*

fundamentales en el suelo: primero, son importantes depredadores de bacterias y otros microorganismos y, esta actividad de ramoneo, aparece para estimular el ritmo del ciclo del nitrógeno y del carbono en el suelo (Esteban, *et al.*, 2006). Segundo, son el eslabón que une a la microfauna con la mesofauna, ya que sirven de alimento a otros organismos como nemátodos y oligoquetos, además, son responsables del 70% de la respiración animal del suelo, por lo que son muy importantes para la nutrición de los invertebrados y además, su ausencia, puede retardar en varios meses la descomposición de la hojarasca (Couteaux & Darbyshire, 1998; Foissner, 1999). A los protozoos los podemos separar en cinco grupos, basándonos en su morfología. Estos grupos son: ciliados, flagelados, esporozoarios, amebas testadas y amebas desnudas (Paul & Clark, 1989), este trabajo está dirigido hacia este último grupo las ADVL.

### Las amebas de vida libre (AVL)

Las AVL viven en un amplio rango de ambientes, además de que se encuentran en la interfase: suelo-agua, animal-agua, plantas-agua, aire-agua, etc., donde ellas se alimentan de bacterias, hongos, algas, y algunos protozoos incluidas otras amebas (Rodríguez-Zaragoza, 1994). La composición particular de las especies y su número, dependerá de la adecuación de las AVL a cada uno de los factores bióticos y abióticos de los ambientes; además, la propagación de las especies, depende de esta capacidad para sobrevivir a condiciones adversas. Las AVL han desarrollado dos estrategias principales: formando quistes y reproduciéndose (Fenchel, 1987). Al formar quistes las amebas pueden sobrevivir durante largos periodos de escases de comida, sin embargo, ellas no pueden tomar ventaja del entorno hasta que la cantidad de alimento es suficiente para activar los procesos de exquistación (Rodríguez-Zaragoza, 1994).

Las amebas desnudas de vida libre son grandes depredadores que controlan el crecimiento de las comunidades bacterianas, de hongos, algas, entre otros, siendo muy importantes en el proceso de fijación de los nutrientes, ya que liberan los nutrientes fijados en la biomasa bacteriana y de otros microorganismos mediante

la depredación, por lo que éstos quedan disponibles a los siguientes niveles tróficos, lo cual repercute en la nutrición vegetal. Por tales motivos, una disminución en la riqueza de especies de amebas puede retroalimentar negativamente la productividad vegetal y promover el proceso de degradación del suelo y la formación de tierras malas (Rodríguez-Zaragoza *et al.*, 2005),

## DEGRADACIÓN DEL SUELO

Por definición, la degradación del suelo es la pérdida de la capacidad del suelo para mantener su biomasa. Una causa de esta pérdida es el uso inadecuado y la sobre explotación del suelo mediante la agricultura.

Cuando el suelo es utilizado para la agricultura, puede iniciarse el proceso de deterioro de los mismos, debido a la pérdida de los nutrientes, a la exportación de la biomasa, a la volatilidad de la materia orgánica y al lavado de los elementos minerales hacia las partes más profundas del suelo o hacia los arroyos y cursos de agua, eliminándose así del sistema (Rodríguez-Zaragoza, 1994). De esta manera, cuando hablamos del deterioro y de la degradación del suelo, inevitablemente tenemos que mencionar a los microorganismos como pieza indispensable para el funcionamiento de este sistema. Esta degradación o pérdida de los microorganismos, o de todos y cada uno de los elementos que componen este sistema, ya sea por acción del hombre o como un proceso natural, conduce a la formación de tierras malas.

### Tierras malas

Las tierras malas son definidas como áreas de poco o nulo valor económico desprovistas de vegetación, densamente disecadas, donde el suelo ha desaparecido o perdido su fertilidad. El efecto combinado del clima y el uso de las tierras malas evita la formación del suelo o la recuperación de la fertilidad y la erosión prevalece (Fairbridge, 1968). Aunque la formación de tierras malas es un proceso natural, la mala planeación para la utilización de la tierra y el uso desconsiderado del suelo, pueden provocar una aceleración de este proceso natural, y favorecer la degradación.

---

*“Comparación de la comunidad de amebas desnudas de vida libre de la zona de raíces de *Prosopis laevigata* y *Parkinsonia praecox*, en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla”.*

## ZONAS ÁRIDAS

Las regiones áridas son un sistema de gran importancia para la población mundial, los suelos de las regiones secas representan el 32% de los suelos del planeta y albergan alrededor de dos mil millones de personas en todo el mundo, muchos de esos habitantes son pastores de ganado y pequeños agricultores (FAO, 2003).

Las zonas áridas ocupan gran parte del territorio mexicano, poseen una gran riqueza biológica con un alto porcentaje de plantas y animales endémicos, poseen un elevado potencial productivo y se hayan densamente pobladas por comunidades humanas que constantemente hacen uso de los recursos que este tipo de ecosistemas les ofrece (INE- SEMARNAP, 1997).

Una región semiárida especialmente importante es la reserva de la biosfera de Tehuacán-Cuicatlán que tiene una extensión de 10 000 km<sup>2</sup> y sostiene aproximadamente 3000 especies de plantas, de las cuales alrededor del 30 % son endémicas. También es estimado que posiblemente sea la zona árida de Norteamérica con mayor diversidad (Dávila, 2003). Por lo que el estudio y entendimiento de los procesos que aquí se llevan a cabo son de vital importancia para la conservación de este sistema.



**Figura 3** Terraza aluvial degradada de Zapotitlán de las Salinas, Puebla.

---

## 2. ANTECEDENTES

---

Existen estudios donde se explica la importancia de los microorganismos en la conservación del suelo, además de los patrones temporales y espaciales que pueden afectar a las comunidades de este sistema, como se muestra a continuación.

**Shamir & Steinberger en el 2006** realizaron un estudio sobre la distribución vertical y la actividad de las poblaciones microbianas del suelo en un ecosistema del desierto de arena. Ese estudio fue hecho para determinar el efecto de *Tamarix aphylla* en la dinámica temporal y espacial de la comunidad microbiana del suelo. El suelo muestreado fue colectado de 0 a 50 cm de profundidad en intervalos de 10 cm, durante cuatro estaciones. En cuanto a la humedad, sí hubo diferencias entre estaciones y entre las profundidades de ambos microambientes; en el caso de la materia orgánica, se encontró la mayor cantidad de MO en el mes de febrero, en una profundidad de 10 a 20 cm en suelos con planta; en general, el contenido de materia orgánica en el suelo fue influido por la planta. También hubo diferencias significativas entre estaciones y entre profundidades. En cuanto al nitrógeno soluble total, se encontraron diferencias significativas entre estaciones y entre las profundidades; en el caso de las plantas no se encontró diferencias significativas entre las profundidades pero sí entre estaciones. En cuanto a la biomasa microbiana no hubo diferencias a lo largo del perfil vertical; en el control sólo hubo una ligera diferencia de 0 a 10 cm comparado con 40 a 50 cm, los máximos valores fueron encontrados en otoño y el valor mínimo en invierno. Por último la biomasa microbiana se encontró significativamente afectada por la temporalidad. En conclusión, estos resultados muestran que la actividad microbiana del suelo en este desierto reacciona rápidamente a los cambios

temporales y espaciales en las condiciones abióticas, y esos cambios pueden ser explicados por las diferencias en la biomasa microbiana.

**Rodríguez-Zaragoza y colaboradores en el 2005** realizaron un estudio sobre la distribución vertical de la población de las ADVL en el suelo bajo los arbustos del desierto en el Negev, Israel, para examinar ésta en la dinámica de ADVL en el suelo árido. Las muestras de suelo de 0 a 50 cm de profundidad se recogieron en intervalos de 10 cm en cada una de las cuatro estaciones. La distribución vertical de los cuatro principales tipos morfológicos de amebas, agrupados de acuerdo con su movilidad, fue medido bajo la cobertura de los arbustos *Hammada scoparia* y *Atriplex halimus*. El resultado obtenido del estudio de campo demostró que el número total de protozoos fue significativamente mayor durante la época húmeda (invierno y primavera) que durante la estación seca. La población de protozoarios fue más diversa bajo la cobertura de *H. scoparia* durante las estaciones húmedas, mientras que durante la estación seca, las poblaciones fueron mayores bajo el dosel de *A. halimus*. La población de protozoos en las capas más profundas (40 a 50 cm) resultó ser tan activa como en las capas superiores, lo que demuestra que, en el desierto, las columnas de suelo por debajo de 20 cm son fértiles y dignas de estudio. Las amebas del tipo 1 (por ejemplo, *Acanthamoeba sp* y *Filamoeba*.) fueron las más abundantes durante todo el período de estudio, y sus números fueron significativamente más altos que los otros tipos de amebas.

**González-Lozano & Rodríguez-Zaragoza en el 2007.** Realizaron un estudio sobre la respuesta de la comunidad de amebas a las condiciones micro ambientales del suelo en Zapotitlán de las Salinas, donde correlacionaron la variación de la riqueza de especies de ADVL, con los parámetros fisicoquímicos del suelo en dos terrazas de la cuenca baja del río Salado de Zapotitlán de las Salinas Puebla. La muestras fueron tomadas de 0 a 10 cm de profundidad en el suelo de la zona de raíces de *P. laevigata* y *Pachycereus hollianus* y en el suelo desnudo, durante los meses de julio a octubre del 2002. Los factores fisicoquímicos y la riqueza de especies presentaron diferencias significativas entre

---

*“Comparación de la comunidad de amebas desnudas de vida libre de la zona de raíces de Prosopis laevigata y Parkinsonia praecox, en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla”.*

microambientes y entre las terrazas. También, encontraron que el ensamblaje de especies fue diferente para cada microambiente y que los generos: *Vahlkampfia*, *Platyamoeba*, *Mayorella*, *Hartmannella* y *Acanthamoeba* tuvieron la mayor frecuencia de aparición. Ellos, además, encontraron una mayor riqueza de especies en el suelo influenciado por las raíces de las dos especies vegetales que en el suelo desnudo. Finalmente, concluyeron que el 23.9% de la varianza que se presentó en la comunidad de ADVL se puede explicar con el pH, la porosidad y la densidad real.

**Rodríguez-Zaragoza et al., en el 2008** realizaron un estudio sobre la distribución vertical de las comunidades microbianas bajo la cobertura de dos arbustos de leguminosas en el Desierto de Tehuacán, México. El objeto de este estudio fue explorar la contribución (materia orgánica) de los arbustos *P. laevigata* y *Pachycerus hollianus* en la distribución vertical de una comunidad microbiana del suelo. El muestreo fue realizado en agosto del 2004, representando la estación de lluvia. Las muestras fueron colectadas al azar bajo cuatro individuos de plantas *P. laevigata* y *Pachycerus hollianus* y el suelo desnudo entre las especies vegetales. El suelo muestreado fue colectado de 0 a 50 cm de profundidad en intervalos de 10 cm. Ellos encontraron que la humedad del suelo, la materia orgánica, y el conteo de bacterias y hongos bajo los arbustos disminuyó de la parte superior a la capa más profunda. También encontraron que el número total de bacterias y hongos, fue más numeroso bajo los arbustos que en el suelo desnudo. Debido a que sólo se registró un muestreo, este estudio aclara la diferencia de la comunidad microbiana entre los dos arbustos, pero la dinámica en la comunidad en las capas superiores no se pudo demostrar.

**Perroni-Ventura et al., en el 2006** realizaron un estudio donde determinaron la riqueza de especies de plantas bajo el dosel de *Parkinsonia praecox*, y de *Prosopis laevigata* y en suelo desnudo. También midieron la concentración de C, P y N del suelo; C y N microbiano, y la tasa neta de mineralización de C y N y

finalmente determinaron la relación entre las variables del suelo y la riqueza de especies de plantas. Encontraron que los nutrientes del suelo y la riqueza de especies aumentan de forma significativa en las islas de fertilidad. También encontraron que hubo mayor concentración de C y N en el suelo, tasas de mineralización de C más altas y mayor riqueza de especies bajo las copas de *P. laevigata*. La relación entre la fertilidad del suelo y la riqueza de especies fue positiva a excepción del N total, el amonio y la tasa de mineralización de C en *P. praecox*, y P disponible en *P. laevigata*. Ellos concluyeron que la relación entre la fertilidad del suelo y la riqueza de especies, varía en función de los nutrientes y el microambiente; que las relaciones positivas podrían derivarse de las especies complementarias y la facilitación y, que las relaciones negativas podrían ser explicadas por un umbral de limitación específica de algunos recursos del suelo, que eliminan las posibilidades de complementariedad entre las especies y la facilitación por encima de ese umbral.

### 3. JUSTIFICACIÓN

---

La erosión, la degradación y la formación de tierras malas son procesos tanto antropocéntricos como naturales. El estudio de las comunidades microbianas, la identificación de las especies claves y su función en la región semiárida de Zapotitlán de las Salinas, es muy importante ya que, nos permite evitar la pérdida de los microorganismos, como las amebas desnudas de vida libre, las cuales cumplen con funciones esenciales en los procesos del suelo, como son el reciclaje de los nutrientes y el flujo de la energía. Por todo esto, es necesario entender los procesos que se llevan a cabo en este sistema y conocer la problemática a la que está sujeto, para así poder prevenirla y tratar de evitarla ó retardarla, así como proponer soluciones sobre un uso adecuado y planificado del suelo en las terrazas de Zapotitlán de las Salinas, Puebla.



## 4. PREGUNTA

---

**D**ebido a la importancia que tienen las amebas en el suelo, la pregunta que deseamos responder es:

**¿Cómo está compuesta la comunidad de amebas desnudas de vida libre en un gradiente de profundidad de la zona de raíces de *Prosopis laevigata* y *Parkinsonia praecox* en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla?**

## 5. HIPÓTESIS

---

Si existen condiciones microambientales diferentes y gradientes bajo *P. laevigata* y *P. praecox* que afectan a los microorganismos en el suelo, entonces la comunidad de amebas de vida libre será diferente en cada microambiente y estará distribuida de manera heterogénea en el gradiente de profundidad.

## 6. OBJETIVOS

---

### General:

**D**eterminar las diferentes comunidades de AVL que habitan en la zona de raíces de *Prosopis laevigata* y *Parkinsonia praecox* en un suelo degradado que transita hacia la formación de tierras malas, a lo largo del gradiente de 0-30 cm de profundidad del suelo en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla.

### Particulares:

- Determinar la riqueza de especies de ADVL de la zona de raíces de *P. laevigata* y *P. praecox* y del suelo desnudo en el gradiente de 0 a 30 cm de profundidad.
- Comparar la riqueza de especies de ADVL de la zona de raíces de *P. laevigata* y *P. praecox* y del suelo desnudo en el gradiente de 0 a 30 cm de profundidad.
- Caracterizar los fisicoquímicamente el suelo de la zona de raíces de *P. laevigata* y *P. praecox* y del suelo desnudo en el gradiente de 0 a 30 cm de profundidad en Zapotitlán de las Salinas, Puebla.

## 7. **ÁREA DE ESTUDIO**

### Zona de estudio

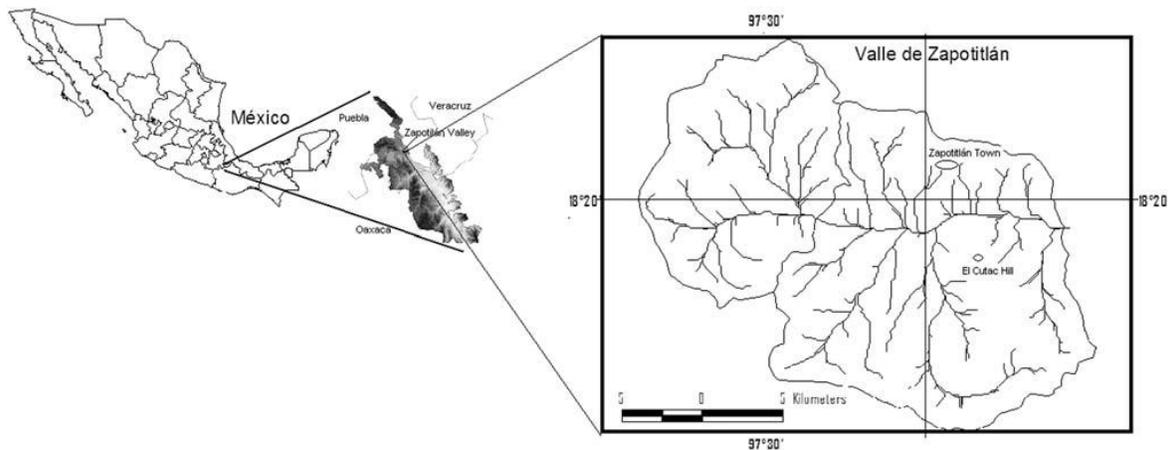
**E**l valle de Tehuacán-Cuicatlán se localiza en el centro de México específicamente en el Sureste del estado de Puebla y el Noreste de Oaxaca, entre los 17° 39' y los 18° 53' de latitud Norte y los 96° 55' y 97° 44' de longitud Oeste y se forma por efecto de la sombra orográfica de la Sierra Madre Oriental (Villaseñor *et al.*, 1990).

El Valle de Zapotitlán, forma parte de la reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, Puebla (López *et al.*, 2003) (**Fig. 1**), se encuentra enclavado en la porción occidental del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, tiene una extensión de 10,000 km<sup>2</sup> y sostiene aproximadamente 3000 especies de plantas, de las cuales alrededor del 30% son endémicas. También se ha estimado que posiblemente sea la zona árida de Norteamérica con mayor diversidad (Dávila, 2003), presenta temperatura media anual de 21 ° C y precipitación media anual de 400 a 450 mm. La temporada de lluvias se divide en dos periodos: lluvias ligeras en Junio seguido de un periodo seco en julio y tormentas en agosto hasta mediados de septiembre. La mayor parte de la precipitación se produce durante este último período (López *et al.*, 2003).

Desde el punto de vista edáfico, los suelos en la mayor parte del área son someros, pedregosos y muestran diferentes niveles de alcalinidad y salinidad, producto de la influencia de los diferentes substratos geológicos presentes en el sitio (García, 1991). En Zapotitlán se encuentra una unidad geomorfológica formada de terrazas aluviales constituidas de sedimentos transportados de diferentes orígenes que han rellenado las partes bajas del valle, formando así suelos profundos que sirven como soporte para el desarrollo de comunidades vegetales conocidas como mezquitales. En esta zona se realizan diferentes actividades productivas como la agricultura de temporal, ganadería extensiva y extracción de leña. En la actualidad estos sistemas se observan muy

fragmentados, encontrándose sitios con diferentes grados de deterioro. En la zona de estudio se observan procesos de erosión eólica e hídrica principalmente, además de deterioro químico, físico y biológico que han afectado el sistema (González-Lozano, 2007).

Las terrazas aluviales se localizan en la parte media de la cuenca a una altitud promedio de 1,480 msnm, con temperaturas entre 19.8 ° y 25 ° C y una precipitación entre 370 y 410 mm anuales. Las unidades de suelo identificadas son Fluvisol y Regosol calcáricos profundos, los cuales presentan un horizonte A incipiente y una secuencia de horizontes C de grosores y texturas variados, dominando la textura franco arenosa con contenido medio de materia orgánica. La vegetación dominante corresponde a mezquitales y selva baja de *P. laevigata* y *P. praecox* (López *et al.*, 2003).

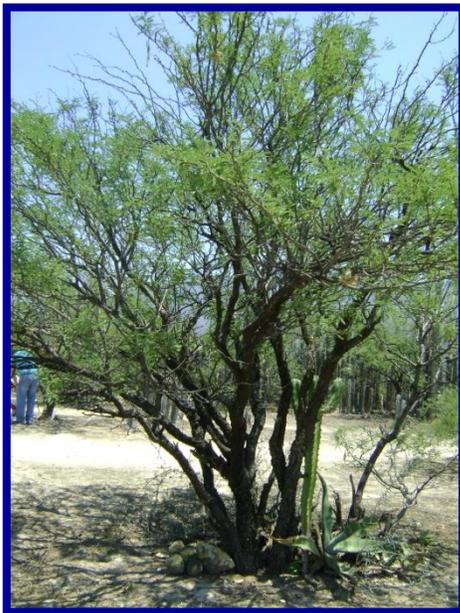
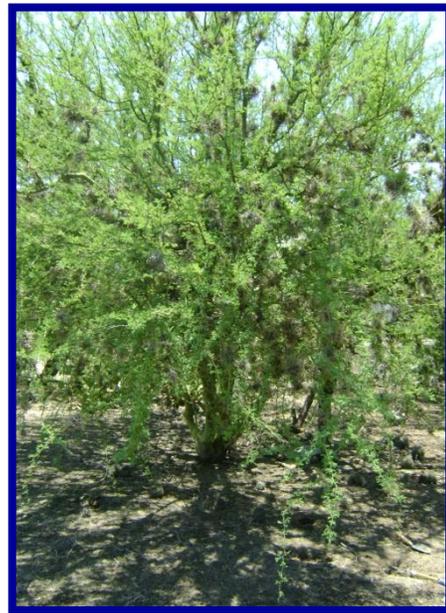


**Figura 4.** Ubicación de Zapotitlán Salinas Puebla.

## Especies vegetales

*Prosopis laevigata* (Mimosaceae) y *Parkinsonia praecox* (Caesalpinaceae) son dos especies de leguminosas de no más de 3 m de altura. Las leguminosas son una familia grande y diversa de plantas con flor, dicotiledóneas, que ocupan el tercer lugar en número de especies, con 650 géneros y más de 18,000 especies descritas, divididas en tres subfamilias: *Caesalpinioideae*, *Mimosoideae* y *Papilionoideae* (Lloret & Martínez-Romero, 2005). Algunas especies pertenecientes a estas subfamilias son dominantes, en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. La nodulación está presente en todas las subfamilias pero es menos frecuente en la subfamilia *Caesalpinioideae* (Lloret & Martínez-Romero, 2005). Ha sido reportado que ambas especies son freatofitas con un sistema de raíces dimórfico; una parte es de raíces finas, las cuales son superficiales densas que se extienden de la superficie a 2 m de profundidad. La otra parte consta de raíces profundas de 8 a 12 m para buscar agua. En ambas especies la floración y la fructificación ocurre durante la estación seca (la floración de febrero a mayo en *P. laevigata* y de enero a mayo en *P. praecox*; la fructificación es de marzo a junio para *P. laevigata* y de febrero a abril para *P. praecox* (Perroni-Ventura *et al.*, 2006). Tanto *P. laevigata* como *P. praecox* presentan interés económico ecológico y medicinal en el caso de *P. laevigata* se conocen los siguientes usos: la madera de estos es muy apreciada, ya que con ella se elabora carbón o es utilizada como leña ya que es considerada como de muy buena calidad (Arias, 2000). También es utilizada como material de construcción (Casas *et al.*, 2001); los frutos se utilizan para la elaboración de harina, pinole pan, atole, y como forraje (hojas y ramas) para el ganado; la corteza se usa para aliviar las molestias por picaduras de abejas, el dolor de muelas, y para tratar infecciones de los ojos; las raíces jóvenes son diuréticas y se usan para tratar bronquitis; reumatismo y fiebre. Al pie de los tallos es común que se siembre *Hylocereus undatus* (haw), a la que le sirven de sostén y de sombra. En la temporada en que crece el cocopache (chinche de importancia gastronómica en el valle de Tehuacán), los habitantes de la región visitan los mezquites en busca de estos insectos, ya que es un platillo muy

apreciado por ellos (Arias, 2000), además el mezquite produce una resina que se utiliza para matar piojos y para el cuidado del cabello; además, esta resina es muy parecida a la goma arábica, de ahí su uso potencial en la industria alimentaria como un sustituto más barato (Orozco, 1996). En *P. praecox*, por su parte tiene los siguientes usos conocidos: se emplea para obtener leña por ser madera carburante o como forraje, para el ganado caprino que ingiere el follaje de los árboles pequeños, los chivos llegan a consumir hasta 60% de flores y 35% de frutos; además, la producción de alimento basado en el gusano cuchamá tiene su propia dinámica en la recolección, consumo e intercambio. El gusano cuchamá, cuyo nombre científico es *Paradirphia fumosa*, es una larva endémica de delicioso sabor que se desarrolla y reproduce en palo verde, y tiene gran valor nutricional, solo superado por la soya (Velázquez *et al.*, 2008).

**a****b**

**Figura 5:** a) *Prosopis laevigata* y b) *Parkinsonia praecox* en la terraza degradada de Zapotitlán de las Salinas, Puebla.

## 8. MATERIAL Y MÉTODOS

### TOMA DE MUESTRAS

El muestreo se realizó en el mes de septiembre de 2008, en una terraza degradada de la cuenca baja del río Salado en Zapotitlán de las Salinas Puebla. Esta categoría se da por la cobertura y estructura de las comunidades vegetales y por la compactación y salinización del suelo (López *et al.*, 2001).

En la terraza se tomaron muestras de suelo de la zona de raíces en un gradiente de profundidad de 0 a 30 cm con separación de 10 cm, de tres individuos de *Prosopis laevigata* (Leguminosae) (Humb. & Bonpl. Ex. Willd, M. C. Johnst), tres individuos de *Parkinsonia praecox* (Leguminosae) (Humb & Bonpl. Ex. Willd, M. C. Johnst) y tres de suelo entre las plantas (interespacio).

Las muestras que se colectaron, se colocaron en bolsas Ziploc<sup>®</sup>, se rotularon y se pusieron en una hielera para llevarlas al laboratorio de microbiología de la FES-Iztacala, donde se pasaron a través de un tamiz (con malla de 2 mm), y se almacenaron a 4 ° C hasta su utilización.

### DETERMINACIÓN DE ESPECIES DE AMEBAS DESNUDAS

Para la determinación de las especies de amebas desnudas se utilizaron cultivos en placas de agar no nutritivo, 14 g de agar en un litro de extracto de suelo diluido (1:5). El extracto de suelo se preparó colocando 200 g de suelo en 1L de agua destilada en baño María a 60 °C por 4h. Posteriormente se filtró y esterilizó por calor a 121 °C y 15 lb de presión durante 15 min. Para el cultivo de amebas, se colocó un gramo de suelo en 10 ml de extracto de suelo 1:5, se agitó 20 seg en vortex, se dejó reposar 15 min para la sedimentación del material edáfico y se vació sobre las placas de agar, las cuales se dejaron reposar inclinadas por 2 h y

---

*“Comparación de la comunidad de amebas desnudas de vida libre de la zona de raíces de Prosopis laevigata y Parkinsonia praecox en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla”.*

después se retiró el exceso de agua con pipeta Pasteur estéril. Las placas se incubaron a 28° C por 10 días. La determinación morfológica se hizo con ayuda de un microscopio de contraste de fases Olympus CH2, utilizando las claves de Page, 1976; Page, 1988, Page, 1991 y Lee, 2000.

## DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO

Los parámetros fisicoquímicos se determinarán por técnicas estandarizadas.

- Temperatura del suelo: Se tomaron tres medidas dentro de los primeros 50 cm después del tronco utilizando el Termómetro modelo Reotemp en cada uno de los árboles y en el suelo desnudo (incluyendo sus repeticiones) de 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad.
- Humedad del suelo: Se midió por el método de gravimetría (López Arenas, 2006), inmediatamente después del muestreo. Se pesaron 10 g de suelo fresco y se deshidrataron a una temperatura de 110 °C por 24 h, después se pesaron nuevamente y la diferencia se tomó como los gramos de agua que contenía el suelo y se expresó en porcentaje.
- Capacidad de campo: Se pesaron 10 g de suelo seco y se adicionó agua con una pipeta graduada hasta la saturación.
- Salinidad por conductividad eléctrica del suelo en solución acuosa (Soluble salts tester marca Kelway modelo SST; Kel instruments CO., INC) de acuerdo con las especificaciones del fabricante.
- pH por el método potenciométrico (Bates, 1954; Willard, *et al.*, 1958 en Muñoz, *et al.*, 2007).
- Cantidad de materia orgánica: Por el método de oxidación con ácido crómico y ácido sulfúrico de Walkley & Black, 1947 (Muñoz, *et al.*, 2007), el cual consiste en tomar 0.5 g de suelo previamente tamizado con malla del No 60, y se agregaron 5 ml de solución de dicromato de potasio, 10 ml de ácido sulfúrico con mucho cuidado por las paredes y después se agitó 1 minuto dejando reposar durante 30 min, después se agregaron 100 ml de

agua destilada y 5 ml de ácido fosfórico, se agregaron también 3 gotas de indicador de difenilamina, para finalmente titular con sulfato ferroso hasta alcanzar el color verde esmeralda. Los resultados fueron expresados en porcentaje.

- Nitratos por el método de análisis colorimétrico (Keeney & Nelson, 1982 en Alef & Nannipieri, 1995). A partir de 5 g de suelo seco adicionando 50 ml de solución de cloruro de potasio 2 M y agitando durante 2 h. Después se filtró y la muestra se leyó en espectrofotómetro adicionándole solución de ácido salicílico e hidróxido de sodio 4 M, a 410 nm.
- Fósforo asimilable por el método de Olsen (Cajuste, 1986 en Muñoz, *et al.*, 2007).). El fósforo se extrajo de 2.5 g de suelo tamizado a 2 mm de diámetro de partículas y se le adicionó una solución de bicarbonato de sodio 0.5M con un pH de 8.5, se agitó, se filtró, se le agregó solución reductora y se leyó al espectrofotómetro a 840 nm.
- Densidad aparente: se tomaron las muestras en latas de aluminio, las cuales se transportaron al laboratorio de microbiología, FES-Iztacala. La densidad aparente se determinó dividiendo el peso seco sobre el volumen ocupado de la muestra sin alterar.
- Se determinaron los tipos texturales en el gradiente de profundidad de *P. laevigata* y *P. praecox* y del suelo desnudo en el gradiente de 0 a 30 cm de profundidad.

## Análisis estadístico

Los datos de temperatura, humedad, capacidad máxima de retención de agua, salinidad, pH, materia orgánica, ortofosfatos y nitratos densidad aparente se analizaron por medio de una MANOVA ( $\alpha=0.05$ ), la comparación entre medias se realizó mediante la prueba de Tukey, posteriormente estos datos se transformaron con la siguiente fórmula:  $S_x=(M_x-M_{\min})/(M_{\max}-M_{\min})$  y se les realizó un análisis de similitud de SØRENSEN, y posteriormente se realizó un análisis de correlación de PEARSON ( $P<0.05$ ) también con el programa STATISTICA y finalmente los resultados se analizaron por medio del método de conglomerados con el programa *PRIMER* 5.

## 9. RESULTADOS

---

Las especies presentes están resumidas en la tabla 1, que nos permite observar que *P. praecox* es el microambiente donde se encontró una mayor riqueza de especies en comparación con *P. laevigata* y el suelo desnudo, siendo este último donde se registró el menor número de especies. La familia más dominante es Vahlkampfiidae; es la familia que se encuentra presente en todos los microambientes y también en todas las profundidades. También observamos que conforme aumenta el gradiente de profundidad la cantidad de especies también disminuye además podemos observar que de 0-10 cm es donde hay una mayor cantidad de ADVL y de 20 a 30 cm donde se encuentran las menores cantidades.

**Tabla 1:** Especies de ADVL presentes en el suelo de la zona de raíces de *P. laevigata* y *P. praecox* y en el suelo desnudo en un gradiente de 0 a 30 cm de profundidad de una terraza degradada de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. 0: ausencia, 1:presencia. n=3

	<i>P. laevigata</i>			<i>P. praecox</i>			suelo desnudo		
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	0-10cm	10-20cm	20-30cm	0-10cm	10-20cm	20-30cm
<i>Acanthamoeba sp1</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Acanthamoeba sp2</i>	0	1	0	0	0	1	0	0	0
<i>A. castellanni</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>A. lugdunensis</i>	0	1	0	0	0	1	0	0	0
<i>Adelphamoeba galeacystis</i>	0	1	1	0	0	1	0	0	0
<i>Arcella sp</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Cochliopodium sp</i>	0	1	0	0	0	1	0	0	0
<i>Dactilamoeba sp</i>	0	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>Echinamoeba silvestris</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Filamoeba sp</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Filamoeba nolandi</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Hartmannella vermiformis</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	0
<i>Mayorella sp</i>	0	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Mayorella spatula</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Nuclearia sp</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Paratetramitus sp</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0
<i>Rosculus sp</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Stachyamoeba sp</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Tetramitus rostratus</i>	0	1	1	1	1	0	1	0	0
<i>Trichamoeba sp</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Vampirella sp</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Vahlkampfiidae</i>	0	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>V.aberdonica</i>	1	1	1	1	1	1	0	0	0
<i>V. atopa</i>	1	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>V. avara</i>	1	1	1	1	1	0	1	0	0
<i>V. entérica</i>	1	1	1	1	1	0	0	0	0
<i>V. hartmanni</i>	0	1	0	0	0	1	0	0	0
<i>V. inornata</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	0
<i>V. lacustris</i>	1	1	1	0	1	0	0	0	0
<i>V. magna</i>	0	0	1	1	1	1	1	0	0
<i>V. ustiana</i>	1	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Vanella sp</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<b>Total de especies</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

“Comparación de la comunidad de amebas desnudas de vida libre de la zona de raíces de *Prosopis laevigata* y *Parkinsonia praecox* en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla”.

En la **Tabla 2** podemos observar que la familia *Vahlkampfiidae* es la que domina en la terraza porque presenta mayor frecuencia de aparición; dentro de la familia *Vahlkampfiidae*, el genero *Vahlkampfia* está representado por 8 especies, el genero *Tetramitus* y *Adelphamoeba* sólo con una especie cada una y los Generos *Filamoeba*, *Mayorela*, *Nuclearia*, *Stachymoeba*, *Vampirella*, *Vanella*, son las especies con menor frecuencia de aparición, en total se encontraron: 7 familias, 11 géneros y 31 especies. n=9.

### FRECUENCIA DE AMEBAS DEL SUELO

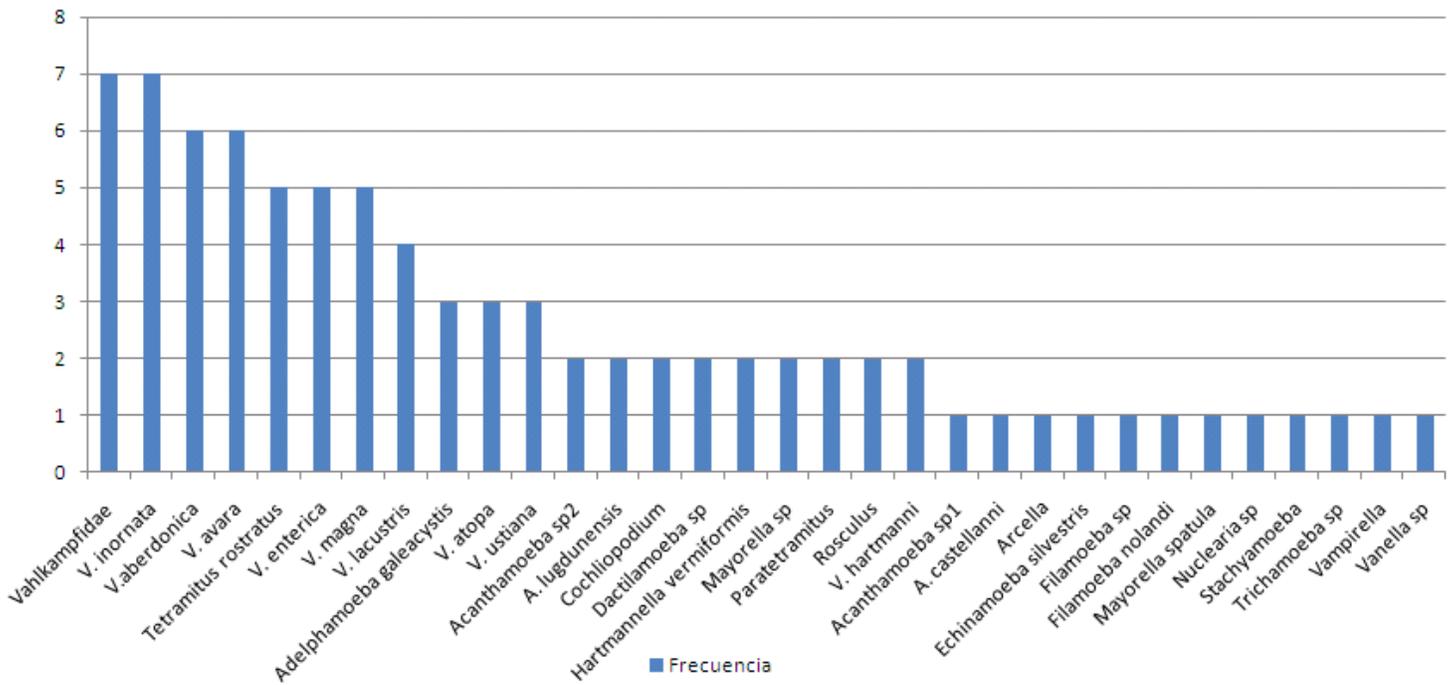
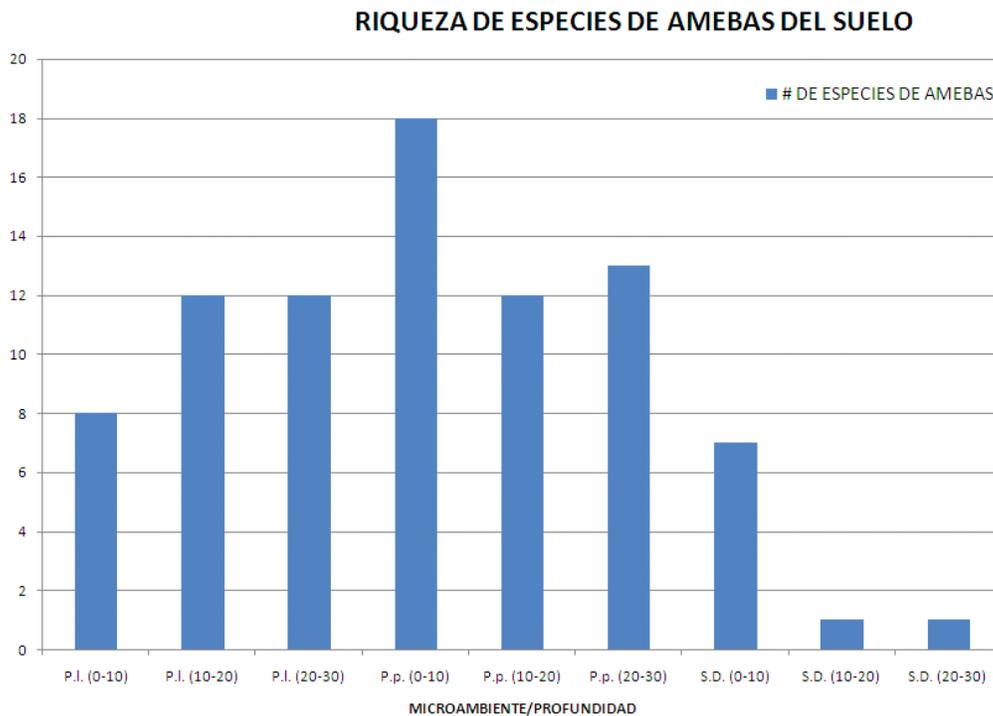


Figura 6: Muestra la frecuencia de aparición por especies de las amebas del suelo. n=9.

En la **figura 7** se observa que el microambiente que presenta mayor riqueza de especies es *P. praecox* en sus 0 a 20 cm, seguido por *P. laevigata* y por último el suelo desnudo, donde se encontró de 10 a 30 cm sólo una especie de amebas. Además *P. praecox* de 10 a 20 y *P. laevigata* de 0 a 20 cm registraron la misma riqueza de especies. n=3.



**Figura 7:** Muestra la riqueza de especies por profundidades en las dos especies vegetales y el suelo desnudo. *P.I:* *P. laevigata*, *P.p:* *P. praecox* y *S.D:* suelo desnudo. n=3.

### Variación de los parámetros fisicoquímicos

Los factores fisicoquímicos evaluados que presentan diferencias estadísticamente significativas entre microambientes son humedad, salinidad, materia orgánica y fósforo. La capacidad de campo presentan diferencias entre las profundidades de 0-10 y 20-30 cm; humedad presenta diferencias entre *P. praecox* y suelo desnudo; salinidad presenta diferencias entre *P. laevigata* y el suelo desnudo; la materia orgánica presenta diferencias entre *P. laevigata* y *P. praecox* y con el suelo desnudo; pH no presenta diferencias significativas. En cuanto a los fosfatos se encontraron diferencias significativas entre microambientes pero por medio de la prueba de Tukey no fue posible ver cuales de los microambientes eran diferentes. Por otro lado los nitratos, la densidad aparente y el pH no muestran diferencias estadísticamente significativas ni entre microambientes, ni entre profundidades ( $\alpha=0.05$ ).  $n=3$ .

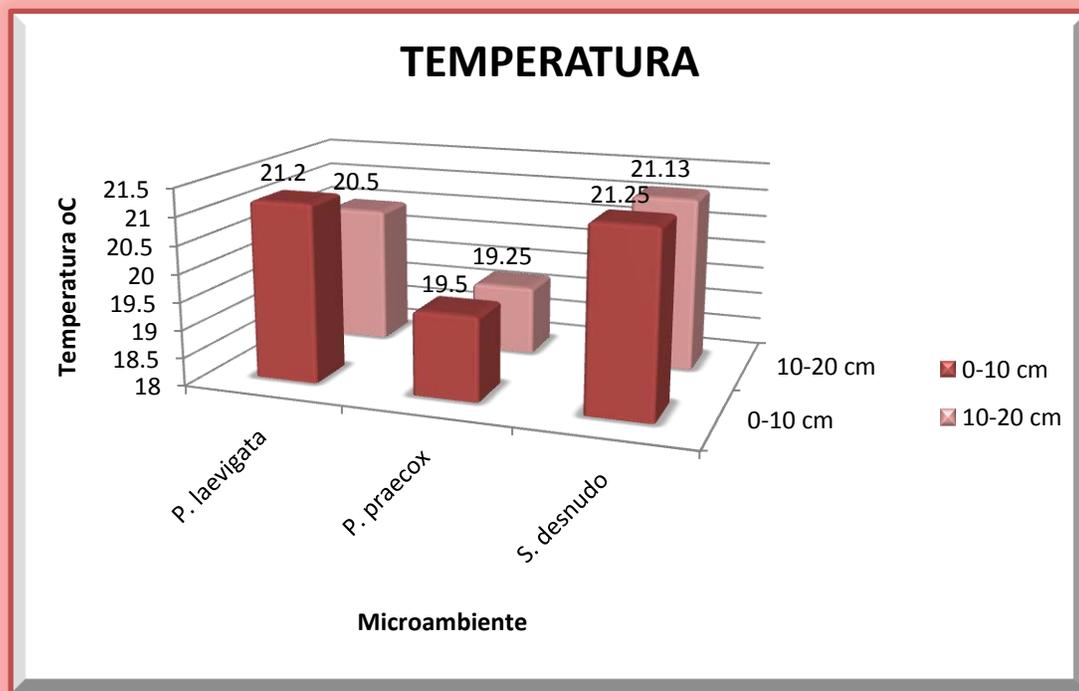
**Tabla 2:** Resultados de la caracterización fisicoquímica del suelo de la zona de raíces de *P. laevigata* y *P. praecox* y del suelo desnudo, en un gradiente de 0 a 30 cm de profundidad de una terraza degradada en Zapotitlán de las Salinas, Puebla.

		$\bar{x}$ Temp. °C	$\bar{x}$ Hum %	$\bar{x}$ C.C. (ml g <sup>-1</sup> )	$\bar{x}$ Salinidad (msh cm <sup>-1</sup> )	$\bar{x}$ pH	$\bar{x}$ M.O. %	$\bar{x}$ oP (mg kg <sup>-1</sup> )	$\bar{x}$ NO <sub>3</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	$\bar{x}$ D.A. (g cm <sup>-3</sup> )
<b>P. laevigata</b>	0-10 cm	21.20	7.83	0.53	0.70	7.70	2.72	0.29	0.43	1.21
	10-20 cm	20.50	9.74	0.53	0.45	7.72	2.17	0.19	0.30	1.21
	20-30 cm		9.91	0.41	0.53	7.73	2.42	0.19	0.47	1.21
<b>P. praecox</b>	0-10 cm	19.50	9.53	0.50	1.93	7.89	1.92	0.09	0.23	1.24
	10-20 cm	19.25	9.32	0.45	2.93	7.67	1.66	0.13	0.09	1.19
	20-30 cm		8.93	0.44	3.17	7.63	1.99	0.12	0.03	1.23
<b>Suelo desnudo</b>	0-10 cm	21.25	7.12	0.49	3.77	7.64	1.93	0.12	0.21	1.31
	10-20 cm	21.13	6.65	0.42	4.50	7.68	1.74	0.10	0.35	1.29
	20-30 cm		5.97	0.40	4.10	7.72	1.66	0.10	0.40	1.25

Los datos muestran los promedios obtenidos de las tres repeticiones por cada tratamiento. Temp: temperatura, Hum: humedad, C.C.: capacidad de campo, M.O.: Materia orgánica, oP: ortofosfatos, NO<sub>3</sub>: nitratos, NH<sub>4</sub>: amonio, D.A.: densidad aparente.

## Temperatura

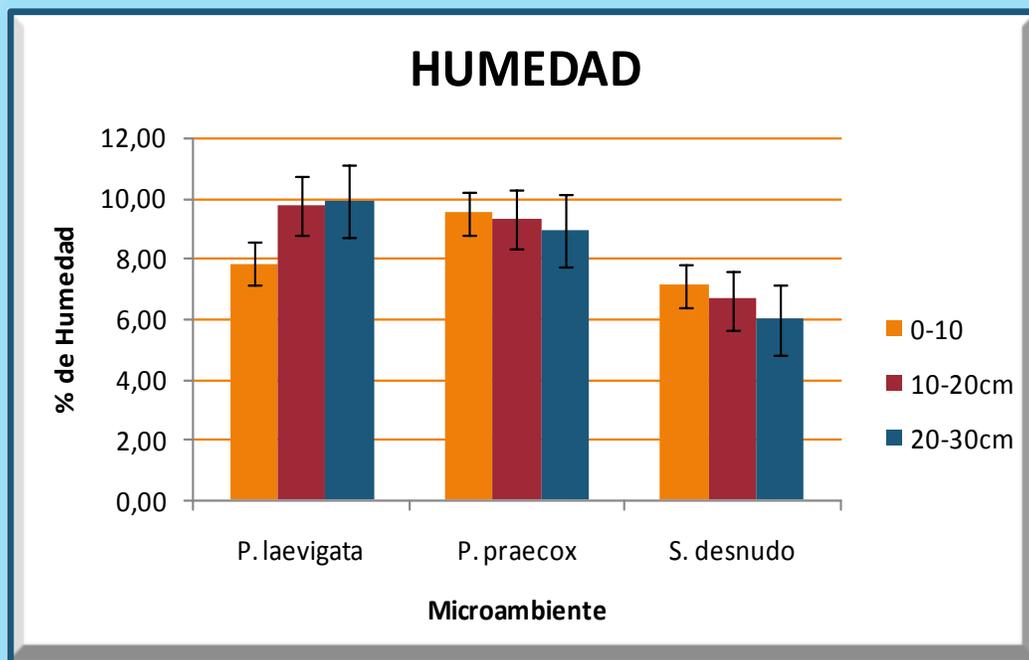
En la **Figura 8** podemos observar que en los primeros 10 cm de profundidad la temperatura es mayor, que de 10 a 20 cm. La mayor temperatura se registra en el suelo desnudo de 0 a 10 cm y la menor temperatura se presenta en *P. praecox* en la profundidad de 10 a 20 cm. De manera general se observa que el microambiente con menor temperatura es *P. praecox*, por otra parte *P. laevigata* y el suelo desnudo registraron temperaturas muy similares. n=3.



**Figura 8:** Muestra los promedios de temperatura tomados en campo, del suelo de la zona de raíces de las dos especies vegetales y del suelo desnudo a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm), alrededor del medio día. n=3.

## Humedad

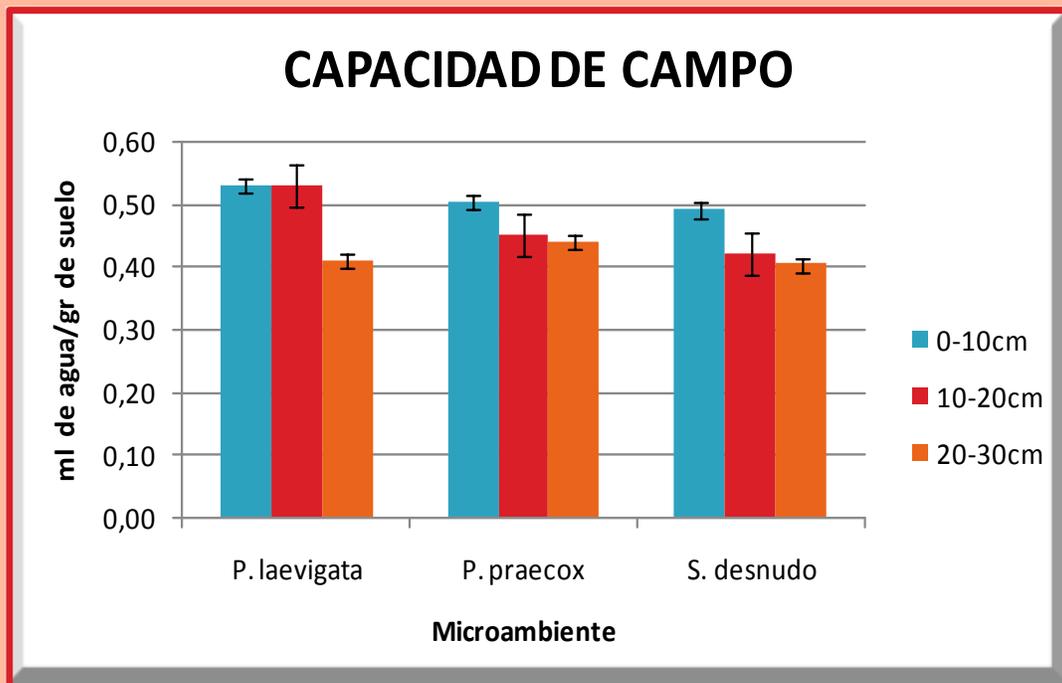
En la **Figura 9** podemos observar que el mayor porcentaje de humedad se registra en *P. laevigata* de 20 a 30 cm de profundidad, y el menor se observa en el suelo desnudo en la profundidad de 20 a 30 cm. En cuanto al patrón de distribución de la humedad, se encontró que *P. praecox* y el suelo desnudo se comportan de una manera similar, es decir, que en los primeros 10 cm de profundidad es donde hay mayor humedad pero, conforme aumenta el gradiente de profundidad, la humedad disminuye; contrario a lo que sucede en *P. laevigata*, donde la humedad aumenta conforme aumenta la profundidad. En general *P. laevigata* y *P. praecox* registraron el mayor porcentaje de humedad en comparación con el suelo desnudo que registró el menor porcentaje en todas sus profundidades. La prueba de comparación de medias de Tukey nos indica que los microambientes *P. praecox* y suelo desnudo son donde se muestran las diferencias estadísticamente significativas ( $\alpha=0.05$ ).  $n=3$ .



**Figura 9:** Muestra como varía el porcentaje de humedad de los tres microambientes en el gradiente de profundidad.  $n=3$ .

## Capacidad de campo

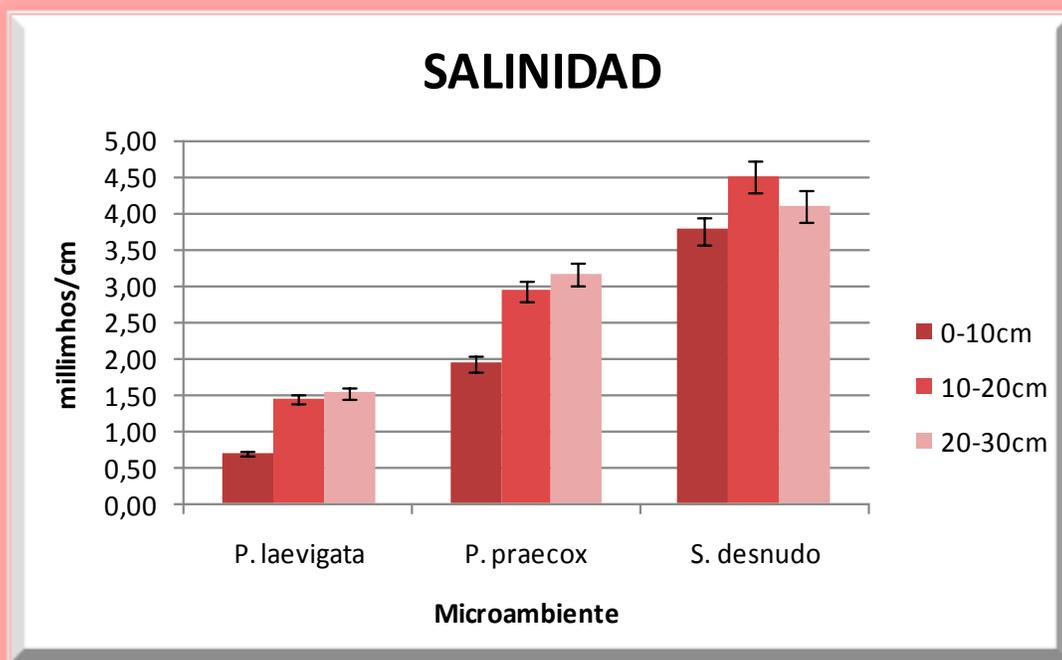
En la **Figura 10** podemos observar que la mayor capacidad de campo la tiene *P. laevigata* en los primeros 20 cm de profundidad, y la menor el suelo desnudo de 20 a 30 cm. Los microambientes de *P. praecox* y suelo desnudo, en general, se comportan de manera parecida, pero, además, *P. laevigata* y el suelo desnudo en la profundidad de 20 a 30 cm tienen una capacidad de campo muy similar. Sin embargo, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey las profundidades que son diferentes son de 0-10 cm con 20-30 cm ( $\alpha=0.05$ ).  $n=3$ .



**Figura 10:** Muestra como varía la capacidad de campo en los tres microambientes en el gradiente de profundidad.  $n=3$ .

## Salinidad

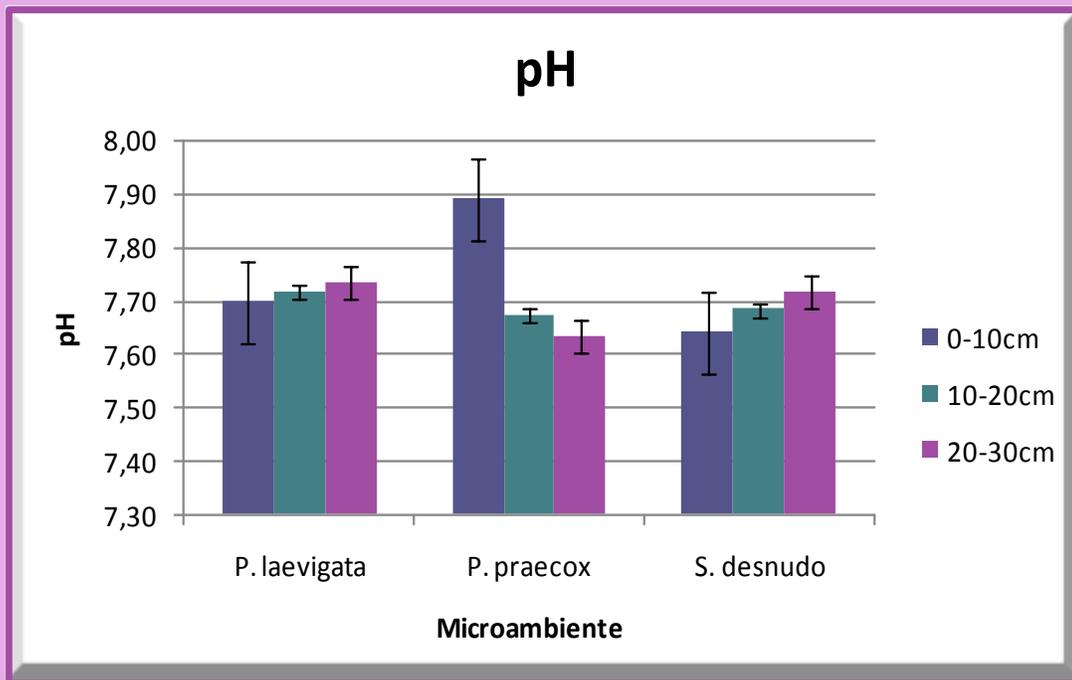
En la **Figura 11** encontramos que el microambiente menos salino es el suelo de la zona de raíces de *P. laevigata*, en cambio, el más salino es el suelo desnudo: la menor concentración de sales se registró en *P. laevigata* en los primeros 10 cm de profundidad y la mayor concentración de sales la encontramos en el suelo desnudo a una profundidad de 10 a 20 cm. En el microambiente del suelo de la zona de raíces de las dos especies vegetales, la salinidad va aumentando conforme aumenta la profundidad, no así en el suelo desnudo, donde la mayor cantidad de sales se encuentra en la profundidad intermedia y es menor en los extremos del gradiente de profundidad. La prueba de comparación de medias de Tukey nos indica que los microambientes *P. laevigata* y suelo desnudo son donde se muestran las diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ).  $n=3$ .



**Figura 11:** Muestra como varía la concentración de sales en los tres microambientes en el gradiente de profundidad.  $n=3$ .

## pH

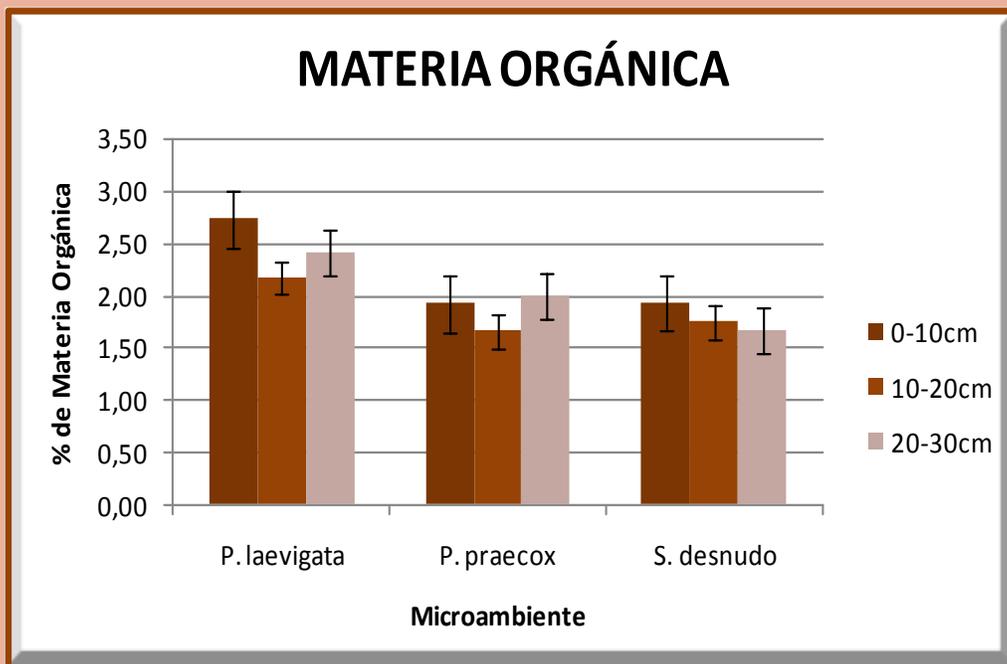
El pH es ligeramente alcalino en todos los microambientes, variando poco entre profundidades, siendo *P. laevigata* y suelo desnudo los que presentan una tendencia a aumentar con la profundidad. En general el pH más alcalino se encuentra en los primeros 10 cm de profundidad de *P. praecox*, y este microambiente se comporta de manera diferente a *P. laevigata* y el suelo desnudo, ya que en este caso, el pH disminuye al aumentar la profundidad (**figura 12**). No se observan diferencias significativas ni entre microambientes ni entre profundidades ( $\alpha=0.05$ ).  $n=3$ .



**Figura 12:** Muestra como varía el pH de los tres microambientes en el gradiente de profundidad.  $n=3$ .

## Materia orgánica

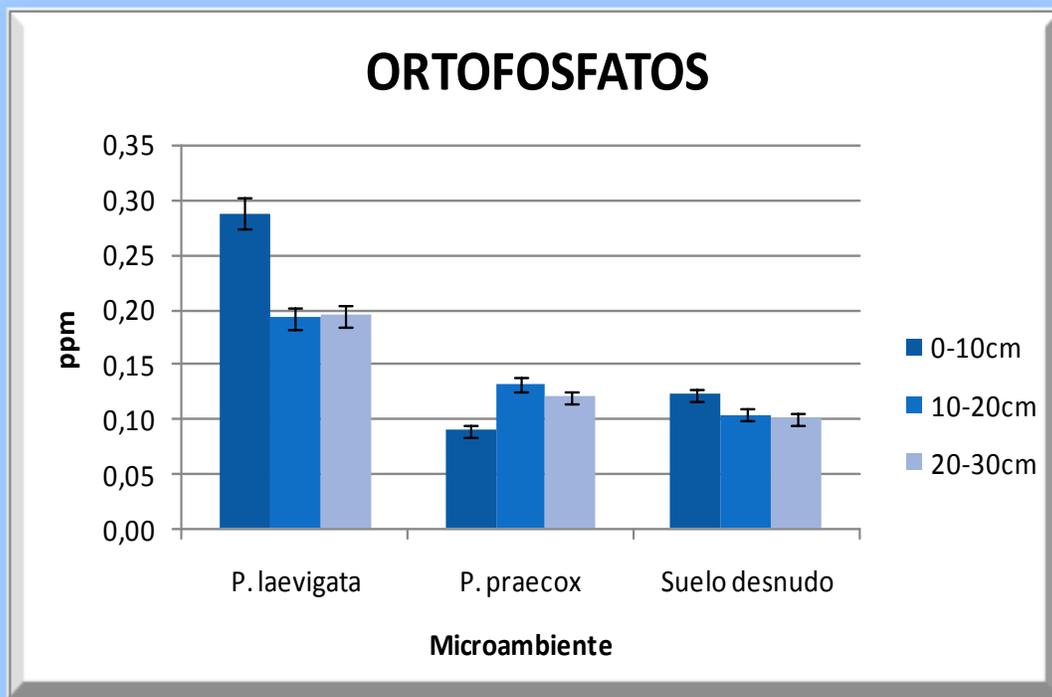
La **Figura 13** muestra que la mayor cantidad de materia orgánica la encontramos en el microambiente del suelo de la zona de raíces de *P. laevigata*. Por otra parte, observamos que el porcentaje de materia orgánica en *P. praecox* y el suelo desnudo es muy parecido, sin embargo, el patrón de distribución en el gradiente de profundidad, en el suelo de la zona de raíces de *P. laevigata* y *P. praecox*, es muy similar ya que las mayores concentraciones de materia orgánica se encuentran de 0 a 10 y de 20 a 30 cm y la menor concentración, de 10 a 20 cm. En el caso del suelo desnudo las concentraciones de materia orgánica disminuyen con el gradiente de profundidad. El MANOVA indica diferencias significativas entre microambientes. La prueba de comparación de medias de Tukey nos muestra que los microambientes *P. laevigata* y *P. praecox* y entre el microambiente *P. laevigata* y suelo desnudo son donde se muestran las diferencias ( $\alpha=0.05$ ).  $n=3$ .



**Figura 13:** Muestra el porcentaje de materia orgánica que presentan los microambientes.  $n=3$ .

## Ortofosfatos

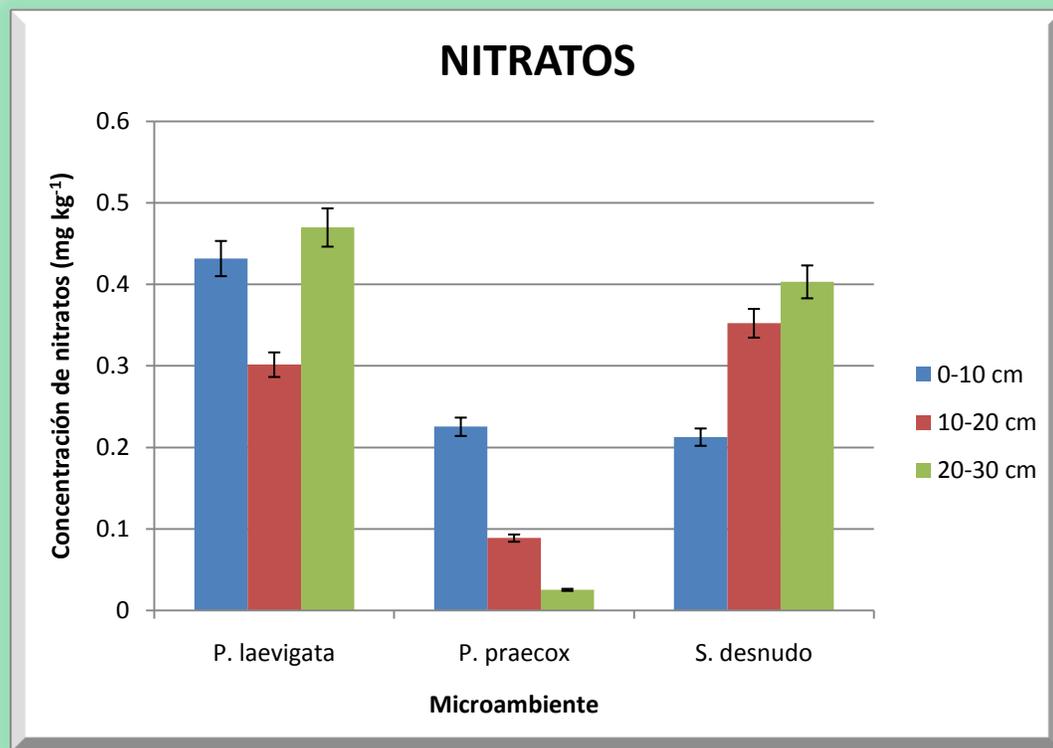
En la **Figura 14** observamos que el microambiente del suelo de la zona de raíces de *P. laevigata* es el que registra una mayor cantidad de ortofosfatos en comparación con *P. praecox* y el suelo desnudo. También observamos que *P. praecox* y el suelo desnudo presentan concentraciones de ortofosfatos similares. El comportamiento de *P. laevigata* y el suelo desnudo es similar ya que la mayor cantidad de ortofosfatos se localiza en los primeros 10 cm de profundidad y, en las dos profundidades siguientes, las concentraciones son muy parecidas; caso contrario a lo que sucede en *P. praecox*. El MANOVA indica diferencias significativas entre microambientes, pero el análisis de medias de Tukey no muestra entre cuáles. n=3.



**Figura 14:** Muestra como varía la concentración en partes por millón de ortofosfatos en los tres microambientes en el gradiente de profundidad. n=3.

## Nitratos

En la **figura15** observamos que la mayor concentración de nitratos la encontramos en los primeros 10 cm de profundidad, y la menor de 10 a 20 cm del suelo de la zona de raíces de *P. laevigata* en comparación con *P. praecox* y el suelo desnudo. *P. praecox* es la que en promedio registra la menor cantidad de nitratos, y es la que presenta un patrón de disminución de la concentración con el aumento del gradiente de profundidad. En el suelo desnudo la mayor concentración se encuentra de 20 a 30 cm de profundidad y esto también se repite en *P. laevigata*. El MANOVA no indica diferencias significativas en este parámetro. n=3.



**Figura 15:** Muestra como varía la concentración de nitratos en los tres microambientes en el gradiente de profundidad. n=3.

En la **tabla 3** se observa que los principales tipos texturales son franco limoso en *P. laevigata* y *P. praecox* en el suelo desnudo son franco y franco arcilloso, principalmente.

**Tabla 3: Tipos texturales del suelo de *P. laevigata* y *P. praecox* y el suelo desnudo a diferentes profundidades.**

Microambiente	Profundidad	Tipo de textura
<i>P. laevigata</i>	0-10 cm	Franco limosa fina
	10-20 cm	Franco limosa fina
	20-30 cm	Franco limosa fina y franca
<i>P. praecox</i>	0-10 cm	Franco limosa fina y gruesa
	10-20 cm	Franco limosa fina y franca
	20-30 cm	Franco arcillosa y franca
suelo desnudo	0-10 cm	Franco arcillosa y franca
	10-20 cm	Franco limosa gruesa y franca
	20-30 cm	Franco arcillo-arenosa y franca

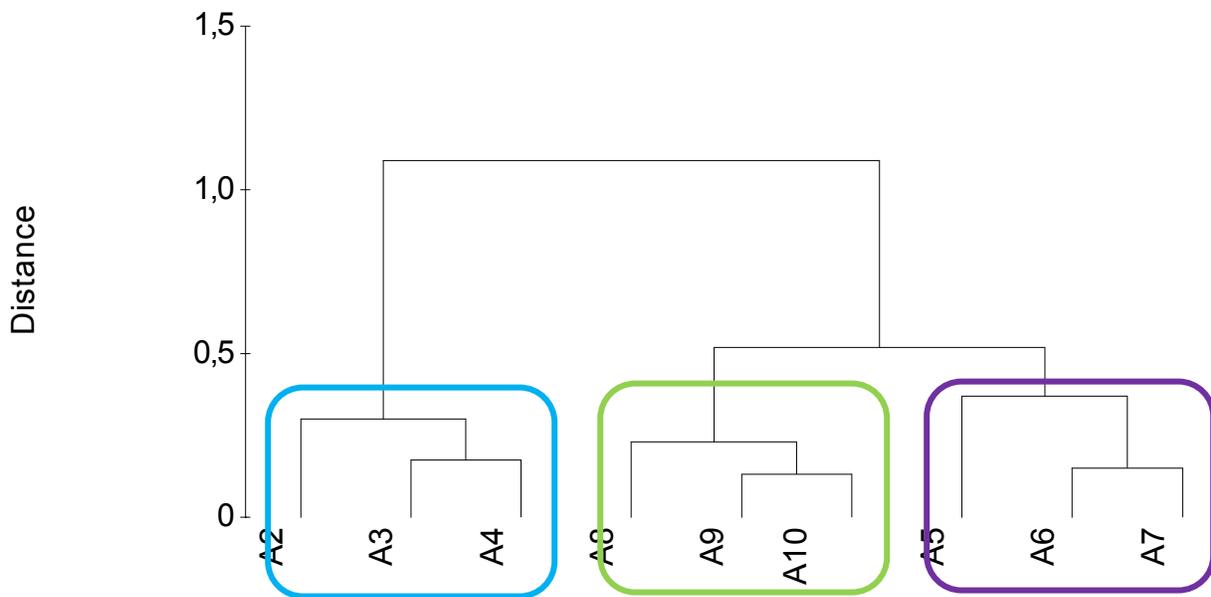
En la **tabla 4** podemos observar que la capacidad de campo está correlacionada negativamente con salinidad y nitratos y, positivamente con fósforo; el pH presenta correlación positiva con salinidad y los nitratos, y finalmente la materia orgánica, presenta una correlación positiva con el fósforo.

**Tabla 4: Correlación entre los parámetros fisicoquímicos del suelo.**

	HUMEDAD	C.C.	SALINIDAD	PH	M.O.	P	NITRATOS	D.A.
HUMEDAD	1,0	0,3	0,2	0,3	0,1	0,2	-0,1	0,3
C.C.	0,3	1,0	0,4	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3
SALINIDAD	0,2	<b>-0,4</b>	1,0	0,6	-0,3	-0,3	0,5	0,2
PH	-0,3	0,3	<b>-0,6</b>	1,0	0,2	0,0	-0,5	-0,2
M.O.	0,1	0,3	-0,3	0,2	1,0	0,4	-0,3	0,1
P	0,2	<b>0,5</b>	-0,3	0,0	<b>0,4</b>	1,0	-0,1	0,3
NITRATOS	-0,1	<b>-0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>-0,5</b>	-0,3	-0,1	1,0	0,2
D.A.	0,3	0,3	0,2	-0,2	0,1	0,3	0,2	1,0

La matriz muestra el coeficiente de correlación de Pearson. C.C: capacidad de campo, M.O.: materia orgánica, P: ortofosfatos, D.A.: densidad aparente. (P<0.05, n=9). Las variables correlacionadas son las que se muestran en color rojo.

En la **figura16**, podemos observar que se forman tres grupos dentro de los cuales se indican los 3 microambientes; donde la primera profundidad de los tres microambientes (A2, A8, A5), es la más diferente en todos los casos, además, se observa una tendencia a agruparse entre *P. praecox* (A5, A6, A7) y el suelo desnudo (A8, A9, A10). En todos los casos también podemos observar diferencia espacial siendo más parecidos las profundidades 10-20 con 20-30 cm en cada microambiente.



A2: *P. laevigata* (0-10), A3: *P. laevigata* (10-20), A4: *P. laevigata* (20-30); A5: *P. praecox* (0-10), A6: *P. praecox* (10-20), A7: *P. praecox* (20-30); A8: S. desnudo (0-10), A9: S. desnudo (10-20), A10: S. desnudo (20-30).

En la **figura 17** se observa el porcentaje de similitud de las comunidades en cada uno de los microambientes, donde I (suelo desnudo (10-20 cm) y J: (suelo desnudo (20-30 cm) registraron el 100% de similitud, seguido por D: (*P. laevigata* (20-30 cm) y F: (*P. praecox*(10-20 cm) que registraron el 75% de similitud entre estas comunidades y finalmente B: (*P. laevigata* (0-10 cm) y C: (*P. laevigata* (10-20 cm)); éstas fueron las comunidades que registraron al menos un 50% de similitud entre ellas.

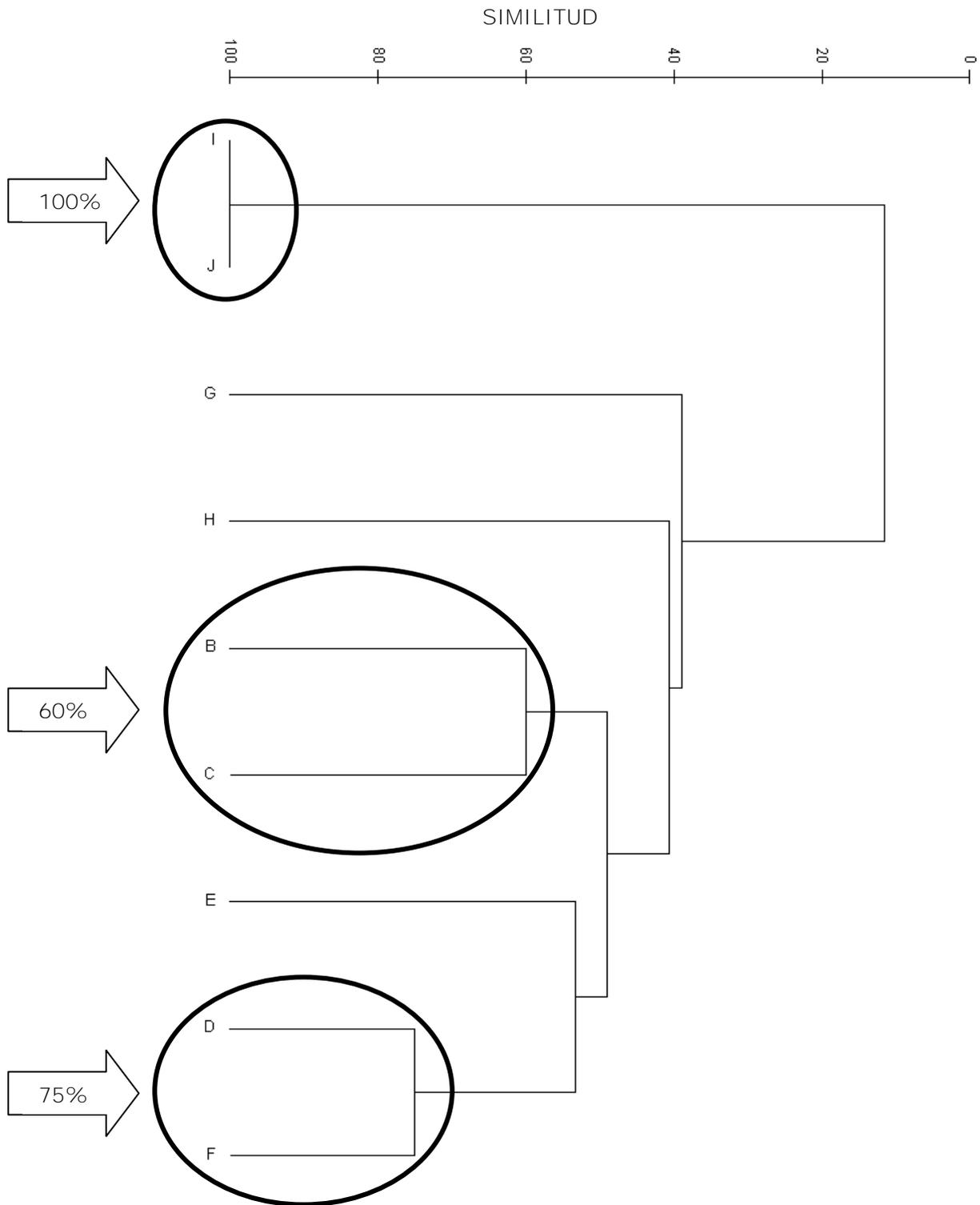


Figura 17: Comparación de microambientes/profundidades. B: *P. laevigata* (0-10 cm), C: *P. laevigata* (10-20 cm), D: *P. laevigata* (20-30 cm), E: *P. praecox* (0-10 cm), F: *P. praecox* (10-20 cm), G: *P. praecox* (20-30 cm), H: suelo desnudo: (0-10 cm), I: suelo desnudo: (10-20 cm), J: suelo desnudo (20-30 cm).

# 10. Discusión

---

Todos aquellos factores en el suelo que significan tensión para los organismos, afectan la distribución de los mismos, entre ellos se encuentran la humedad, la temperatura, el tamaño de los agregados, la salinidad, el pH, etc. (Rodríguez-Zaragoza, 1994).

## Humedad

La humedad en las zonas áridas, es el recurso mas limitante que existe, este factor es el que determina la apertura de las ventanas de actividad biológica en el suelo, y por consecuencia todos los procesos que ahí se llevan a cabo (Whitford, 2002). En nuestra comparación entre microambientes encontramos un mayor porcentaje de humedad bajo el dosel de *P. praecox* en los primeros 10 cm (**fig. 9**), esto se puede explicar por la sombra que se proyecta al suelo. El dosel ayuda a conservar la humedad y genera islas de fertilidad que facilitan el establecimiento y desarrollo de otras plantas. Estas condiciones microambientales también favorecen la presencia de los ADVL y de los macro y microorganismos que ahí se instalen, ya que a esta profundidad fue donde se encontró una mayor riqueza de especies; además de que los tamaños de las ADVL que se encontraron son superiores en comparación con las demás profundidades. Esto nos habla de disponibilidad de recursos, ya que permite incrementar sus poblaciones y además aumentar la talla.

Pen-Mouratov & Rodríguez-Zaragoza (2008) encontraron que la abundancia y estructura de los nemátodos del suelo fuertemente dependiente del efecto de las planta (*P. laevigata* y *P. praecox*) y, específicamente de los factores limitantes como son la humedad y la M.O. La disminución de humedad entre las profundidades fue muy poca pero gradual, conforme al gradiente (**fig. 9**), por lo que esto beneficia a los organismos que viven en el suelo de la zona de raíces de

*P. praecox*. La humedad registrada para *P. laevigata* es ligeramente superior a la registrada en el suelo desnudo en los primeros 10 cm ,(fig. 9) ya que otra vez, la cantidad de sombra que es proyectada por el dosel de esta planta es poca, lo que evita la conservación de la humedad, en comparación a *P. praecox*, ya que la falta de sombra no es el único factor de desecación. En el suelo desnudo la falta de sombra a lo largo del día y las corrientes de aire que se forman evitan la conservación de la humedad (Gobat et al.,2004) y como consecuencia es aquí donde se registró un menor número de AVL (fig. 6). Sin embargo, la pérdida de la humedad en el suelo puede ser minimizada por las costras microbianas, ya que estos organismos participan en los ciclos dinámicos del agua (Rivera-Aguilar et al., 2009), permiten la retención de ésta, y por consecuencia que se conserve la humedad, pero no el efecto de las especies vegetales, como se muestra en la gráfica de humedad (fig. 9); conforme aumenta la profundidad, la humedad se guarda mejor, ya que no hay factores ambientales que promuevan la desecación. Este es el caso de *P. laevigata* que registra mayor humedad conforme aumenta el gradiente de profundidad. La temporada en que se llevó a cabo el muestreo es registrada como sequia debido a un atraso en las lluvias, por lo que un estudio posterior en temporada de lluvias nos podría mostrar un cambio en la dinámica de las comunidades, debido al aumento de la humedad y, por consecuencia, la apertura de las ventanas de actividad biológica (Whitford, 2002), seguido también de un aumento en la cobertura vegetal por parte de las plantas (Aguilera &Martinez, 1996).

Las principales diferencias que se presentan en las dos especies vegetales son, por una parte, su patrón de hojas, ya que *P. laevigata* tiene un período marcado de producción de hojas dos meses antes de la temporada de lluvias (marzo-abril) y mantiene sus hojas todo el año y, *P. praecox*, arroja sus hojas completamente durante los meses más secos y alcanza su pico de producción de las hojas durante la estación húmeda (Pavón & Briones, 2001). En un estudio realizado por Rodríguez-Zaragoza et al. (2005), en el desierto del Negev, Israel, demostraron que el número total de protozoos fue significativamente mayor durante la estación húmeda que durante la estación seca. Esto nos conduciría a proponer un estudio

a través del tiempo en el que podríamos registrar un aumento en la comunidad y en el ensamblaje de especies durante la estación de lluvias, ya que la especificidad de cada interacción puede estar fuertemente determinada por los patrones espaciales y temporales.

#### Salinidad y pH

Los suelos de Zapotitlán de las Salinas son ricos en sales de ahí su nombre. El efecto de las sales sobre las propiedades físicas de los suelos es positivo, ya que permite la floculación (proceso a través del cual las partículas de un coloide se aglomeran y forman partículas más gruesas). Como consecuencia, su permeabilidad es por lo menos igual, y a veces incluso mayor que la de los suelos similares no salinos. Por lo mismo, su aereación es adecuada fomentando un buen crecimiento de raíces (Fassbender & Bornemisza, 1987) y distribución de los microorganismos, en las temporadas de secas como en el caso de Zapotitlán, donde, posiblemente podría aumentar ligeramente el pH y los suelos son ligeramente más alcalinos debido a la poca disponibilidad de agua y las altas temperaturas que favorecen la desecación y permiten la concentración de sales, sobre todo en el suelo desnudo. Este posible aumento del pH en el suelo favorece la formación de agregados recalcitrantes (Sánchez, 2007), por lo que la función de las bacterias que liberan ácidos orgánicos, y que las conocemos como solubilizadoras de fósforo (como por ejemplo Rizobacterium), son muy importantes en las zonas áridas (Martínez-Romero, 2009), como en el caso de Zapotitlán de las Salinas, ya que permiten que las condiciones no sean tan extremas en cuanto a la disponibilidad de los nutrientes para los micro o macro organismos. El fósforo es un elemento que se encuentra relacionado con la cantidad de materia orgánica, o dicho de otra manera, la materia orgánica que se deposita en el suelo, es el principal reservorio de fósforo y nitrógeno en el suelo. Debido a esto, la presencia de estos elementos, que después del agua son los más limitantes en zonas áridas, depende principalmente de la cantidad de hojarasca que liberen las plantas (Fassbender & Bornemisza, 1987). En la profundidad de 0-10 cm en *P. praecox* fue donde se registró el mayor pH, esto podría generar gran actividad de bacterias solubilizadoras de fósforo ante el aumento de pH, ya que las bacterias no son las

únicas que pueden acidificar el suelo, las raíces de las plantas también buscan hacerlo para poder obtener fósforo asimilable (Rodríguez & Fraga, 1999). Esta actividad bacteriana que pensaríamos que se debe al aumento de pH, puede representar disponibilidad de recursos para las AVL que se alimentan de bacterias, ya que su capacidad y voracidad para alimentarse de ellas puede estimular a las comunidades y permitir una mayor eficiencia en la acidificación del suelo. Sin embargo, en nuestros análisis estadísticos no se encuentran diferencias significativas por lo que podemos decir que las condiciones entre microambientes y entre las profundidades son parecidas, ya que se registra un pH que se puede considerar ligeramente alcalino, sin embargo Hatar *et al.* (2010) reportaron que el gradiente de profundidad sí estaba correlacionado con el pH. En la **(fig. 12)** se muestra cómo varía con las profundidades, pero no muestra diferencias estadísticamente significativas.

Por otra parte la concentración de sales puede provocar una mayor eficiencia en la conservación de la humedad, que a su vez puede afectar tanto la salinidad como el pH del suelo por medio de sus raíces, debido a un posible fenómeno observado pero poco estudiado conocido como levantamiento hídrico (Liste & White, 2008). Además, en el caso del suelo desnudo encontramos raíces de tamaño pequeño que lo atraviesan, por lo que esto estaría permitiendo que tanto el pH como la salinidad en este microambiente sean parecidos a los microambientes de las especies vegetales.

Entrando de lleno con la salinidad encontramos que el microambiente con mayor salinidad fue el suelo desnudo y en la profundidad de 10-20 cm la actividad microbiana se vió disminuida considerablemente, hasta el punto prácticamente de desaparecer, al menos en cuanto a AVL, posiblemente porque la influencia de las costras microbianas y los beneficios que este consorcio aporta ya no llega hasta esa profundidad, y en el mismo microambiente podemos explicar las altas concentraciones de sales por las condiciones extremas a las que está sujeto el suelo desnudo, debido a la constante exposición a los rayos del sol. En este caso, sí se nota la influencia de las costras microbianas, ya que mitigan estas condiciones y evitan la concentración de sales en comparación con las otras

profundidades. Nuestros resultados muestran que la cobertura vegetal y la sombra que se proyecta, sería más eficiente como un factor que pudiera disminuir la desecación y la concentración de sales por medio de la retención de humedad, esta concentración de sales podría ser un factor negativo para algunas AVL, sin embargo, hay reportes de AVL que son resistentes a la desecación (Anderson *et al.*, 2003; Hauer *et al.* 2001), ya que se encontraron organismos en los primeros centímetros de profundidad, por lo que podemos hablar de que la influencia de las costras microbianas en la presencia de organismos fue positiva.

#### Materia Orgánica

La hojarasca que libera la planta es el principal aporte de materia orgánica por parte de las plantas al suelo y, específicamente, hacia las islas de fertilidad que se forman bajo el dosel de algunas plantas, donde se concentra una gran cantidad de materia orgánica (García-Moya & Mckell, 1970). La cantidad de materia orgánica en el suelo es muy importante pues forma parte importante del suelo. Las plantas como *P. laevigata* y *P. praecox* son arbustos leguminosos, con características morfológicas muy similares, pero con una diferencia en cuanto a la liberación de la materia orgánica. *P. laevigata* es una planta que libera sus hojas y corteza de manera gradual a lo largo del año (Pavon & Briones, 2001), en cambio, *P. praecox* es un arbusto que libera las hojas de forma más rápida. Ésta característica de *P. laevigata* representa un constante aporte de materia orgánica al suelo. En otros estudios encontraron que los nutrientes del suelo y la riqueza de especies aumentan de forma significativa en las islas de fertilidad, lo que favorece a los microorganismos que ahí habitan (Perroni-Ventura *et al.*, 2006; Shamir & Steinberger, 2006), ya que es un subsidio frecuente de nutrientes y recursos (agua, carbono, nitrógeno y fósforo, etc.) (Fassbender & Bornemisza, 1987). En nuestros resultados podemos observar que efectivamente la mayor cantidad de materia orgánica se registra bajo *P. laevigata* y en los primeros 10 cm (**fig. 13**), y no solo la caída de las hojas y los microorganismos representan una entrada de materia orgánica al suelo sino también los exudados radiculares y la presencia de la mesofauna (artrópodos, nemátodos). Debido a esto pensaríamos que el aporte de materia orgánica sería el factor que conduciría a una mayor riqueza de

especies de AVL. Encontramos pocas familias y especies diferentes de AVL en *P. laevigata* en comparación con *P. praecox* (**Tabla 6**). Además, las condiciones de materia orgánica de *P. praecox* podría verse reflejada en el tamaño, ya que las tallas de los organismos encontrados, era mayor en los primeros 10 cm en comparación con las talla de los organismos encontrados en las siguientes profundidades, donde los niveles de materia orgánica disminuían también. Por otra parte, el suelo desnudo fue el microambiente que presentó la menor cantidad de materia orgánica y la cual disminuye con el aumento de la profundidad (**fig. 13**) Hatar *et al.* (2010) reportaron que el gradiente de profundidad estaba correlacionado de manera negativa con la materia orgánica. La hojarasca puede ser por sí sola un factor determinante, no sólo como reservorio de nutrientes, sino también como una ayuda permanente para conservar la humedad. Además, la materia orgánica también permite la infiltración del agua, evitando la saturación de las arcillas y favoreciendo el paso del agua de manera controlada, lo que evita la erosión hídrica (Jones & Finlay, 2009).

#### Ortofosfatos y Nitratos

Los suelos salinos de tierra firme, por lo general, tienen bajos contenidos de nitratos y ortofosfatos (Fassbender & Bornemisza, 1987), por este motivo, el nitrógeno y el fósforo en el suelo de las zonas áridas son los elementos más limitantes después del agua (Whitford, 2002). También, uno de los procesos más importantes que se llevan a cabo en el suelo es la fijación del nitrógeno; este proceso depende de la disponibilidad de fósforo y carbono (como fuentes de energía) (Pérez, 2008). El fósforo forma agregados recalcitrantes en un suelo con un pH alcalino y muy soluble en pH ácidos y fáciles de lixiviar (Sanchez, 2007). En nuestros resultados observamos que el pH está en un nivel que se considera ligeramente alcalino (**fig. 12**), (Muñoz, 2000) lo que se considera óptimo para la solubilización de este nutriente, actividad que es llevada a cabo principalmente por las bacterias y por las raíces de las plantas, ya sea por la liberación de ácidos orgánicos o, mediante la acidificación que provocan los exudados de las raíces de las plantas (Jones *et al.*, 2009). Esto podría estar sucediendo en el caso de *P. laevigata* y *P. praecox*. En el suelo desnudo hay una menor cantidad de

ortofosfatos registrada (**fig 14**). López & López (1978) afirman que en suelos desnudos es frecuente encontrar bajos niveles de ortofosfatos y nitratos, como consecuencia de un excesivo calentamiento del terreno, originando que la materia orgánica se descomponga a gran velocidad y se volatilicen los compuestos nitrogenados. El suelo desnudo tiene valores de fosfatos, nitratos y materia orgánica muy similares a *P. praecox* pero están aún un poco abajo (**fig. 14**), esto se puede deber a los bajos niveles de materia orgánica, ya que no tiene un aporte seguro como es el caso de las especies vegetales y las islas de fertilidad que éstas forman. La poca materia orgánica que podría llegar al suelo desnudo no se acumula ni se descompone, ya que factores ambientales como el aire y la topografía o inclinación podrían transportarla (Fassbender & Bornemisza, 1987). Además, los animales ramoneadores también la podrían tomar tanto de los árboles como del suelo (Velázquez *et al.*, 2008). En el caso de *P. praecox* la liberación de hojas no es permanente como en el caso de *P. laevigata*. Lo que podría ser una explicación que la temporada en que *P. praecox* libera sus hojas y se descompone podríamos registrar cantidades de ortofosfatos altos en relación con el suelo desnudo, pero parecidos a *P. laevigata*, situación que no se registró durante este muestreo. El fósforo es reciclado en el suelo, función que pueden estar cumpliendo las AVL tomándolo de las bacterias y otros microorganismos del suelo que lo tienen secuestrado mediante la inmovilización (Rodríguez-Zaragoza *et al.*, 2005). En nuestros resultados, observamos una mayor cantidad de ortofosfatos en *P. laevigata* (**fig 14**) principalmente en los primeros 10 cm, aunque en relación con los demás microambientes *P. laevigata* tiene mayor cantidad de ortofosfatos (**fig. 14**) lo cual puede estar relacionado con la cantidad de materia orgánica que está entrando al sistema, liberado por la planta como se muestra en la gráfica de materia orgánica (**fig. 13**).

La disponibilidad de nitrógeno es, después de la disponibilidad de agua, un recurso limitante en las zonas áridas para la productividad primaria. La materia orgánica es también el principal aporte de este nutriente (**fig. 13**), ya que presenta un comportamiento similar al de la humedad y la materia orgánica en *P. laevigata* (**fig.15 y fig.14**). Los nitratos junto con los ortofosfatos, muestran correlación con

la materia orgánica ya que el aumento de materia orgánica se refleja en el aumento de estos dos elementos (fósforo y nitrógeno). La profundidad de 10-20 cm tiene un comportamiento raro, ya que disminuye considerablemente la cantidad en relación con los primeros centímetros. Herman, *et al.* (1994) realizaron un trabajo en un pastizal del desierto chihuahuense y reportaron que en una escala muy pequeña podrían observarse cambios significativos en la disponibilidad de nitratos. En el caso de *P.praecox* se observa que la cantidad de nitratos disminuye conforme aumenta la profundidad, lo que nos habla de que los nitratos se quedan en las capas superiores, pero que poco a poco va bajando, hasta quedar en menor cantidad (**fig. 15**) en las capas más profundas. Un fenómeno que puede ser considerado normal, pero que al igual que con los ortofosfatos, la cantidad de nitratos no sólo está en las plantas, sino también en los microorganismos, ya que al menos en las ADVL la riqueza de especies en *P. praecox* disminuye con el gradiente de profundidad, posiblemente porque disminuye el alimento, como reportaron Rodríguez-Zaragoza *et al.* (2008); ellos encontraron que la cantidad de bacterias y hongos bajo los arbustos disminuyó de la parte superior a la capa más profunda.

#### Densidad Aparente, Capacidad de Campo y Textura

La densidad aparente representa la relación que hay entre la masa del suelo y el volumen total incluyendo el espacio poroso y depende del peso específico de los minerales, el contenido de materia orgánica y el arreglo estructural. Esta característica es un buen indicador del comportamiento físico del suelo, ya que está relacionada directamente con el espacio poroso, y por consiguiente con el intercambio gaseoso y el flujo hídrico (Muñoz *et al.*, 2000). Nuestros valores están por encima de 1.0 debajo de 1.3 que se considera normal donde la aireación y el intercambio gaseoso son buenos, esto es importante ya que una alta compactación del suelo trae consecuencias graves para los microorganismos, debido a que no permite un adecuado intercambio gaseoso ni del paso del agua, porque recordemos que cuando disminuye el agua también la tasa metabólica de los organismos disminuye (González-Lozano & Rodríguez-Zaragoza, 2007), lo que

provoca una disminución en sus poblaciones. Situación que se refleja en la riqueza de especies registrada, donde el suelo desnudo a mayor profundidad presenta mayor densidad aparente (**fig. 7**). Sin embargo, la densidad aparente de todos los sitios no va a presentar diferencias significativas, pero podemos observar que estos valores no son muy altos en los 3 microambientes, lo que nos puede estar indicando que el suelo de los tres sitios podría tener un buen drenaje y una buena aireación, lo que es muy importante para las comunidades de ADVL. Rivera-Aguilar *et al.* (2009), en un estudio realizado en suelos con costras microbianas encontraron que la densidad aparente oscilaba entre  $0.8 \text{ g cm}^{-3}$  a  $1.2 \text{ g cm}^{-3}$ , siendo los valores más altos muy parecidos a los obtenidos en el presente trabajo.

La textura es una de las propiedades más relevantes en la fertilidad de los suelos ya que influye directamente en la retención de agua, flujo gaseoso y absorción de nutrientes. La textura se refiere a la proporción relativa de partículas de arena, limo y arcilla que forman la fracción mineral del suelo (Muñoz *et al.*, 2000) y que junto con la densidad aparente son importantes para la formación de los microambientes.

Comparación de las comunidades de AVL en los diferentes microambientes  
La terraza de Zapotitlán de las Salinas, Puebla se encuentra degradada y en un proceso natural de formación de tierras malas. Dentro de esta terraza encontramos 2 especies vegetales *P. laevigata* y *P. praecox*; estas 2 especies de leguminosas presentan características morfológicas diferentes, sin embargo, *P. laevigata* se encuentra mucho más representada dentro de la terraza que *P. praecox* (Dávila, 2003); esto podría deberse a la relación con los microorganismos, sobre todo, con los que fijan nitrógeno, y a la eficiencia para la captación de nutrientes en estos suelos. La presencia de la AVL puede acelerar los ciclos por medio del reciclaje de los nutrientes debido a la voracidad para depredar a las bacterias (Rodríguez-Zaragoza *et al.*, 2005). En la comparación de las comunidades de AVL del suelo de la zona de raíces de las especies vegetales, encontramos una mayor riqueza de especies en el suelo de la zona de raíces de

*P. praecox* en comparación con *P. laevigata* (**fig. 7**) y el suelo desnudo, sin embargo Perroni-Ventura y colaboradores en el 2006 reportaron que la riqueza de especies aumentan de forma significativa en las islas de fertilidad, no así en el suelo desnudo; esto se puede explicar porque en el análisis de los microambientes encontramos una mayor cantidad de humedad, lo que permite que la actividad microbiana se lleve a cabo con mayor eficiencia en estos lugares, *P. laevigata* presenta menor riqueza que *P. praecox* (**fig. 7**) y en el suelo desnudo fue donde se registró la menor riqueza de especies. Lo anterior debido a lo que podemos considerar como baja calidad del hábitat y la poca disponibilidad de los recursos que provoca una pérdida severa de microorganismos sobre todo en las zonas más profundas. La disminución de la humedad y la falta de nutrientes son determinantes para la presencia de las comunidades de AVL, ya que un hábitat con alta disponibilidad de recursos puede soportar una gran riqueza de especies en comparación con un hábitat que proporciona un reducido número de recursos (Wolda, 1986).

La zona de raíces de las especies vegetales representa una zona de recursos y de protección ya que las raíces favorecen, junto con las bacterias, la formación de agregados donde hongos y bacterias pueden protegerse de la depredación por parte de los protozoos (Narasinhani *et al.*, 2003). González-Lozano & Rodríguez-Zaragoza (2007) encontraron una mayor riqueza de especies en el suelo influenciado por las raíces de dos especies vegetales que en el suelo desnudo, pero *P. praecox* registra una mayor cantidad de especies que *P. laevigata*, esto podría estar correlacionado con la cantidad de exudados que libera la planta, ya que el estrés al que está sometida puede afectar la liberación de estos exudados (Jones *et al.*, 2009), lo que disminuiría inevitablemente las poblaciones de microorganismos. La disponibilidad de recursos y las redes tróficas que ocupan cada microambiente influyen en la riqueza de especies y en el ensamblaje de estas, ya que las amebas explotan diferentes recursos, algunas se alimentan exclusivamente de algas, hongos, levaduras, bacterias o protozoos, otras se pueden alimentar de algas y hongos o bacterias y hongos, mientras que otras como el caso de *Acanthamoeba* son omnívoras (Rodríguez-Zaragoza *et al.*, 2005), a su

vez, las amebas también sirven de alimento a otros organismos. En el ensamblaje de especies entre microambientes (especies vegetales y el inter espacio) y entre profundidades, la familia *Vahlkampfiidae* y los géneros *Vahlkampfia* y *Acanthamoeba* fueron quienes presentaron mayor frecuencia de aparición. Fue en *P. praecox* donde, además de la familia y géneros antes mencionados, se encontraron *Dactilamoeba*, *Hartmanella* y *Mayorella*. *Dactilamoeba* se alimenta de protozoos (González-Lozano & Rodríguez-Zaragoza, 2007) y se registró en las profundidades de 10 a 30cm, donde la presencia de estos organismos nos indican que sus presas están activas, por lo que ellas también lo están para alimentarse. En cambio *Hartmanella* es bacterívora y está presente en los primeros 20 cm por lo que su actividad nos indica la presencia de bacterias que estimulan a estas amebas a exquistar y alimentarse, y a su vez estas amebas bacterívoras servirán de alimento a otras (Guo y Berry, 1998), como por ejemplo a *Dactilamoeba*, que también se presentó, a su vez se puede alimentar de las amebas bacterívoras.

Las especies presentes en los microambientes fueron ligeramente parecidas, a las reportadas por González-Lozano & Rodríguez-Zaragoza en el 2007. Ellos reportaron que el ensamblaje de especies fue diferente para cada microambiente, como se muestra en la (Tabla. 7) de la riqueza de especies, en *P. laevigata* la mayoría de los organismos encontrados son bacterívoros y pertenecen a la familia *Vahlkampfiidae*, al igual que en *P. praecox*, donde sólo a excepción de *Dactilamoeba* que se alimenta de protozoos, las demás son bacterívoras, como *Vahlkampfia* y *Hartmanella*, además, en el suelo desnudo se encontraron organismos que se alimentan de hongos (fungívoros), como el género *Nuclearia*; este género, que ya había sido reportado anteriormente para suelo desnudo en Zapotitlán (González-Lozano & Rodríguez-Zaragoza, 2007), nos indica que pese a las condiciones extremas en el interespacio, los hongos sostienen la presencia de estas amebas. La presencia de una mayor riqueza de especies en *P. praecox* en comparación con *P. laevigata* y el suelo desnudo, nos indica que las condiciones de los microambientes en el suelo efectivamente puede determinar la presencia de los organismos del suelo. *P. laevigata* muestra una riqueza de especies menor que *P. praecox*, pero mayor que el suelo desnudo, siendo este último

---

*“Comparación de la comunidad de amebas desnudas de vida libre de la zona de raíces de Prosopis laevigata y Parkinsonia praecox, en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla”.*

microambiente donde se registró el ensamblaje de especies más pobre de los tres microambientes estudiados. El atraso en la temporada de lluvias y otras circunstancias en la escala de microambientes como por ejemplo: la compactación del suelo son fenómenos a los que está expuesta la terraza. Estas perturbaciones son más severas en los microambientes que no están protegidos por la cubierta vegetal, lo que se refleja en la disminución de los microorganismos, ya que si consideramos, que cuando se presenta una perturbación en una comunidad con poca riqueza de especies, el impacto es mayor que cuando se presenta en una comunidad con mayor riqueza de especies (Etienner & Olf, 2005).

# 11. CONCLUSIONES

---

- Los microambientes creados por las especies vegetales y el suelo desnudo son diferentes y se presenta una variación espacial de los factores fisicoquímicos dentro de cada microambiente.
- La especie vegetal que muestra mayor riqueza de especies en la terraza degradada fue *P. praecox*, seguida por *P. laevigata* y finalmente el suelo desnudo.
- Los primeros diez centímetros de profundidad, en las especies vegetales, muestran una mayor riqueza de especies y disminuye conforme aumenta la profundidad.
- La familia Vahlkampfiia son las AVL que dominan en el suelo ya que se encuentran presentes y muy bien representadas en todos los microambientes.
- Basándonos en las condiciones que presentan los microambientes, las profundidades y la riqueza de especies, podemos hablar de que los microambientes son los que determinan la presencia de los organismos en las zona de raíces de las especies vegetales y el suelo desnudo.

## 12. REFERENCIAS

- Aguilera, M. & Martínez, R. 1996. Relaciones agua, suelo, planta, atmósfera. Universidad Autónoma Chapingo. ISBN 968884368-7.4ª ed. 256pags.
- Alef, K. & P. Nannipieri. 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press, *Harcourt Brace & Company, publishers*, London. 576 pags.
- Anderson, O., Nerad, T. & Cole, J. 2003. *Platyamoeba nucleolilateralis* n. sp. From Chesapeake bay region. *Journal of Eukaryotic Microbiology* **50**: 57-60.
- Atlas, R. 1995. Principles of Microbiology. 1ª Edition. Ed. Mosby-Year Book, Inc. EUA. Pags. 887.
- Atlas, R. & Bartha, R. 2006. Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental. Ed. Pearson Addison Wesley. 4ª Edición. Madrid, España. pp. 360-372.
- Banforth, S. 1985. The role of protozoa in litters and soils. *Journal of Protozoology*. **32**: 404.
- Banforth, S. 1981. Terrestrial protozoo. *Journal of Protozoology*. **27**: 33.
- Barea, J., Olivares, J. 1998. Manejo de las propiedades biológicas del suelo. *En*: Jiménez Díaz, L.R. y R. Lamo de Espinosa (ed). Agricultura Sostenible. Editorial Mundi Prensa. Madrid, 173-193.
- Bonkowski M., Villenave., C., Griffiths B., 2009. Rhizosphere fauna: the functional and structural diversity of intimate interactions of soil fauna with plant roots. *Plant Soil*, 321: 213-233.
- Brussaard, L., Pulleman, M., Ouédraogo, É., Mando, A. & Six, J. 2007. Soil fauna and soil function in the fabric of the food web. *Pedobiologia*. **50**: 447-462.

- Buée, M., De Boer, W., Martin, F., Van Overbeek, L. & Jurkevitch, E. 2009. The rhizosphere zoo: an overview of plant-associated communities of microorganisms, including phages, bacteria, archaea, and fungi, and of some of their structuring factors. *Plant Soil*. **321**: 189-212.
- Buée, M., Courty, P., Mignot, D. & Garbaye, J., 2007. Soil niche effect on species diversity and catabolic activities in an ectomycorrhizal fungal community. *Soil Biology and Biochemistry*. **39**: 1947-1955.
- Canchaya, C., Fournous, G., Chibani-Chennoufi, S., Dillmann, M., & Brussow, H. 2003 Phage as agents of lateral gene transfer. *Curr Opin Microbiology*. **6**: 417-424.
- Cheng, W. 2009. Rhizosphere priming effect: Its functional relationships with microbial turnover, evapotranspiration, and C-N budgets. *Soil Biology and Biochemistry*. **41**:1795-1801.
- Couteaux, M. & Darbyshire, J. 1998. Functional diversity amongst soil protozoa. *Applied Soil Ecology*. **10**: 229-237.
- Dávila, P. 2003. La flora útil de dos comunidades indígenas del valle de Tehuacán-Cuicatlán: Coxcatlán y Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Unidad de Biotecnología y Prototipos FES-Iztacala, UNAM. CONABIO. pp33.
- Darbyshire, J.F., Soil protozoa, 1994, Wallingford (United kingdom), 209p
- Esteban, G. Clarke, K., Olmo, J. & Finlay, B. 2006. Soil Protozoa-An intensive study of population dynamics and community structure in an upland grassland. *Applied Soil Ecology*. **33**: 137-151.
- Etienne, S. & olff H. (2005). Confronting different models of community structure to species-abundance data: a Bayesian model comparison. *Ecology Letters* **8**: 493-504.
- Fairbridge, R. (edit).1968. Encyclopedia of Geomorphology. Reinhold Book, New York.
- Fassbender, H., Bornemisza, E., 1987. Química de suelos. Edit. Servicio editorial IICA, 5ª Edición, Costa Rica, 419pp.
- García, O. 1991. Influencia de la dinámica del paisaje en la distribución de la comunidades vegetales en la cuenca del río Zapotitlán, Puebla: México,

- Instituto de Geografía, UNAM, Investigaciones Geográficas, *Boletín* **23**: 53-70.
- Garbeva, P., van Veen, J. & Van Elsas, J. 2004. Microbial diversity in soil: Selection of Microbial Populations by Plant and Soil Type and Implications for Disease Suppressiveness. *Annual Review Phytopathology*. **42**: 243-270.
  - González-Ruiz, T. 2008. Dinámica poblacional de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre en suelo de dos terrazas aluviales con diferente nivel de deterioro del suelo en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.
  - Guo, Q. & Berry W. 1998. Species richness and biomass: dissection of the hump-shaped relationships. *Ecology* **79**: 2555-2559.
  - Gobat, J., Aragno, M. & Matthey, W. 2004. The living soil. Fundamentals of soil science and soil biology. Science Publishers Inc. Enfield. New Hampshire, U. S., 602p.
  - González-Lozano, E. 2005. Correlación de la riqueza de especies de amebas desnudas con los factores fisicoquímicos del suelo en una terraza degradada de la cuenca baja del río salado, Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis de maestría en ciencias biológicas (biología ambiental). Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. México D.F.
  - Hattar, B., Taimeh, A. & Ziadat, F. 2010. Variation in soil chemical properties along toposequences in an arid region of the Levant. *Catena*. **83**: 34-45.
  - Hauer, G., Rogerson, A. & Anderson, O. 2001. *Platiamoeba pseudovannellida* n. sp., naked amoeba with wide salt tolerance isolated from the Saltom Sea, California. *Journal of Eukaryotic Microbiology* **48**: 663-669.
  - Jones, D., Nguyen, C. & Finlay, R. 2009. Carbon Flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil-root interface. *Plant Soil*. **321**: 5-33.
  - Komadel, P. & Stucky, J. 1988. Quantitative assay of minerals for Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> using 1,10-phenanthroline.III. A rapid photochemical method. *Clays Clay Miner*. **36**: 379-381.

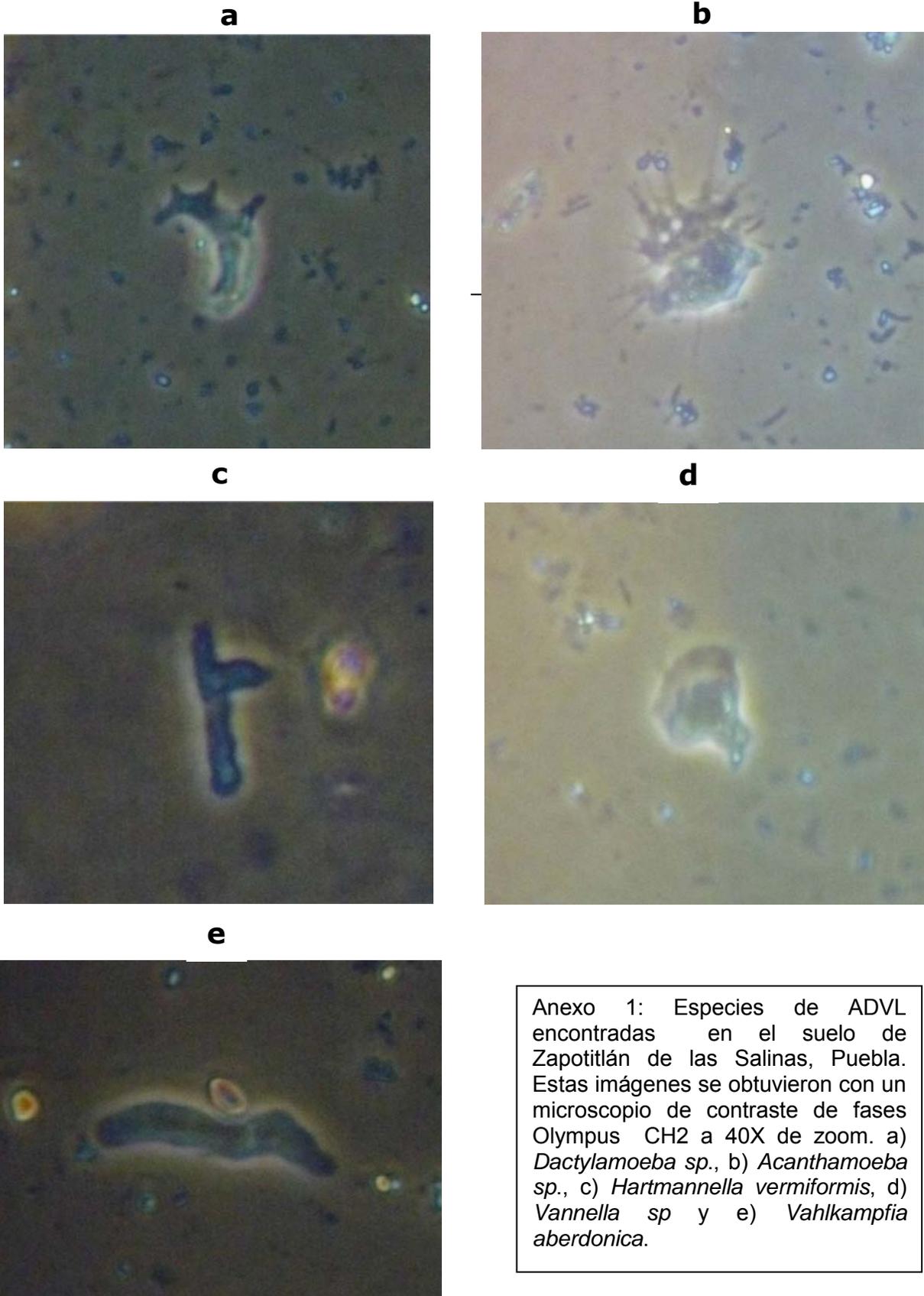
- Le, J., Leedale, G., Bradbury, P., 2000. The illustrated guide to the protozoa. *Society of Protozoologists. Lawrence, Kansas*.690-1432p.
- Li, Y., Dick, W. & Tuovinen, O. 2004. Fluorescence microscopy for visualization of soil microorganisms-a review. *Biology Fertility Soils*. **39**: 301-311.
- Lloret, L & Martínez-Romero, E. 2005. Evolución y filogenia de *Rhizobium*. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. **47**(1-2):43-60.
- Liste, H. & White, J. 2008. Plant hydraulic lift of soil water – implications for crop production and land restoration. *Plant Soil*. **313**: 1-17.
- López-Arenas, J. 2006. Determinación de las cuentas totales de bacterias y amebas de vida libre a lo largo del cerro del Cutac, Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis de maestría en ciencias biológicas (biología ambiental). Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. Mexico D.F.
- López, G., Muñoz, D., Hernández, M., Soler, A., Castillo, M. & Hernández, I. 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la sub cuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* tomo LVI, **1**: 19-41.
- López, R. & López, M. 1978. El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio. Mundi-Prensa. Madrid. 3ª edición. **337**:44-59.
- Martínez-Romero, E. 2009. Controversies in science. Coevolution in Rhizobium-Legume symbiosis?. *DNA and Cell Biology*. **28** (8): 361-370.
- Muñoz, D., Mendoza, C., López, G., Hernández, M. & Soler, A. 2000. Manual de análisis de suelos. Facultad de Estudios Superiores, Iztacala, UNAM.
- Muñoz, D., Mendoza, C., López, G., Hernández, M & Soler, A. 2007. Manual de análisis de suelos, Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, 85 pags.
- Narasinhham K., Basheer, C., Bajic, V. & Swarup, B. 2003. Enhancement of plant-microbe interactions using a rhizosphere metabolomics-driven

approach and its application in the removal of polychlorinated biphenyls. *Plant Physiology* **132**: 146-153.

- Page, F. 1976. An illustrated key to freshwater and soil Amoebae. Freshwater biological Association, *Ambleside*, Cumbria, U.K. 155 pags.
- Page, F. 1988. A new key to freshwater and soil gymnamoebae. Freshwater biological Association, *Ambleside*, Cumbria, U.K. 122 pags.
- Page, F. & Siemensma, F. 1991. Nackte rhizopoda and Heliozea. Gustab.Fisher Verlag, Stuttgart. 297p.
- Paul, E. & Clark. F. 1989. Soil Microbiology and Biochemistry. Ed. Academic Press, INC. San Diego, California. 275 pags.
- Pavon, N. & Briones, O. 2001. Phenological patterns of nine perennial plants in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environmental*. **49**: 265-277.
- Pen-Mouratov, S., Rodríguez-Zaragoza, S. & Steinberger, Y. 2008. The effect of *Cercidium praecox* and *Prosopis laevigata* on vertical distribution of soil free-living nematode communities in the Tehuacan desert, Mexico. *Ecology Research*. **23**: 973-982.
- Pérez, S., Pérez, C., Carmona, M., Farina, J. & Armesta, J. 2008. Efectos del fósforo y carbón lábiles en la fijación no simbiótica de N<sub>2</sub> en hojarasca de bosques siempre verdes manejados y no manejados de la isla de Chibé, Chile. *Revista Chilena de Historia natural*. **81**: 267-278.
- Perroni-Ventura, Y., Montaña, C. & García-Oliva, F. 2006. Relationship between soil nutrient availability and plant species richness in a tropical semi-arid environment. *Journal of Vegetation Science*. **17**:719-728.
- Richardson, A., Barea, JM., McNeill, A. & Prigent-Combaret, P. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant Soil*. **321**:305-339.
- Rivera-Aguilar, V., Godínez-Alvarez, H., Moreno-Torres, R. & Rodríguez-Zaragoza, S. 2009. Soil physico-chemical properties affecting the distribution of biological soil crusts along an environmental transect

- drylands, Mexico. *Journal of Arid Environments*. doi: 10.1016/j.jaridenv.2009.05.003.
- Rodríguez, H. & Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*. **17**: 319-339.
  - Rodríguez-Zaragoza, S. 1994. Ecology of free-living amoebae. *Critical Review Microbiology*. **20**: 225-241.
  - Rodríguez-Zaragoza, S., Gaviria, L. & Rivera, V. 2005. Riqueza de especies de amebas desnudas en la rizósfera de *Neobuxbaumia tetetzo* y *Prosopis laevigata* en el desierto del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. **2** (1): 54-64.
  - Rodríguez-Zaragoza & González-Lozano, 2007. Response of the Amoebae Community to soil Conditions Transiting to Badlands Formation in Progress in *Environmental Research*, Irma C. Willis (Edit.). Nova Science Publishers, Inc. pp 203-230.
  - Sánchez, R. 2007. Análisis comparativo de la calidad de suelos agrícolas y suelos protegidos por vegetación natural en la zona semiárida. Facultad de Estudios Superiores, Iztacala, UNAM.
  - Sandon, H. 1927. The Composition and distribution of the protozoan fauna of the soil. Oliver and Boyd. London. 237 pags.
  - Villaseñor, J., Dávila, P. & Chiang, F. 1990. Fitogeografía del valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. **50**:135-149.
  - Velázquez, I., Porras, A. & Touron, L. 2008. Estrategia de desarrollo sustentable para generar alimento y empleo: el gusano cuchamá en Zapotitlán Salinas, Puebla, México. *Argumentos* (México, D. F.). ISSN 0187-5795. **21**(56) 6p.
  - Wolda, H. 1986. Seasonality and the community. In: Gee, J. H. R. and Giller, P.S. (Eds.) Organization of community, past and present. 27<sup>th</sup> Symposium of the British Ecological Society *Blackwell Scientific Publication*, Oxford, U. K. 576p.

- Whitford, W. 2002. Ecology of desert systems. Academic Press, London. 343 pp.
- Wood, M. 1995. Environmental soil biology, Blackie academic & Professional, pp- 147.



Anexo 1: Especies de ADVL encontradas en el suelo de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Estas imágenes se obtuvieron con un microscopio de contraste de fases Olympus CH2 a 40X de zoom. a) *Dactylamoeba* sp., b) *Acanthamoeba* sp., c) *Hartmannella vermiformis*, d) *Vannella* sp y e) *Vahlkampfia aberdonica*.