



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**  
**ECOLOGÍA**

**TÍTULO DEL PROYECTO**

**Variación de la comunidad de rotíferos en zona de raíces de la  
vegetación, en una terraza aluvial degradada de Zapotitlán Salinas  
Puebla**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**PRESENTA:**

**Biólogo. Mario Ayala Arce**

**TUTOR(A) PRINCIPAL DE TESIS: Dr. Salvador Rodríguez Zaragoza**  
**FES-Iztacala UNAM**

**COMITÉ TUTOR: Dr. Alfonso Lugo Vázquez**  
**FES-Iztacala UNAM**

**Dr. Gustavo Alberto Montejano Zurita**  
**Facultad de Ciencias UNAM**

**MÉXICO, D.F. Mayo, 2015**



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.





**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**  
**ECOLOGÍA**

**TÍTULO DEL PROYECTO**

**Variación de la comunidad de rotíferos en zona de raíces de la  
vegetación, en una terraza aluvial degradada de Zapotitlán Salinas  
Puebla**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**PRESENTA:**

**Biólogo. Mario Ayala Arce**

**TUTOR(A) PRINCIPAL DE TESIS: Dr. Salvador Rodríguez Zaragoza**  
**FES-Iztacala UNAM**

**COMITÉ TUTOR: Dr. Alfonso Lugo Vázquez**  
**FES-Iztacala UNAM**

**Dr. Gustavo Alberto Montejano Zurita**  
**Facultad de Ciencias UNAM**

**MÉXICO, D.F. Mayo, 2015**

**Dr. Isidro Ávila Martínez**  
**Director General de Administración Escolar, UNAM**  
**Presente**

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 22 de septiembre de 2014, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** del alumno **AYALA ARCE MARIO**, con número de cuenta **401011232**, con la tesis titulada **"VARIACIÓN DE LA COMUNIDAD DE ROTÍFEROS EN ZONA DE RAÍCES DE LA VEGETACION, EN UNA TERRAZA ALUVIAL DEGRADADA DE ZAPOTITLÁN SALINAS PUEBLA."**, realizada bajo la dirección del **DR. SALVADOR RODRÍGUEZ ZARAGOZA**:

Presidente: DR. VICTOR MANUEL RIVERA AGUILAR  
Vocal: DRA. ELIZABETH ORTEGA MAYAGOITIA  
Secretario: DR. GUSTAVO ALBERTO MONTEJANO ZURITA  
Suplente: DRA. ANA ELENA ESCALANTE HERNÁNDEZ  
Suplente: DR. ALFONSO LUGO VÁZQUEZ

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, D.F., a 19 de marzo de 2015.

*M. del Coro Arizmendi*

**DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA**  
**COORDINADORA DEL PROGRAMA**



## **Agradecimientos**

Quiero expresar mis más cordiales agradecimientos al **Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM** por darme la oportunidad de obtener un grado académico en el campo de la **Ecología**, obteniendo con esto las herramientas necesarias que me permitieron ganar mayor experiencia y encontrarme en la frontera global dentro de mi proyecto de investigación.

Quiero agradecer inmensamente al consejo nacional de ciencia y tecnología (**CONACYT**), por el otorgamiento Becas CONACYT nacionales **CVU: 310674**, durante mi estancia en el posgrado debido a que con este inmenso apoyo se ha logrado este grado académico.

Además debo mencionar que en este trabajo también fue financiado por proyectos para los cuales quiero mencionar y agradecer: PAPIIT-IN217112-2, Titulado "Estructuración de comunidades microbianas en suelo de leguminosas, cactáceas y costras biológicas de Zapotitlán Salinas, Puebla. PAPCA UNAM 2012-2013. PAPIIT IN219914.

Otros apoyos otorgados para las salidas Nacionales e internacionales muy importantes para mi trabajo fueron otorgados por el Posgrado de Ciencias Biológicas (**Apoyos PAEP**), por los cuales me siento muy agradecido.

Para la realización de este trabajo de tesis conté con el valiosísimo apoyo del comité tutor. Los cuales en todo momento estuvieron atentos y presentes. Por un lado el **Dr. Alfonso Lugo Vázquez** aportando en el escrito y revisiones del trabajo, además de que ha estado a lo largo de mi formación profesional por lo cual no encuentro palabras para agradecerle su atención hacia mi persona.

También quiero agradecer al **Dr. Gustavo Alberto Montejano Zurita** por sus valiosísimas aportaciones durante los ajustes al trabajo teórico práctico. Por lo cual quiero externar mis agradecimientos debido a que con su experiencia y aportaciones se logro conducir hacia el camino correcto de mi trabajo, logrando con esto los objetivos planteados.

## **Agradecimientos personales**

Quiero agradecer principalmente a los que participaron en la elaboración de este trabajo:

Al grupo de trabajo de microbiología encabezado por el Dr. Víctor Manuel Rivera Aguilar, por su valioso apoyo a las salidas de campo, debido a que sin este no se hubiera logrado la realización de este trabajo. En especial agradezco a Jesús Bazán Cuenca por incluirme en el campo de la microbiología de zonas áridas en especial con los rotíferos. También quiero expresar mis agradecimientos a la Dra., Angélica Serrano Vázquez por sus valiosísimos aportes al trabajo, al candidato a Dr. Horacio Pérez Juárez por sus comentarios puntuales en general, a P.M. en. C. Abbid Hernández Chimal, por compartir conocimiento e impulsos con el atletismo. A Isabel Antonio Luna, por hacer del trabajo más agradable con sus charlas, aportes y consejos. Quiero mencionar a Marisol, Jacobo, Eli y Mariela como integrantes de grupo.

Mis agradecimientos al Laboratorio de Microfotografía FES-Iztacala a cargo del profesor Héctor Octavio Godínez Álvarez. Por sus atenciones y el apoyo brindado para la toma de microfotografías y a el profesor Pablo que siempre estuvo atento.

Por último y no menos importante también quiero agradecer al Dr, Salvador Rodríguez Zaragoza el director de esta orquesta, el cual me abrió las puertas del laboratorio permitiendo la elaboración de este trabajo, además de que al fungir como tutor llevo en buen rumbo mi trabajo de tesis.

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar este trabajo a los pilares de mi formación, a mis padres: *Abundio Ayala Domínguez y Margarita Arce Ortiz.*

También quiero mencionar a mis hermanos. *Araceli, María Elena, Ubaldo, Saúl, Raquel, Elvira, Daniel y José Luis. Y familiares en general.*



## ÍNDICE

	Pág.
Resumen	1
Abstrac	3
Introducción	4
Ciclo de vida de rotíferos	5
Antecedentes	8
Diversidad y distribución de rotíferos en suelos	8
La vegetación de zonas áridas	9
Terrazas aluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla	10
Hipótesis	11
Justificación	12
Objetivos	13
Objetivo general	13
Objetivos particulares	13
Material y método	14
Área de estudio	14
Colecta del material	16
Extracción de rotíferos	16
Mantenimiento de cepas	17
Análisis de huevos de resistencia y organismos en anhidriobiosis	18
Extracción de rotíferos, análisis de huevos de resistencia y organismos en anhidriobiosis en campo	19
Parámetros fisicoquímicos	19
Análisis de datos	20

Resultados	21
Riqueza de rotíferos	21
Variación espacial y estacional de rotíferos	22
Densidad de rotíferos en cada microambiente	25
Densidad de rotíferos por especie	26
Huevos de resistencia y rotíferos en anhidrobiosis aislados por resuspensión.	29
Riqueza de rotíferos Bdelloidea aislados por método de re-suspensión	29
Densidad de rotíferos Bdelloidea aislados por método de re-suspensión	30
Densidad de rotíferos en anhidrobiosis por especie aislados por re-suspensión	31
Características fisicoquímicas del suelo	34
Discusión	39
Variación espacio-temporal de la riqueza de rotíferos	39
Distribución espacio-temporal de la diversidad de rotíferos	43
Análisis de la abundancia de rotíferos, huevos de resistencia y rotíferos en anhidrobiosis	45
Conclusiones	48
Recomendaciones	49
Bibliografía	50

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### ÍNDICE

	Pág.
Ciclo de vida de rotíferos	7
Área de estudio	3
Terraza aluvial	15
Materiales para la extracción de rotíferos	19
Extracción de rotíferos “ <i>in situ</i> ”	20
Resultados	
Ubicación taxonómica de rotíferos localizados en la terraza	22
Abundancias de rotíferos localizados en la terraza	24
Densidad de rotíferos en cada microambiente	26
Densidad de rotíferos durante el ciclo anual	28
Huevos de resistencia y rotíferos en anhidrobiosis aislados por re suspensión.	30
Riqueza de rotíferos Bdelloidea aislados por método de re-suspensión	30
Densidad de rotíferos Bdelloidea aislados por método de re-suspensión	31
Densidad de rotíferos en anhidrobiosis por especie aislados por re suspensión	31
Tablas de ANOVA	35
Correlación de la abundancia de rotíferos y fisicoquímicos	36
Análisis de regresión lineal de la abundancia de rotíferos y los fisicoquímicos	37
factorial	
Diagrama de variables fisicoquímicos en primer plano	38

## RESUMEN

Los rotíferos en suelo colonizan una gran variedad de ambientes que presentan condiciones impredecibles por medio de anhidrobiosis. Los rotíferos que entran en esta etapa clave de su ciclo biológico tendrán mayor esperanza de vida, a pesar de que pueden enfrentarse a menor fecundidad y retraso en la maduración. La materia orgánica y en su mayoría la disponibilidad de agua son factores principales que determinan la presencia de rotíferos en medio terrestre. El objetivo de esta investigación fue determinar la variación de la comunidad de rotíferos en la zona de las raíces de dos leguminosas *Parkinsonia praecox* y *Prosopis laevigata*; una cactácea *Geometrizans myrtillocactus* y entre plantas interespacio, durante el cambio de estaciones en una terraza aluvial degradado del desierto de Tehuacán, Puebla. La riqueza de especies de rotíferos, en zona de raíces y el interespacio fue determinada por examinación al microscopio, también las estructuras de resistencia y los rotíferos activos in situ fueron confirmados. Se realizó un análisis de correlación múltiple y se encontró correlación de la riqueza de especies con la temperatura, humedad, pH y materia orgánica en los microambientes. La riqueza de rotíferos fue alta en zona de raíces de leguminosas y cactáceas en septiembre y Mayo, mientras la cactácea mostro mayor riqueza en diciembre y Abril. La variación de la densidad de rotíferos se correlacionó positivamente con la materia orgánica, mientras que el impacto de la temperatura y el pH fue negativo y la humedad parece no tener ninguna influencia en la composición y abundancia de las especies de rotíferos.

Los huevos de resistencia del género *Lecane* están ausentes en el suelo de todos los microambientes sin embargo, especies aisladas de estos suelos y cultivadas en condiciones de laboratorio producen este tipo de estructuras. Además, la presencia de rotíferos activos de la subclase *Bdelloidea* se confirmó en todos los ambientes. Así que la actividad de rotíferos *Bdelloidea* en esta área no se vio limitada por la disponibilidad de agua en los suelos, por lo tanto, llegamos a la

conclusión de que la reestructuración de las comunidades de rotíferos se ven influenciadas por el tipo de especies vegetales presentes en este lugar.

Palabras clave: diapausa, ecología microbiana, Zonas áridas, leguminosas y cactáceas.

## Abstrac

Soil rotifers colonize a great variety of environments that present unpredictable conditions by means of anhydrobiosis. Rotifers entering this key stage of their biological cycle will have longer lifespan, although they may face lower fecundity and delayed maturity. Organic matter and mostly water availability are the main factors determining the presence of rotifers in terrestrial environment. The aim of this investigation was to determine the rotifers community variation in the roots zone of two legumes *Parkinsonia praecox* and *Prosopis laevigata*; one cactus *Myrtillocactus geometrizans* and the interspace between plants during the change of seasons in a degraded alluvial terrace of Tehuacán desert, Puebla. Species richness of rotifers in the plants root zone and interspace was determined by microscopic examination, structures of resistance were identified and presence of active rotifers in situ from plants root zone was confirmed. Multiple correlation test yielded correlation of species richness with temperature, humidity, pH and organic matter of microenvironments. Richness of rotifer was higher in roots zone of legumes and cactaceae in September and May while cactaceae showed higher diversity in December and April.

Density of rotifer variation was positively correlated with organic matter while the impact of temperature and pH was negative and humidity seems to have no influence in composition and abundance of rotifers species. Lecanes resistant eggs were absent in the soil of all microenvironments. However, species isolated from these soils and cultivated under laboratory conditions produced such structures. Also, the presence of active rotifers of subclass Bdelloidea was confirmed in all environments. So the activity of rotifers Bdelloidea in this area was not limited by water availability in soils, therefore we conclude that restructuration of communities of rotifers is influenced for the type of plant species present in this place.

## INTRODUCCION

El suelo es un sistema regulador de los procesos biogeoquímicos mediante la descomposición y la mineralización de la materia orgánica, con lo que estimula el ciclaje de nutrientes. Las comunidades de microorganismos del suelo abarcan múltiples niveles tróficos que facilitan los procesos antes mencionados, así como la remoción de contaminantes (Bissett, 2013). Las comunidades de microorganismos heterótrofos del suelo regulan los procesos clave del ciclo del carbono (C) y del nitrógeno (N) en el ecosistema, y potencialmente representan la relación mecanicista entre la diversidad de plantas y la función del suelo (Zak, *et al.*, 2003). La mesofauna del suelo (nemátodos, rotíferos, tardígrados, gastrotricos) funciona como catalizador de la actividad microbiana, interviniendo en la descomposición de la materia orgánica, acelerando el ciclaje de los nutrientes al consumir bacterias, hongos, algas, protozoos y permitiendo la diseminación de esporas. Además, la mesofauna del suelo participa de manera importante en la mineralización del fósforo (P) y del nitrógeno (N) (García-Álvarez y Bello, 2004).

Los rotíferos del suelo son un grupo de organismos poco estudiados y que pertenecen a la mesofauna, (Devetter, 2009a). Son invertebrados abundantes (Ricci, 2000), se ha reportado que sus densidades van desde los  $4 \pm 2$  ind/m<sup>2</sup>, hasta  $516 \pm 48$  ind/m<sup>2</sup> (Devetter, 2011). El tamaño de estos organismos es de 100  $\mu$ m a 1 mm, y son depredadores de bacterias, hongos y algas (Schmid-Araya, 1998). Además participan activamente en parte del ciclo de los nutrientes de los ecosistemas terrestres y, son un componente importante en las redes tróficas edáficas, (Anderson *et al.* 1984: Michael 2011). El Phylum Rotifera incluye a la subclase Monogononta y Bdelloidea. Por un lado, la subclase Monogononta se caracteriza por ser muy diversa en ambientes acuáticos y que cuenta con 1800 especies descritas a la fecha, con tan solo un 10% de éstas presentes en ambientes terrestres (Michael. 2011). Por otro lado, para la subclase Bdelloidea se han descrito 480 especies en ambientes terrestres pero su diversidad aún no ha sido del todo explorada (Segers, 2012).

Por ejemplo: los rotíferos Monogonontas pertenecientes al género *Lecane* en general soportan condiciones de agua dulce y salada, son abundantes en los hábitats litorales y son de interés biogeográfico. Este género es considerado entre los más diversos dentro del grupo Monogononta (Segers, 1996). Además este grupo de rotíferos tiene gran importancia en las redes tróficas debido a que forma parte de la dieta de varios invertebrados bentónicos y vertebrados, por lo que funcionan como enlace entre productores primarios y consumidores (Wallace et al., 2006).

Por otro lado los Bdelloides son rotíferos que se distribuyen en ambientes terrestres y se han reportado en hábitats donde las condiciones de temperatura son extremas, la disponibilidad de alimento es muy limitada y las condiciones químicas del suelo y su contenido de agua cambian rápidamente y de manera impredecible, teniendo la sequía como una constante (Ricci, 2005). Las condiciones de estrés ambiental, inestabilidad e incertidumbre favorecen a poblaciones de Bdelloides (Melone, 2005), lo que ha permitido a cada especie desarrollar características propias a lo largo de su historia natural que le permiten afrontar estas condiciones de manera distinta.

#### Ciclo de vida de rotíferos

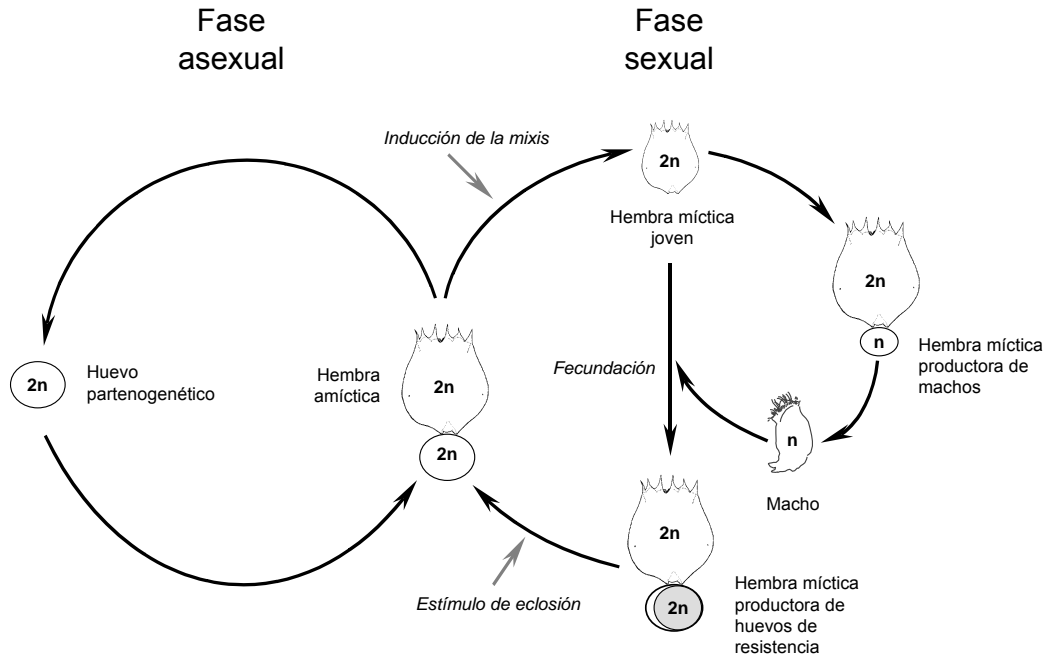
Los rotíferos Monogonontas se caracterizan por presentar partenogénesis cíclica, (es decir reproducción asexual por partenogénesis y reproducción sexual alternadas); su ciclo biológico se inicia con la reproducción asexual partenogenética (sólo hay presencia de hembras). La producción de machos (mixis) se estimula por factores tales como el hacinamiento, la falta de recursos, cambios en el fotoperiodo, la temperatura y por la presencia de depredadores o la desecación del cuerpo de agua. Con la emergencia de los machos se fecundan a las hembras, las cuales producen huevos de resistencia que se quedarán como



reservorios en los sedimentos y eclosionarán cuando las condiciones vuelvan a ser favorables (Fig. 1).

Los rotíferos Bdelloidea sólo presentan la fase asexual (no se observa la presencia de machos), son vivíparos y ovíparos, no hay producción de huevos de resistencia y la latencia prolongada de este grupo de rotíferos se debe a la anhidrobiosis. Este tipo de latencia conduce a la pérdida de la mayor parte de su agua corporal en un periodo de 30 min, después de los cuales el rotífero entra en un estado metabólicamente inactivo hasta que las condiciones vuelven a ser favorables. La salida de latencia se lleva a cabo en un periodo aproximado de 7 horas, pero este tiempo dependerá de la especie (Ricci 1998), de su historia de vida y de las condiciones bióticas donde se encuentren los rotíferos (Caprioli y Ricci 2001). La anhidrobiosis es un evento clave en su ciclo de vida que les permite una mayor esperanza de vida, aunque reduce su fecundidad y retrasa la maduración de los organismos (Ricci 1998).

En general las fluctuaciones de las poblaciones de rotíferos responden a diferencias en la tasa de reproducción, la disponibilidad de recursos, cambios importantes de temperatura, humedad, pH y materia orgánica.



**Figura 1.** Ciclo de vida típico de partenogénesis cíclica de rotíferos (Ciros-Pérez 2001).

## Antecedentes

### Diversidad y distribución de rotíferos en suelos

Los reportes de rotíferos en suelo en nuestro país son pocos, y sólo hay un reporte previo de rotíferos del suelo en el que se identificó una nueva especie (*Macrotrachela sonorensis*) en la zona de raíces de cactáceas en el desierto de Sonora (Orstan, 1995).

En estudios realizados en la parte oriental de Corea, Song y Kim en el 2000, reportaron 38 especies de rotíferos entre los cuales destacan: *Dissotrocha aculeata reversa*, *Habrotrocha plana*, *Macrotrachela bullata*, *Bradyscela granulosa*, *Habrotrocha gracilis gracilis*, *Macrotrachela latior*, *Philodina duplicalcar* y *Philodina rugosa coriácea*.

En otro estudio en la República Checa se determinó la variación estacional y distribución vertical de rotíferos en suelo en un bosque natural compuesto principalmente de hayas (*Fagus sylvatica*), mezclado con el abeto rojo (*Picea abies*) y arce (*Acer pseudoplatanus*). La elevación del sitio es a 1026 msnm, la precipitación media anual es de 700-900 mm y la temperatura del aire es de 5-7 °C. Se encontraron 31 especies, las más abundantes fueron *Encentrum arvicola* y *Wierzejskiella vagneri* entre los monogonontes y los rotíferos bdeloideos más abundantes fueron: *Adineta steineri*, *Ceratotrocha cornigera*, *Habrotrocha filum*, *Habrotrocha ligula*, *Plicata* sp., *Macrotrachela tentans*, *Mniobia* sp., *Mniobia incrassata* y *Mniobia granulosa*. La mayor abundancia se localizó durante el mes de mayo y esta abundancia encuentra asociada a materia orgánica; durante este mes la capa de hojarasca en el perfil vertical fue mayor y ocurre la primera fermentación de la misma (Devetter, 2009).

También se ha desarrollado una técnica para la extracción de rotíferos del suelo, la que ha permitido estudiar su distribución espacial y temporal (Devetter, 2010).

Lo anterior ha permitido estudiar los cambios de las comunidades de rotíferos en la superficie del suelo en una zona minera con vegetación de bosque, donde se encontraron 34 especies de rotíferos, y sus densidades variaron de  $4 \pm 2$  ind/m<sup>2</sup>, a 103 ind/m<sup>2</sup>, hasta  $516 \pm 48$  ind/m<sup>2</sup>. Las especies más comunes fueron: *Encentrum arvicola*, *Adineta vaga*, *Habrotrocha rosa*, *Macrotrachela quadricornifera*. Se encontró que las concentraciones de sodio y la edad de la parcela afectan positivamente la diversidad de estos organismos (Devetter, 2011).

En muestras de suelo de una planicie de inundación perteneciente al parque nacional Duna-Dráva, en Hungría se encontraron un total de 31 especies de rotíferos, 14 de ellas son nuevas para la fauna húngara (Scholl y Devetter, 2013).

#### La vegetación de zonas áridas

La vegetación en zonas áridas y semiáridas se encuentra distribuida en parches (Belnap, 2008), algunos de ellos dominados por las leguminosas y cactáceas. Estas plantas presentan adaptaciones a cambios significativos de temperatura durante el día y al estrés hídrico que está presente durante la mayor parte del año. *Prosopis glandulosa* produce raíces muy profundas para tener acceso al agua almacenada en la profundidad del suelo, mientras *Bouteloua eriopoda* presenta raíces fibrosas que se hinchan por la absorción de humedad disponible antes de que ésta se evapore (Herman, 2000).

Las leguminosas proveen de sombra a las plántulas de otras especies que se desarrollan bajo su dosel, el que les proporciona humedad y protección ante los rayos ultravioleta (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991). Además las especies vegetales sirven de lugares de percha para las aves, producen comida para roedores e insectos, permitiendo que su zona de raíces sirva como un microambiente adecuado para el desarrollo de los microorganismos del suelo. Por lo anterior, cuando la distribución de las leguminosas es de vegetación tipo sabana promueven la formación de islas de fertilidad capaces de soportar comunidades

vegetales y microbianas bajo el dosel (Perroni-Ventura. 2007; González-Ruiz *et al*, 2007)., facilitando los procesos en el ciclaje de nutrientes en ambientes terrestres, lo que facilita el establecimiento de plantas en esta zona (Valiente-Banuet *et al*, 2000.; Perroni-Ventura *et al*, 2006., González-Ruiz *et al*, 2007).

#### Terrazas aluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla

Zapotitlán Salinas (ver descripción más adelante) es una zona desértica intertropical producida por la sombra orográfica de la Sierra Madre Oriental. Esta zona, localizada en la cuenca oriental del Valle de Tehuacán recibe pulsos de humedad provenientes del Golfo de México. Posee un sistema de terrazas formadas por el río Salado las cuales tienen diferentes grados de degradación natural y por factores antropogénicos. El suelo de las terrazas es un mosaico de microrregiones que varían ampliamente en cuanto a la composición de nutrientes, salinidad, y compactación. En las regiones desprovistas de vegetación, las costras biológicas participan en los procesos de formación de suelo retienen la humedad, facilitan la fijación de carbono y nitrógeno y disminuyen la erosión de suelos áridos y semiáridos (Belnap *et al.*, 2008). Las costras biológicas están formadas por comunidades en la superficie del suelo que pueden ser sólo de bacterias o incluir una mayor riqueza taxonómica dada por la presencia de algas, musgos, líquenes y hongos no liquenizados (Belnap, *com per*). La composición taxonómica de cada tipo de costra varía en función de las condiciones ambientales a las que esté sujeta cada una de ellas (Rivera *et al.*, 2006).

La vegetación de las terrazas está compuesta principalmente por leguminosas (*Parkinsonia praecox* y *Prosopis laevigata*) y cactáceas (*Myrtillocactus geometrizans*), que funcionan como islas de fertilidad y en conjunto facilitan el establecimiento de otras plantas y microorganismos del suelo. También se ha descrito que mejoran las propiedades del suelo por la acumulación de materia orgánica y mitigan significativamente las condiciones bióticas del mismo (Rodríguez-Zaragoza, 1994, Richardson *et al.*, 2009), permitiendo así la

germinación de otras especies vegetales y el establecimiento de microorganismos del suelo (González- Ruiz et al., 2008). En conjunto las terrazas funcionan como islas de fertilidad y hacen de la zona de estudio un laboratorio biológico importante para el estudio de comunidades microbianas.

Los estudios en las terrazas se han enfocado en comprender la dinámica de factores físico-químicos del suelo (Serrano-Vázquez *et al*, 2013), y su relación con la distribución y abundancia de costras biológicas en el suelo (Rivera *et al.*, 2008; Mendoza-Orozco, 2012). Se tiene ya un conocimiento previo de la dinámica poblacional de bacterias fijadoras de nitrógeno (González-Ruiz, 2008), así como de la distribución de comunidades microbianas (Rodríguez-Zaragoza, 2008) y nemátodos de la zona de raíces de leguminosas (Pen-Mouratov, 2008). Además se están caracterizando morfológica y molecularmente algunos grupos de microorganismos (bacterias, cianobacterias, amebas) asociados a las costras biológicas (Rivera, *com pers*). Sin embargo existe muy poca información sobre la diversidad y distribución de rotíferos en estos ambientes.

Por todo lo descrito anteriormente nos planteamos la siguiente pregunta:

¿Cuál es la variación estacional de la comunidad de rotíferos en la zona de raíces de dos leguminosas, una cactácea y en el interespacio en una terraza aluvial degradada de Zapotitlán Salinas, Puebla?

## **Hipótesis**

Si las plantas propician diferencias en las condiciones de temperatura, humedad, pH, salinidad y cantidad de materia orgánica en el suelo de su zona de raíces, entonces los microambientes producidos por *P. laevigata*, *P. praecox* (leguminosas), *M. geometrizzans* (cactácea) y el interespacio mostrarán diferencias estacionales y espaciales en cuanto a la composición y abundancia de especies de rotíferos.

## **Justificación**

La disponibilidad de los nutrientes en el suelo depende del funcionamiento de las redes tróficas en las que los microorganismos son los encargados de degradar y transformar aún las estructuras orgánicas más recalcitrantes, pero se requiere de la depredación de los primeros para que los nutrientes queden liberados en el sistema y se mantenga o acelere la productividad del mismo. Los rotíferos del suelo intervienen en este proceso porque depredan microorganismos y representan una liga trófica de estos con la meso-fauna, De esta manera, el conocimiento de las especies de rotíferos presentes puede ayudar a entender las variaciones en el funcionamiento de las redes tróficas, lo cual puede ayudar a predecir alteraciones en la productividad de los sistemas edáficos así como en el diseño de estrategias para el manejo y la conservación del suelo en zonas áridas.

## Objetivos

### Objetivo general

Determinar la variación estacional de la comunidad de rotíferos asociadas a dos leguminosas (*P. laevigata* y *P. praecox*), una cactácea (*M. geometrizzans*) y en el interespacio de una zona de vegetación, en una terraza aluvial degradada de Zapotitlán Salinas, Puebla.

### Objetivos particulares

- 1).- Determinar la riqueza de especies de rotíferos en los primeros 10 cm del suelo de la zona de raíces de *P. laevigata*, *P. praecox*, *M. geometrizzans* y suelo de interespacio en un fragmento de vegetación de una terraza degradada durante un ciclo estacional constituido por: época seca, lluvias ligeras (secano o canícula), lluvias torrenciales y final de la época de lluvias en Zapotitlán Salinas, Puebla.
- 2).- Cuantificar las estructuras de resistencia de los rotíferos en los diferentes microambientes (zona de raíces de la vegetación de las distintas especies e interespacios) y durante los cambios estacionales (época seca, lluvias ligeras, lluvias torrenciales y final de lluvias).
- 3).- Determinar la temperatura, humedad, pH y contenido de materia orgánica oxidable del suelo en los diferentes microambientes (zona de raíces de la vegetación de las distintas especies vegetales e interespacios) y durante los cambios estacionales (época seca, lluvias ligeras, lluvias torrenciales y final de lluvias).
- 4).- Realizar un análisis de componentes principales con los parámetros físicos del suelo con la presencia de las especies de rotíferos en los diferentes microambientes (zona de raíces de la vegetación de las distintas especies vegetales e interespacios) y durante los cambios estacionales (época seca, lluvias ligeras, lluvias torrenciales y final de lluvias).

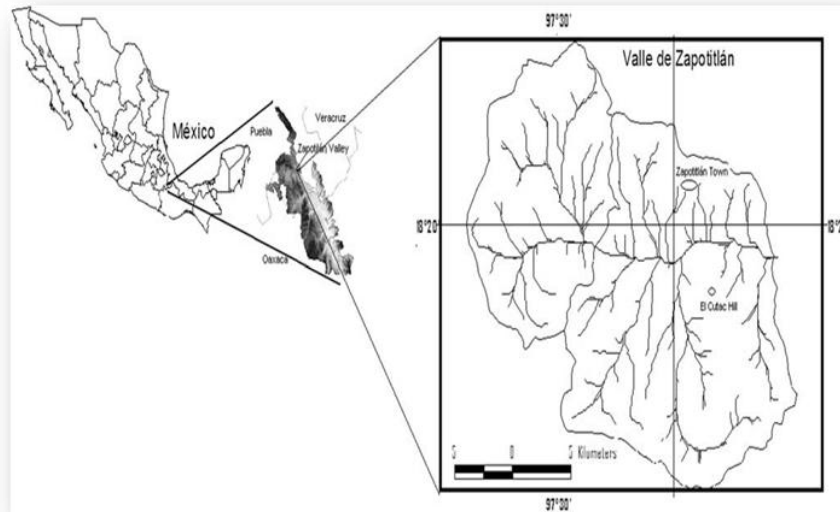


## Materiales y Métodos

### Área de estudio

Zapotitlán Salinas se localiza en el estado de Puebla y forma parte de la reserva de la biósfera de Tehuacán-Cuicatlán (Figura 2), esta región cuenta con un sistema de terrazas aluviales formadas a lo largo del río Salado (entre 18 ° 12 ' y 18 ° 25' latitud N y 97 ° 24' y 97 ° 25' longitud W), la zona de estudio presenta un gradiente altitudinal que va desde los 1460 a los 2600 m sobre el nivel del mar (Torri y Rudolf, 2000). La temperatura media anual es de 21°C y la precipitación media es de 400 a 450 mm (López-Galindo *et al.*, 2003). La estacionalidad se divide en una larga sequía que se presenta desde finales de diciembre hasta abril, seguida por una breve temporada de lluvia (primera temporada de lluvias), que puede ocurrir en mayo - junio a la que normalmente le sigue una temporada sin lluvias (canícula o secano) entre julio y principios de agosto, y por último las lluvias fuertes o torrenciales (segunda temporada de lluvias), que inician con la temporada de huracanes en el Golfo de México (típicamente en agosto).

La geomorfología de las terrazas es de superficies relativamente planas y suelos profundos (López-Galindo *et al.*, 2003) (Figura 3), mientras que los tipos de suelos son regosoles calcáricos y Fluvisoles (según FAO-WRB, 2006) (López-Galindo *et al.*, 2003). La vegetación está compuesta principalmente por matorral xerófilo dominado por una leguminosa *Prosopis laevigata*, seguido por dos cactáceas *Pachycereus hollianus* y *Myrtillocactus geometrizans*. También se encuentra *Parkinsonia praecox* que es una leguminosa menos abundante y que se localiza dispersa en las terrazas (Osorio-Beristain *et al.*, 1996.; Valiente-Banuet *et al.*, 2000).



**Figura 2.-** Localización del área de estudio (valle de Zapotitlán Salinas, Puebla), según Pen-Mouratov *et al.*, 2008.



**Figura 3.-** Fragmento con vegetación de la terraza degradada en los linderos con el Jardín Botánico Helia Bravo Hollis en Zapotitlán Salinas, Puebla. Foto tomada durante el muestreo correspondiente al final de la temporada de lluvias torrenciales (diciembre 2012).

## Colecta del material

Se colectaron muestras de los primeros 10 cm de profundidad del suelo de la zona de raíces de *P. praecox*, *P. laevigata*, y *M. geometrizans*, en un radio de 50 cm alrededor del tronco, mediante un nucleador de 5 cm de diámetro. Se determinó como interespacio al suelo sin cobertura de las plantas, o entre ellas y se muestreó de la misma forma. Por ello, las muestras representan 4 microambientes con cuatro repeticiones para cada uno. Los muestreos se realizaron durante un ciclo anual de lluvia y sequía. Este ciclo se compone de 4 temporadas estacionales bien diferenciadas en la zona de estudio: sequía (15/05/2012), lluvias torrenciales (15/09/2012), fin de lluvias (9/12/2013) y sequía prolongada (15/04/2014). Las muestras fueron transportadas al laboratorio en bolsas auto-sellables Ziploc® para su procesamiento inmediato (Orstan, 1995). Se registró la temperatura del suelo en cada microambiente con un termómetro de campo modelo Reotemp al momento de la toma de muestras y la determinación de la humedad se llevó a cabo por gravimetría con el protocolo desarrollado por Ortiz y Ortiz (Muñoz *et al.*, 2007).

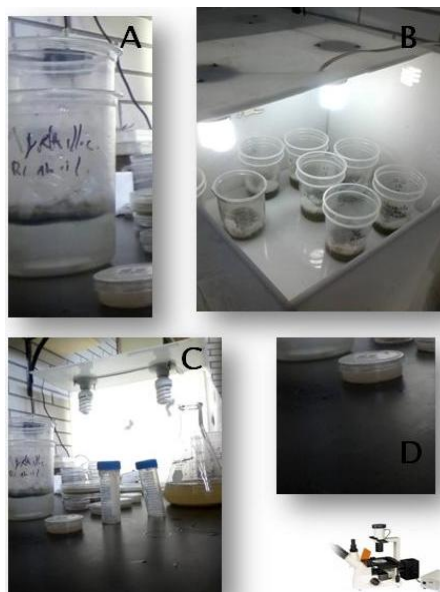
## Extracción de rotíferos

Se pesaron 40 g de cada muestra de suelo – hojarasca y se colocaron en una malla para plancton de 300 µm de apertura de poro; se sumergieron en agua destilada y se colocaron en un panel sólido a ~22 °C, para simular las condiciones que se presentan en el área de estudio. Posteriormente, las muestras así tratadas, se iluminaron con lámparas fluorescentes suspendidas a 20 cm por arriba de los frascos, tal como lo menciona el fundamento de la técnica desarrollada por Devetter, 2007 (Figura 4). Se revisaron las muestras cada 48 h durante el tiempo que duró la extracción de organismos (~15 días). Los rotíferos fueron recuperados al filtrar las muestras con una malla de 50 µm y se colocaron en cajas Petri con 20ml de agua destilada. Posteriormente se realizó el conteo de rotíferos a partir de 1ml de cada muestra (5 réplicas), utilizando un microscopio óptico. También se

aislaron organismos con la ayuda de un microscopio estereoscópico y se realizaron preparaciones semipermanentes y permanentes para la identificación morfológica de los rotíferos utilizando las claves taxonómicas y las descripciones halladas en literatura especializada para este grupo (Segers, 2011. Melone y Ricci, 1995, 1998, Bartos, 1959 y Donner, 1965).

#### Mantenimiento de cepas

El establecimiento de cultivos de rotíferos se realizó en medio EPA (0.9 g de bicarbonato de sodio, 0.6 g de sulfato de calcio, 0.6 g de sulfato de magnesio y 0.002 g de cloruro de potasio en 1 litro de agua desionizada estéril; Weber, 1993). La temperatura del cultivo se mantuvo a  $22 \pm 2$  °C, con un fotoperiodo de 12 horas luz y aireación constante. El cambio de medio EPA y el reemplazo de la comida para cada grupo de rotíferos se llevó a cabo cada 48 hr (Borowitzka y Brorowitzka 1998). Se mantuvieron cultivos de la microalga *Scenedesmus ocutus* obtenida del laboratorio del acuario de la FES-Iztacala UNAM y cultivada en medio basal de Bold (Stein, 1980) para contar con alimento suficiente y de calidad para rotíferos del género *Lecane* extraídos del suelo que son los rotíferos localizados que producen huevos de resistencia. Esta microalga se eligió por que se encuentra en el intervalo de tamaños de las partículas alimenticias de las que se alimentan los rotíferos en condiciones óptimas de laboratorio. Para mantener los cultivos de rotíferos pertenecientes al orden Bdelloidea se utilizó alimento para peces en una proporción de  $1 \text{ mg ml}^{-1}$  (Ricci, 1995), *Scenedesmus ocutus* y extracto de suelo de la zona de estudio.



**Figura 4.-** Materiales utilizados en la extracción de rotíferos del suelo en los microambientes estudiados (A) vaso con malla de 300 µm, (B) extracción de rotíferos, (C) filtrado de rotíferos y (D) revisión de rotíferos al microscopio.

Análisis de huevos de resistencia y organismos en anhidriobiosis.

Para evaluar la densidad del reservorio de huevos de resistencia, se tomaron 2 g de cada una de las muestras y se colocaron en tubos de 50 ml que contenían una solución saturada de sacarosa; se agitaron en vortex durante 1 minuto, y se centrifugaron a 700 r.p.m durante 5 minutos, esto último para lograr la separación de huevos de resistencia del suelo. Posteriormente, estas estructuras se recuperaron por medio de filtración con una malla de 20 µm de apertura de poro (Onbë, 1978 y modificada por Gómez y Carvalho 2000). La separación de huevos de resistencia con apariencia viable y no viables se realizó de acuerdo con su tamaño, color y estado de la cubierta siguiendo el criterio descrito por García-Roger *et al.* (2006).

Extracción de rotíferos, análisis de huevos de resistencia y organismos en anhidriobiosis en campo.

La extracción de rotíferos y re-suspensión de huevos de resistencia se realizó *in situ* durante la temporada de diciembre, para corroborar la presencia de rotíferos activos en el área de estudio. También se realizó la re-suspensión de huevos de resistencia depositados en el suelo (Figura 5).



**Figura 5.-** Extracción de rotíferos y análisis de huevos de resistencia *in situ*, terraza degradada en Zapotitlán Salinas Puebla. Muestreo durante época seca-fría (Diciembre 2012). (A) Suelo zona de raíces, (B) extracción de rotíferos, (C y D) resuspensión de huevos de resistencia, (E Y F) búsqueda de rotíferos al microscopio.

#### Parámetros fisicoquímicos

En el laboratorio se determinó la humedad del suelo por el método de gravimetría: de cada microambiente se tomaron 4 repeticiones de 10 g de suelo tamizado (Tamiz No. 10), se colocaron en un horno a 60 °C, revisando y pesando las submuestras cada 24 hr hasta hallar el peso constante (~72 h). También se determinó el pH (10g de suelo en 25 ml de agua destilada agitando suavemente y dejándolo reposar 30 min) con un potenciómetro Conductronic ph120.

El carbono orgánico total se determinó mediante el método de oxidación con ácido crómico y ácido sulfúrico desarrollado por Walkley y Black 1947 (Muñoz et al., 2007). Se basa en colocar en un matraz Erlenmeyer 0.5 g de suelo seco previamente tamizado (Tamiz No. 60), se agregan 5 ml de solución de dicromato de potasio a 1N y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado haciéndolo fluir suavemente por las paredes, se agita la muestra durante un minuto con movimientos suaves y se deja reposar durante 30 min. Transcurrido el tiempo se añaden 100 ml de agua destilada, 5 ml de ácido fosfórico concentrado y tres gotas de fenolftaleína como indicador, por último se procede a la titulación con solución de sulfato ferroso a partir de 0.5 N. Durante la titulación la secuencia de cambio de color al vire final es la siguiente: negro, verde muy oscuro, azul y finalmente verde esmeralda. Una solución sin muestra de suelo se utilizó como blanco con el fin de determinar el factor de titulación (FC= Factor de corrección) verificando la normalidad del sulfato ferroso y se sustituyeron los resultados con la siguiente fórmula:

La ecuación utilizada para calcular el porcentaje de la materia orgánica fue: Materia orgánica (OMD%)= (5(ml de sulfato ferroso X N X F.C.) / g de muestra) X 0.69. El Factor de corrección (F.C.) = 10/ ml de sulfato ferrosos gastados en el blanco.

#### Análisis de datos

Los resultados se analizaron con el programa *Graphpad 6*. Para la abundancia y para los parámetros fisicoquímicos se realizaron ANOVAs y pruebas de Tukey, análisis de componentes principales (ACP) con el complemento XLSTAT de Excel, así como análisis de regresión para correlacionar los fisicoquímicos con la abundancia de rotíferos.

## Resultados

### Riqueza de rotíferos

Se registraron catorce morfoespecies de rotíferos, cuatro especies de rotíferos pertenecientes a la subclase Monogononta y diez especies a la subclase Bdelloidea, en total se tienen registradas seis familias (Adinetidae, Philodinidae, Lecanidae, Trichocercidae, Philodinividae y Habrotrochidae) y once géneros (*Lecane*, *Trichocerca*, *Philodina*, *Rotaria*, *Macrotrachela*, *Abrochtha*, *Habrotrocha*, *Bradyscela* y *Adineta*). La mayoría de los rotíferos se determinó hasta género de acuerdo con sus características morfológicas, y en algunos de los casos se logró llegar a nivel de especie.

La riqueza de rotíferos localizada en suelo comprende a tres especies que pertenecen al género *Lecane*: *Lecane closterocerca*, *Lecane lunaris-virga* y *Lecane inermis*, y una especie del género *Tricocherca*. Diez especies pertenecientes a la subclase Bdelloidea: dos especies del género *Habrotrocha*, dos especies del género *Rotaria* (*Rotaria sordida* y *Rotaria tardigrada*) dos especies del género *Bradyscela*. Una especie de los géneros *Adineta* (*Adineta ricciae*), *Abrochtha* (*Abrochtha* sp), *Philodina* (*Philodina acuticornis*) y *Macrotrachela* sp. (Tabla 1).



filo	Clase	Super clase	Orden	Familia	Género	especie
Rotifera	Eurotatoria	Monogononta	Ploima	Lecanidae	Lecane	<i>L. inermis</i> <i>L. closterocerca</i> <i>L. Lunaris virga</i>
				Trichocercidae	Trichocerca	<i>T. sp</i>
	Eurotatoria	Bdelloidea		Adinetidae	Adineta	<i>A. ricciae</i>
					Bradyscela	<i>B. sp.1</i> <i>B. sp.2</i>
				Philodinidae	Rotaria	<i>R. tardigrada</i> <i>R. sordida</i>
					Philodina	<i>P. acuticornis</i>
					Macrotrachela	<i>M. sp.1</i>
				Philodinividae	Abrochtha	<i>A. camivora</i>
				Habrotrochidae	Habrotrocha	<i>H. sp.1</i> <i>H. sp.2</i>

**Tabla 1.-** Ubicación taxonómica (de acuerdo a Segers, 2011), en zona de raíces de *Prosopis laevigata*, *Parkinsonia praecox*, *Myrtillocactus geometrizans* e interespacio obtenidos en las cuatro temporadas del estudio en una terraza aluvial degradada de Zapotitlán Salinas, Puebla.

#### Variación espacial y estacional de rotíferos

La Tabla 2 muestra los rotíferos localizados en zona de raíces de la vegetación de leguminosas, cactáceas y el interespacio. *Habrotrocha* son rotíferos que se localizan en todos los microambientes durante las cuatro temporadas que corresponden a periodos de lluvias y sequía, seguida por *Adineta ricciae* que se registró también en los cuatro microambientes pero está ausente en cactáceas en dos temporadas: septiembre y mayo.

Por su parte *Rotaria sordida* y *Rotaria tardigrada* también se registran en la zona de raíces en vegetación y se encuentran ausentes en el interespacio, los rotíferos monogonontos *Lecane closterocerca* y *Trichocerca* se localizan exclusivamente en la zona de raíces de leguminosas y se observan en cactáceas solo en los meses de diciembre y abril. Otro rotífero de la Familia Lecanidae (*Lecane inermis*) se registra durante el mes de septiembre en el suelo de raíces de cactáceas y de

leguminosas y está ausente en el interespacio; en el mes de abril se localiza esporádicamente *Lecane lunaris-virga* en ambos sitios.

Los rotíferos Bdelloides *Philodina acuticornis* y *Macrotrachela* no se encuentran en interespacio y se localizan en zona de raíces, *Abrochtha carnivora* también se encontró en cactáceas y leguminosas pero esta última especie, a diferencia de *Philodina acuticornis* y *Macrotrachela*, se registró también en el interespacio. Los rotíferos del género *Bradyscela*, se encontraron ocasionalmente en las leguminosas y cactáceas durante los muestreos realizados en el mes de abril.

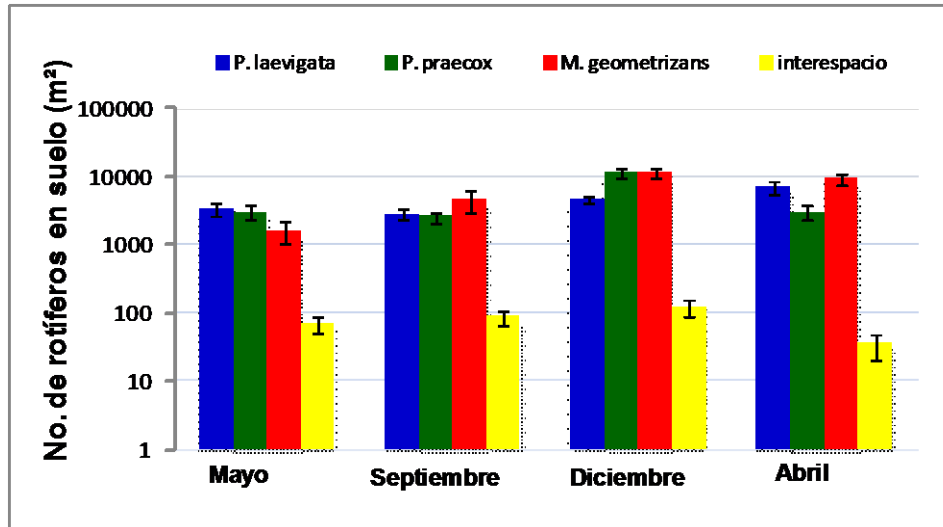
Tabla 2.- Abundancias y desviación estándar (N=4), de rotíferos en suelo en la zona de raíces de *P. laevigata*, *P. praecox*, *M. geometrizans* y el interespacio, durante las principales temporadas en una terraza aluvial degradada de Zootitán Salinas Puebla.

Taxa	<i>Prosopis laevigata</i>				<i>Forficula praecox</i>				<i>Mycodermus geometrizans</i>				Interspacio			
	Sep	May	Dic	Abr	Sep	May	Dic	Abr	Sep	May	Dic	Abr	Sep	May	Dic	Abr
<i>Rotatoria 1 sp</i>	4.7±1	1.7±0.5	1.7±0.5	20±1	4.7±1	1.75±0.95	40±1	1.75±0.95	5±1	15.7±0.5	15.75±1	60±0.5	0.75±0.5	19.75±0.5	0.75±0.5	0.5±0.5
<i>Rotatoria 2 sp</i>	13.7±0.5	18.7±0.5	13.5±1.5	0	18.7±0.5	18.7±0.5	10.5±0.5	18.75±0.5	12±1.2	12.5±0.5	11±1.4	1±0.0	0.5±0.5	0.5±0.5	1±0.8	0
<i>Rotatoria tardigrada</i>	0	0	0	0	0	0	0	1±0.0	0	0	0	1±0	0	0	0	0
<i>Adiceta minor</i>	1±0.8	1.7±0.5	15.5±1	0	2.2±0.5	0.5±0.5	80±0	0.5±0.5	125±12	0.7±0.5	55.2±1.5	20±0	0	0	0	0
<i>Lecane clastocerca</i>	0.5±0.5	24.5±1	20±0	60±0	2.5±0.5	12.25±1.7	20±0	22.2±1.7	0	0	55±1.5	40±0	0	0	0	0
<i>Trichocerca</i>	18.5±2.6	1.5±0.5	10.2±0.5	20±0	8.7±2.5	0.5±0.5	10.2±0.5	0	0	0	10.2±0.5	10.7±0.5	0	0	0	0
<i>Lecane hermis</i>	1±0.8	1±0.8	0.5±0.5	0	1.2±0.5	0	1.25±0.5	0	0	0	2±0.8	0.5±0.5	0	0	0	0
<i>Lecane univirgata</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Palaemon aculeicornis</i>	1+0	0	0	0	1+0	0	0	0	1+0	0	1+0	0	0	0	0	0
<i>Abrachis cenicera</i>	0	0	1+0	0	0	0	1+0	0	1+0	0	0	0	1+0	1+0	1+0	0
<i>Microrachela 1 sp</i>	0	1+0	0	0	0	0	0	1+0	0	0	0	1+0	0	0	0	0
<i>Microrachela 2 sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1±0
<i>Obolophanes sp</i>	0	1±0	0	0	0	0	0	1±0	0	0	0	1±0	0	0	0	0
<i>Melobla sp</i>	0	1±0	0	0	0	0	0	1±0	0	0	0	1±0	0	0	0	0
<i>Braconia 1 sp</i>	0	1±0	0	0	0	0	0	1±0	0	0	0	1±0	0	0	0	0
<i>Braconia 2 sp</i>	0	1±0	0	0	0	0	0	1±0	0	0	0	1±0	0	0	0	0

## Densidad de rotíferos en cada microambiente

Durante la temporada correspondiente al periodo de sequía (mayo), las mayores abundancias de rotíferos en suelo se localizan en *P. laevigata*  $3404 \pm 755$  ind/m<sup>2</sup> y en *P. praecox*  $3087 \pm 727$  ind/m<sup>2</sup> (Fig. 6). Por otro lado *M. geometrizans* presenta las menores abundancias  $1605 \pm 552.8$  ind/m<sup>2</sup> y en el interespacio se observan esporádicamente organismos en promedio de  $71 \pm 18$  ind/m<sup>2</sup>. Para el periodo de lluvias (septiembre) las densidades aumentan en *M. geometrizans*  $4675 \pm 1609.5$  ind/m<sup>2</sup>, en *P. laevigata*  $2875 \pm 530.76$  ind/m<sup>2</sup> y en *P. praecox*  $2593 \pm 476.0$  ind/m<sup>2</sup>. Las densidades en el interespacio siguen siendo bajas  $88 \pm 23.4$  ind/m<sup>2</sup>.

En el mes de diciembre (fin de lluvias-época fría) el aumento en abundancia de rotíferos también se vio reflejado en zona de raíces de la vegetación. Se registraron densidades en *M. geometrizans* de  $11413 \pm 1802.1$  ind/m<sup>2</sup>; en *P. praecox*  $11466 \pm 2058.5$  ind/m<sup>2</sup> y en *P. laevigata*  $4622 \pm 595.2$  ind/m<sup>2</sup>; mientras que las menores densidades continuaron registrándose en el interespacio  $123 \pm 32$  ind/m<sup>2</sup>. Por último, en el mes de sequía prolongada (abril) las densidades disminuyeron ligeramente en la zona de raíces de *M. geometrizans*  $9384 \pm 1660.73$  ind/m<sup>2</sup> y *P. praecox*  $3087 \pm 727$  ind/m<sup>2</sup>, el aumento se vio reflejado en *P. laevigata*  $7056 \pm 1649.7$  ind/m<sup>2</sup>. En el interespacio las densidades siguieron siendo bajas  $35 \pm 14.4$  ind/m<sup>2</sup> (Fig. 6).



**Figura 6.-** Densidad de rotíferos en la zona de raíces de *P. laevigata*, *P. praecox*, *M. geometrizzans* y en el interespacio, durante las principales temporadas en una terraza aluvial degradada de Zapotitlán Salinas Puebla.

#### Densidad de rotíferos por especie

*Habrotrocha* fue el rotífero más abundante en cactáceas (*M. geometrizzans*) durante la temporada de sequía (mayo), con  $1394 \pm 30.5$  ind/m<sup>2</sup>. En cambio, los rotíferos más abundantes en leguminosas (*P. laevigata* y *P. praecox*) fueron *Adineta ricciae* con  $1323 \pm 67.5$  ind/m<sup>2</sup> y *Lecane closterocerca* con  $1729 \pm 79.5$  ind/m<sup>2</sup>. Los rotíferos que se observaron en menores densidades en leguminosas y cactáceas fueron: *Rotaria sordida*, *Lecane inermis* y *Trichocerca sp.*  $35 \pm 10$  ind/m<sup>2</sup> y esporádicamente *Abrochtha carnivora*. En el interespacio se observaron esporádicamente *Abrochtha carnivora*, *Adineta ricciae* y *Habrotrocha* (Fig. 7A).

En la temporada de lluvias intensas (septiembre), se registró un aumento en la abundancia de rotíferos *Habrotrocha sp.1* con  $4039 \pm 135.4$  ind/m<sup>2</sup> en la cactácea *M. geometrizzans*, mientras que los rotíferos en menores densidades fueron *Adineta ricciae*  $512 \pm 76.8$  ind/m<sup>2</sup> y *Rotaria sordida*  $123 \pm 30.5$  ind/m<sup>2</sup>. Los rotíferos con mayor abundancia en *P. laevigata* y *P. praecox* fueron: *Adineta ricciae* y

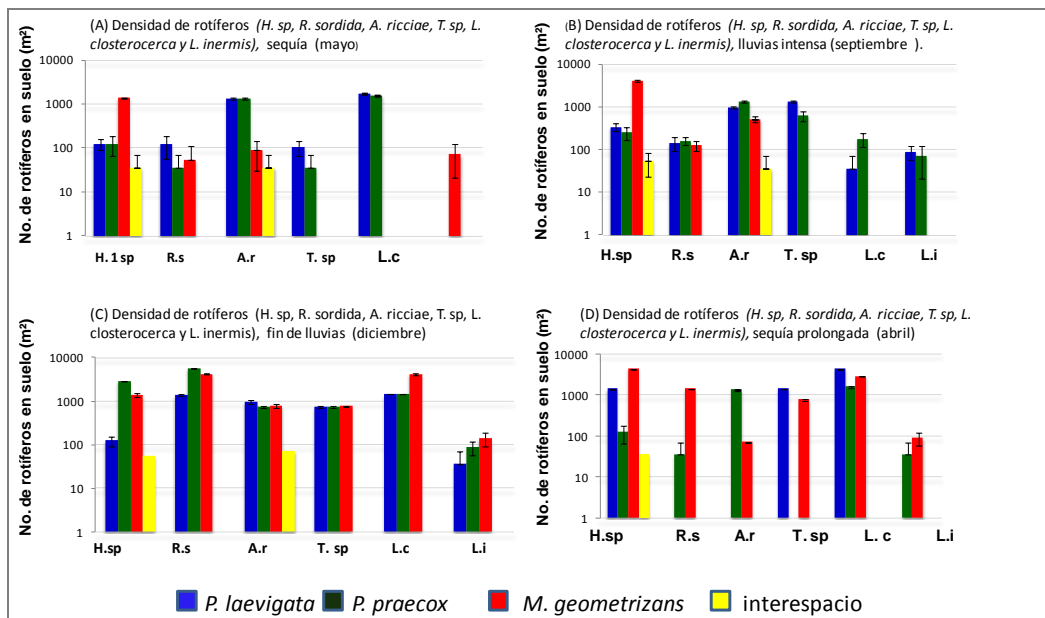
*Trichocerca* que se encontraron en densidades de  $1323 \pm 58.5$  y  $1305 \pm 78.8$  ind/m<sup>2</sup> respectivamente. Los rotíferos del género *Lecane*: *L. closterocerca* y *L. inermis* se encontraron en menores densidades en el intervalo de 1 a  $3 \pm 1$  ind/m<sup>2</sup> y ocasionalmente se observó *Philodina acuticornis*. En el interespacio *Habrotrocha sp.1* se observó en bajas densidades  $71 \pm 49.8$  ind m<sup>2</sup> y esporádicamente *Adineta ricciae* y *Abrochtha carnivora* 2 ind/m<sup>2</sup> (Fig. 7B).

En la época fría correspondiente el final de la época de lluvias (diciembre), *Habrotrocha sp.1* disminuyó sus densidades en *Myrtillocactus geometrizans*  $1394 \pm 125.9$  ind/m<sup>2</sup>; mientras que *Rotaria sordida* y *Lecane closterocerca* registraron las mayores abundancias con  $4181 \pm 91.6$  ind/m<sup>2</sup> y  $4163 \pm 179.8$  ind/m<sup>2</sup> respectivamente. *Tricocherca sp.* y *Adineta ricciae* son los rotíferos que se observan en menores densidades ( $759 \pm 30.5$  ind/ m<sup>2</sup> y  $776 \pm 86.4$  ind/m<sup>2</sup> respectivamente) y *Lecane inermis* es el rotífero que se registra esporádicamente ( $141 \pm 49.8$  ind/m<sup>2</sup>). *Rotaria sordida* fue la especie de rotífero más abundantes en *Parkinsonia praecox* con  $5645 \pm 100$  ind/m<sup>2</sup>, seguido por *Habrotrocha sp.1* ( $2858 \pm 61.10$  ind/m<sup>2</sup>) y *Lecane closterocerca* ( $1411 \pm 10$  ind/m<sup>2</sup>). Mientras que las especies que se observan en menores densidades son: *Tricocherca sp.*, *Adineta ricciae* con  $723 \pm 30.5$ ,  $741 \pm 35.27$  ind/m<sup>2</sup> respectivamente y *Lecane inermis* con  $88 \pm 30.5$  ind/m<sup>2</sup>.

*Lecane closterocerca*  $1411 \pm 10$  ind/m<sup>2</sup> y *Rotaria sordida*  $1376 \pm 61.1$  ind/m<sup>2</sup> fueron las principales especies de rotíferos en *Prosopis laevigata* seguidas por *Adineta ricciae*  $953 \pm 117.0$  ind/m<sup>2</sup> y *Tricocherca sp.*  $723 \pm 30.5$  ind/m<sup>2</sup>. *Habrotrocha 1 sp.* se registró en densidades muy bajas  $123 \pm 30.5$  ind/m<sup>2</sup>, mientras que *Lecane inermis* continuó siendo el rotífero con menor abundancia. En el interespacio las densidades fueron bajas *Adineta ricciae*  $71 \pm 49.8$  ind/m<sup>2</sup> y *Habrotrocha 1 sp.*  $53 \pm 30.5$  ind/m<sup>2</sup> (Fig. 7C).

Por último, se registraron tres rotíferos con altas densidades en *Prosopis laevigata* en la época de sequía prolongada: *Lecane closterocerca* con  $4234 \pm 10$  ind/m<sup>2</sup>,

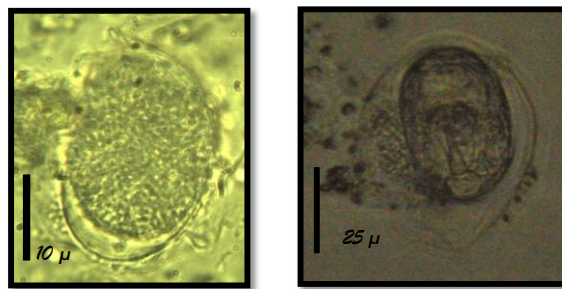
seguido por *Tricocherca sp.* con  $1411 \pm 10 \text{ ind/m}^2$  y *Habrotrocha sp.1* con  $1411 \pm 10 \text{ ind/m}^2$ . En *Parkinsonia praecox*, la especie *Lecane closterocerca* también presentó densidades mayores respecto a las otras especies de rotíferos con  $1570 \pm 104.3 \text{ ind/m}^2$ , seguida por *Adineta ricciae*  $1323 \pm 58.5 \text{ ind/m}^2$  y *Habrotrocha sp.1* en menor densidad con  $123 \pm 58.5 \text{ ind/m}^2$  y se registraron esporádicamente *Rotaria sordida* ( $35 \pm 35 \text{ ind/m}^2$ ) y *Lecane inermis* ( $35 \pm 35 \text{ ind/m}^2$ ). *Habrotrocha sp.1* es el rotífero más abundante en la cactácea con  $4234 \pm 10 \text{ ind/m}^2$ , seguido por *Lecane closterocerca* ( $2822 \pm 10 \text{ ind/m}^2$ ), *Rotaria sordida* ( $1411 \pm 10 \text{ ind/m}^2$ ) y *Tricocherca sp.* ( $759 \pm 2 \text{ ind/m}^2$ ). Ocasionalmente se registraron *Lecane inermis* y *Adineta ricciae* ( $71 \pm 1 \text{ ind/m}^2$ ). Mientras que en el interespacio solo se registró *Habrotrocha sp.1* con  $35 \pm 1 \text{ ind/m}^2$  (Fig. 7D).



**Figura 7.-** Densidad de rotíferos en la zona de raíces de *P. laevigata*, *P. praecox*, *M. geometrizaans* y en el interespacio durante el ciclo anual, en una terraza aluvial de Zapotitlán Salinas, Puebla.

## Huevos de resistencia y rotíferos en anhidrobiosis aislados por resuspensión

No se encontraron huevos de resistencia depositados en suelo de la familia *Lecanidae* (que es el único grupo de rotíferos registrados en este estudio que los produce) depositados en suelo (Fig. 8).



**Figura 8.-** Huevos de resistencia de rotíferos de la familia Lecanidae (inducidos en el laboratorio), de rotíferos provenientes de zona de raíces del suelo en una terraza aluvial degradada de Zapotitlán Salinas, Puebla.

## Riqueza de rotíferos Bdelloidea aislados por método de re-suspensión

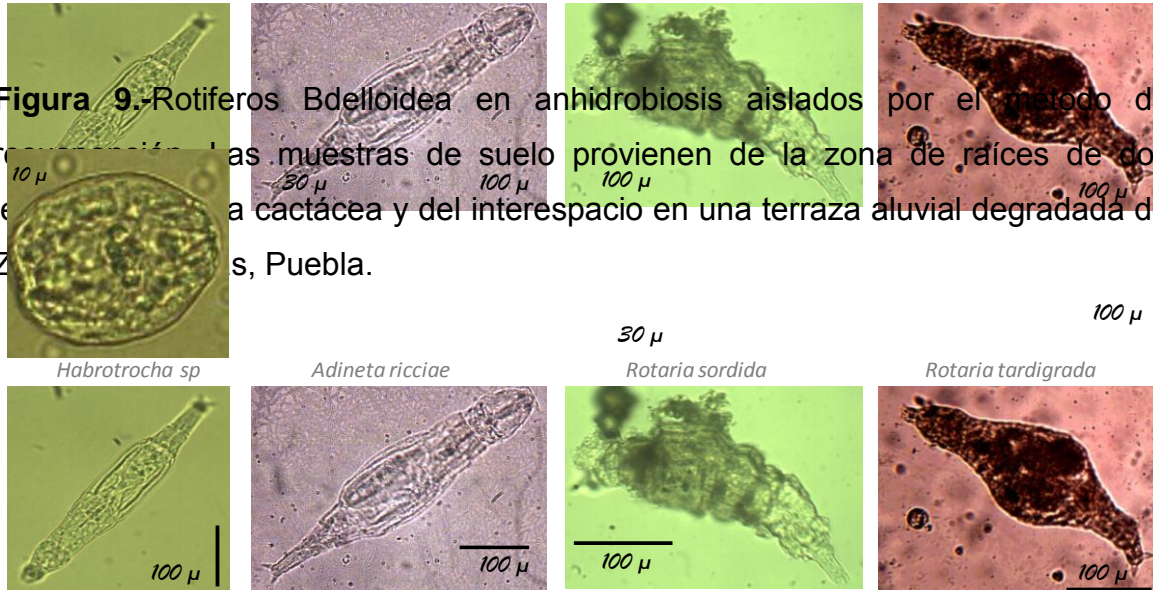
La riqueza de rotíferos del suelo comprendió un total de 10 morfoespecies: dos de ellas pertenecen al género *Lecane*: *Lecane lunaris-virga* y *Lecane closterocerca* y las ocho restantes son de la familia Bdelloidea, las cuales se encontraban en anhidrobiosis (Fig. 9). De esta última familia se registraron tres especies del género *Rotaria*: *R. sordida*, *R. tardigrada* y *Rotaria sp.*; una especie del género *Adineta* (*Adineta ricciae*), una especie del género *Habrotrocha* (*Habrotrocha sp.1*), una especie del género *Macrotrachela* (*Macrotrachela sp.1*) y dos especies más sin identificar. La imposibilidad de identificar a las especies se debió a que continuaron en latencia en todo momento (Fig. 10). En resumen, las especies que se encontraban en anhidrobiosis se distribuyeron en cuatro familias (Adinetidae,



Philodinidae, Lecanidae y Habrotrochidae) y cinco géneros (Lecane, Rotaria, Macrotrachela, Habrotrocha y Adineta).



**Figura 9.**-Rotíferos Bdelloidea en anhidrobiosis aislados por el método de resuspensión. Las muestras de suelo provienen de la zona de raíces de dos leguminosas, una cactácea y del interespacio en una terraza aluvial degradada de Zapotitlán Salinas, Puebla.



**Figura 10.**-Rotíferos Bdelloidea obtenidos aislados por el método de resuspensión. Las muestras de suelo provienen de la zona de raíces de dos leguminosas, una cactácea y del interespacio en una terraza aluvial degradada de Zapotitlán Salinas, Puebla.

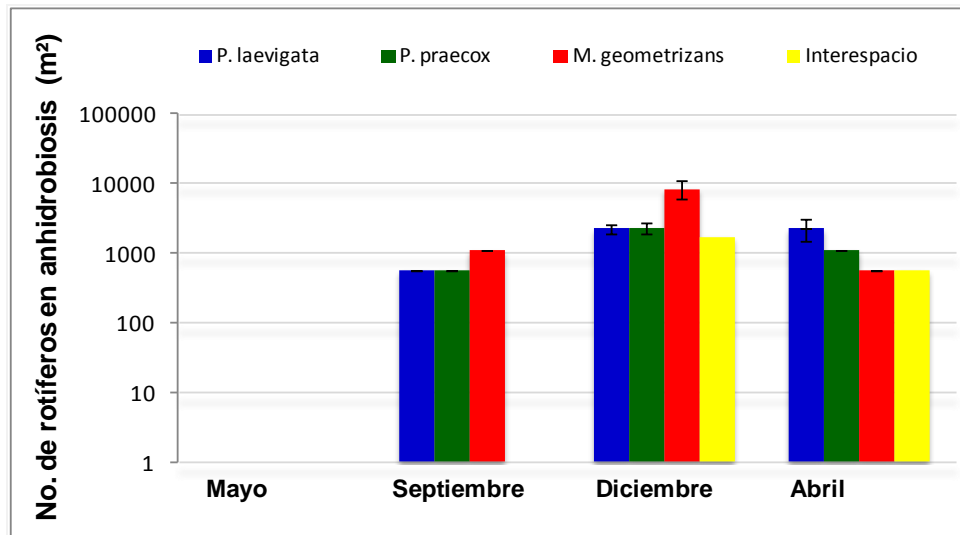
Densidad de rotíferos Bdelloidea registrada por método de re-suspensión

Las mayores densidades de rotíferos en anhidrobiosis del muestreo de diciembre se obtuvieron en zona de raíces de cactáceas *Myrtillocactus geometrizans* con  $8464 \pm 2411.4 \text{ ind/m}^2$ , seguido por las leguminosas en *Parkinsonia praecox* con  $2328 \pm 432.56 \text{ ind/m}^2$  y *Prosopis laevigata* con  $2258 \pm 325.89 \text{ ind/m}^2$ . Las menores densidades se observaron en el interespacio con  $1693 \pm 1.0 \text{ ind/m}^2$ .

La densidad de rotíferos fue similar en el muestreo de abril en *Prosopis laevigata* con  $2258 \pm 798.27$  ind/m<sup>2</sup>, pero estas disminuyeron en los otros microambientes pues en *Parkinsonia praecox* solo hubo  $564 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup>, en *Myrtillocactus geometrizans*  $564 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup> y en el interespacio continuaron siendo bajas con  $564 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup>.

Las densidades de rotíferos en las leguminosas *P. praecox* y *P. laevigata* fueron iguales ( $564 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup>) en el mes de septiembre. Se registró un ligero aumento en *M. geometrizans* con  $1129 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup> y no se observaron rotíferos en el interespacio.

En el mes de mayo se registraron bajas densidades de rotíferos en anhidrobiosis en todos los microambientes analizados ( $2 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup>) (Fig. 11).



**Figura 11.-** Densidad de rotíferos aislados por re-suspensión en la zona de raíces (*P. laevigata*, *P. praecox*, *M. geometrizans*) y el interespacio durante las principales temporadas de sequía y lluvias en una terraza aluvial degradada de Zapotitlán Salinas, Puebla.

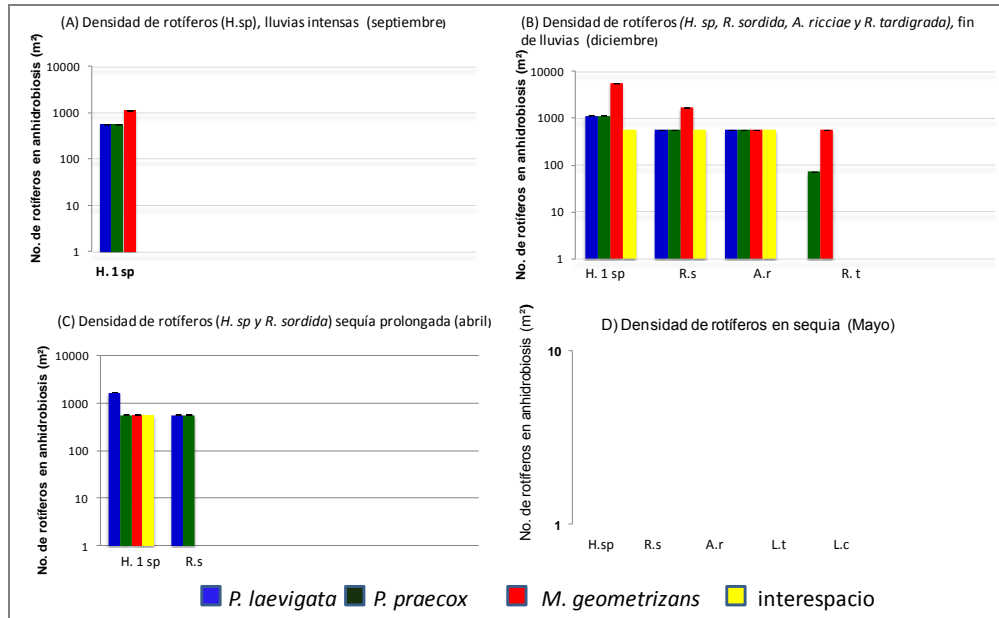
## Densidad de rotíferos en anhidrobiosis por especie aislados por re suspensión

Durante la temporada de lluvias (septiembre) sólo se registraron rotíferos del género *Habrotrocha sp.1*. Las mayores densidades se obtuvieron en la cactácea con  $1129 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup>, mientras que las menores densidades se registraron en *P laevigata* y *P praecox* con  $564 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup> respectivamente. No se observan rotíferos en anhidrobiosis en el interespacio (Fig. 12A).

En el mes de diciembre, *Habrotrocha sp.1* incrementó su abundancia en cactáceas *M geometrizzans* con  $5645 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup>, en *P praecox* aumentó a  $1129 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup>; en *P laevigata* se mantuvo sin cambio con respecto al mes de septiembre con  $564 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup> y en el interespacio se registró la menor densidad de rotíferos con  $564 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup>. Además, se registran otras especies como *Adineta ricciae* con  $1693 \pm 67.5$  ind/m<sup>2</sup> en la zona de raíz de cactáceas y *Rotaria tardigrada* que se localizó en la zona de raíces de leguminosas y cactáceas en bajas densidades ( $564 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup>). Se registró un rotífero sin identificar en *P praecox* y *M geometrizzans* con  $564 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup> respectivamente (Fig. 12B).

En cambio en la temporada de sequía prolongada (abril), se registraron dos especies: *Habrotrocha sp.1* con  $1693 \pm 5.4$  ind/m<sup>2</sup> en *P laevigata* y *Adineta ricciae* con  $564 \pm 76.8$  ind/m<sup>2</sup> en *P praecox*, *M geometrizzans* y el interespacio respectivamente (Fig. 12C).

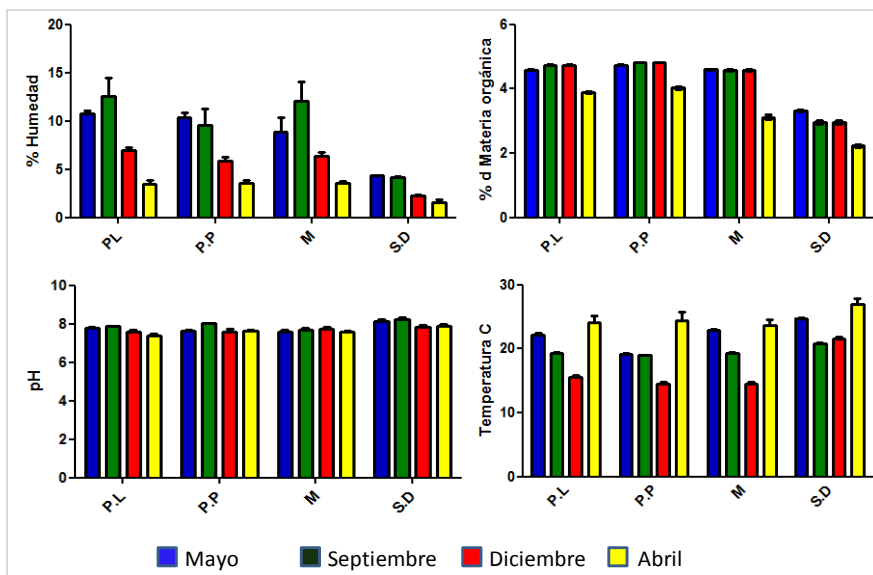
Por último, en el mes de mayo no se registró abundancia de rotíferos y solo se observaron algunos individuos de la especie *Habrotrocha sp.1* en todos los microambientes estudiados.



**Figura 12.-** Densidad de rotíferos en anhidrobiosis aislados por resuspensión en zona de raíces (*P laevigata*, *P praecox*, *Mgeometrizzans*) y el interspacio durante el ciclo anual, en una terraza aluvial degradada de Zapotitlán Salinas, Puebla.

## Características físico-químicos de suelo

Los valores fisicoquímicos analizados en suelo registran variaciones significativas ( $P < 0.0001$ ;  $\alpha 0.05$ ) entre los microambientes (Fig. 13). Estas variaciones se vieron reflejadas en temperatura ( $P < 0.0001$ ,  $F=72.81$ ), humedad ( $P < 0.0001$ ,  $F=20.29$ ), materia orgánica ( $P < 0.0001$ ,  $F=1418$ ) y pH ( $P < 0.0001$ ,  $F=30.99$ ). En el factor tiempo (ciclo estacional) las diferencias también fueron significativas para en temperatura ( $P < 0.0001$ ,  $F=141.9$ ), humedad ( $P < 0.0001$ ,  $F=2.391$ ), materia orgánica ( $P < 0.0001$ ,  $F=880.8$ ) y ph ( $P < 0.001$ ;  $F=12.19$ ;  $\alpha 0.05$ ). Por último en la interacción la temperatura ( $P < 0.001$ ,  $F=5.379$ ), humedad ( $P = 0.0001$ ,  $F=2.391$ ), materia orgánica ( $P < 0.001$ ,  $F=36.11$ ) registró variaciones significativas, aunque el pH no presento diferencias significativas ( $P = 0.0672$ ,  $F=2.007$ ) (Tabla 3). Al realizar las pruebas de Tukey's estas diferencias ( $P < 0.0001$ ;  $\alpha 0.05$ : 95 % I.C) se reflejan en mayo, septiembre y diciembre para la temperatura en los cuatro microambientes, mayo y septiembre para el pH y humedad. Y la materia orgánica registra variaciones en los cuatro microambientes durante todo el ciclo estacional.



**Figura 13.-** Características fisicoquímicas en zona de raíces del suelo (*P. laevigata*, *P. praecox*, *M. geometrizans*) y el interespacio (SD) durante el ciclo anual, en una terraza aluvial degradada de Zapotitlán Salinas, Puebla.

**Tabla 3.** ANOVA de los fisicoquímicos en los cuatro diferentes microambientes de la terraza aluvial degradada en Zapotitlán Salinas, Puebla.

Fuente de la variación	s.c	g.l	Medias cuadradas	F	Valores P
Microambiente	169.8	3	56.60	72.81	P<0.0001
Estación	626.4	3	208.8	141.9	P<0.0001
Interacción	71.25	9	7.917	5.379	P<0.001
Residual	52.98	36	1.472		

**A: temperatura**

Fuente de la variación	s.c	g.l	Medias cuadradas	F	Valores P
Microambiente	30.77	3	10.26	1418	P<0.0001
Estación	11.34	3	3.781	880.8	P<0.0001
Interacción	1.395	9	0.1550	36.11	P<0.0001
Residual	0.1545	36	0.004292		

**C: materia orgánica**

**B: humedad**

Fuente de la variación	s.c	g.l	Medias cuadradas	F	Valores P
Microambiente	282.0	3	94.01	20.29	P<0.0001
Estación	434.0	3	144.7	47.09	P<0.0001
Interacción	66.11	9	7.346	2.391	P<0.0001
Residual	110.6	36	3.072		

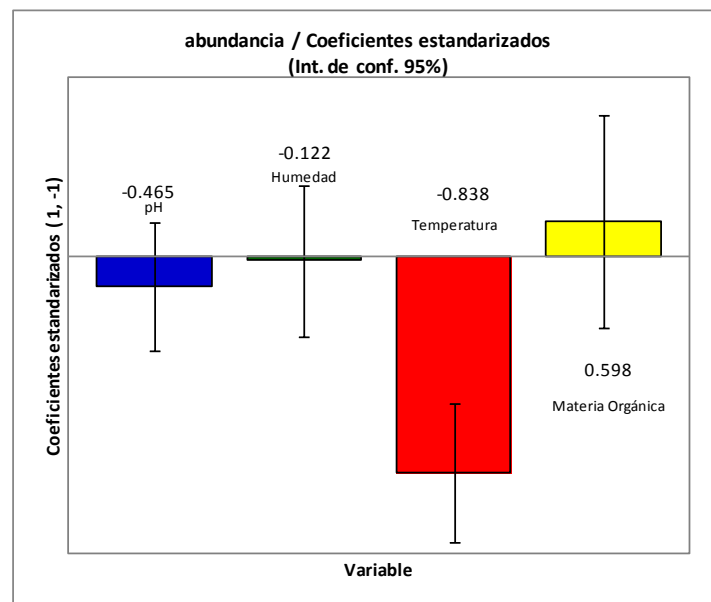
**D: pH**

En el análisis de regresión lineal realizado entre los factores fisicoquímicos y la abundancia de rotíferos se obtuvieron correlaciones negativas para el factor temperatura, humedad y pH, correlaciones positivas como es el caso de la materia orgánica (Fig. 14). La correlación para el factor temperatura es negativa ( $r = -0.838$ ), de la misma manera el pH se correlaciona de manera negativa ( $r = -0.465$ ) es decir, la temperatura y el pH tienen un efecto negativo en la abundancia de los rotíferos en los diferentes microambientes de las temporadas muestreadas. En cambio la materia orgánica se correlaciona de manera positiva ( $r = 0.598$ ), esta correlación directa implicaría un efecto importante en la abundancia de rotíferos. Y para la humedad la correlación aunque es negativa el valor entre ambas variables es bajo ( $r = -0.122$ ), es decir la humedad contenida en el suelo probablemente no tiene un efecto en la abundancia de rotíferos (Tabla 4).

Al realizar el análisis de componentes principales se puede observar que las variables de temperatura, humedad, materia orgánica y pH están altamente correlacionadas entre sí (Tabla 5). Por otro lado, las variables humedad y materia orgánica presentan los valores más altos de correlación con la variable

temperatura (0.997) y (0.962) respectivamente, También se puede observar que la materia orgánica está altamente correlacionada con la humedad (0.939) y el pH (0.888). Los valores más bajos pero también fuertemente correlacionados los presenta el pH con la humedad (0.677) y la temperatura (0.729).

Esta fuerte correlación se puede observar en la representación grafica de la nube de puntos-variables (Fig. 15), donde se observan dos grupos de variables bien definidos por un lado un grupo por las variables materia orgánica y pH, y un segundo grupo por la temperatura y humedad. Con respecto al eje 1, que recoge el 90.17% de la variación total. La temperatura y humedad que se encuentran en un grupo y la modificación de estas variables por el aumento o disminución pueden afectar de la misma manera a la materia orgánica y el pH que es el otro grupo que se localiza en el otro extremo.



**Figura.- 14.** Correlación entre la abundancia de rotíferos y fisicoquímicos del suelo en los diferentes microambientes durante las principales temporadas analizadas en una terraza aluvial de Zapotitlán Salinas, Puebla.

**Tabla 4.** Análisis de regresión lineal de la abundancia de rotíferos y los fisicoquímicos en los cuatro diferentes microambientes de la terraza aluvial degradada en Zapotitlán Salinas, Puebla.

Matriz de correlación:

Variables	pH	Humedad	Temperatura	Materia Orgánica	abundancia
pH	<b>1.000</b>	-0.265	0.401	-0.640	<b>-0.465</b>
Humedad	-0.26	<b>1.000</b>	-0.049	0.641	<b>-0.122</b>
Temperatura	0.40	-0.049	<b>1.000</b>	-0.584	<b>-0.838</b>
Materia Orgánica	-0.64	0.641	-0.584	<b>1.000</b>	<b>0.598</b>
<b>abundancia</b>	<b>-0.46</b>	<b>-0.122</b>	<b>-0.838</b>	<b>0.598</b>	<b>1.000</b>

Estadísticos descriptivos:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
<b>abund</b>	<b>48</b>	<b>0</b>	<b>48</b>	<b>0.000</b>	<b>166.000</b>	<b>54.354</b>	<b>53.478</b>
pH	48	0	48	7.310	8.400	7.814	0.257
Humedad	48	0	48	1.900	13.200	7.496	3.023
Temperatura	48	0	48	14.000	25.000	19.427	3.197
Materia Orgánica	48	0	48	2.847	4.875	4.369	0.642

Análisis de la varianza:

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	4	97768.481	24442.120	28.680	< 0.0001
Error	43	36646.498	852.244		
Total corregido	47	134414.979			

**Tabla 5.** Matriz de correlación resultante del ACP para los fisicoquímicos del suelo y estadísticos descriptivos.

Matriz de correlación (Pearson (n)):

Variables	Ph	Humedad	Temperatura	Materia Orgánica
Ph	<b>1</b>			
Humedad	0.677	<b>1</b>		
Temperatura	0.729	0.997	<b>1</b>	
Materia Orgánica	0.888	0.939	0.962	<b>1</b>

Estadísticos descriptivos:

Variable	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Ph	3	7.960	8.060	8.007	37 0.050
Humedad	3	4.132	4.635	4.434	0.266
Temperatura	3	21.000	25.000	23.500	2.179
Materia Orgánica	3	3.059	3.350	3.236	0.155



Variables	Ph	Humedad	Temperatura	Materia Orgánica
Ph	<b>1</b>			
Humedad	0.677	<b>1</b>		
Temperatura	0.729	0.997	<b>1</b>	
Materia Orgánica	0.888	0.939	0.962	<b>1</b>

Estadísticos descriptivos:

Variable	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Ph	3	7.960	8.060	8.007	0.050
Humedad	3	4.132	4.635	4.434	0.266
Temperatura	3	21.000	25.000	23.500	2.179
Materia Orgánica	3	3.059	3.350	3.236	0.155

Análisis de la varianza:

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	4	97768.481	24442.120	28.680	< 0.0001
Error	43	36646.498	852.244		
Total corregido	47	134414.979			

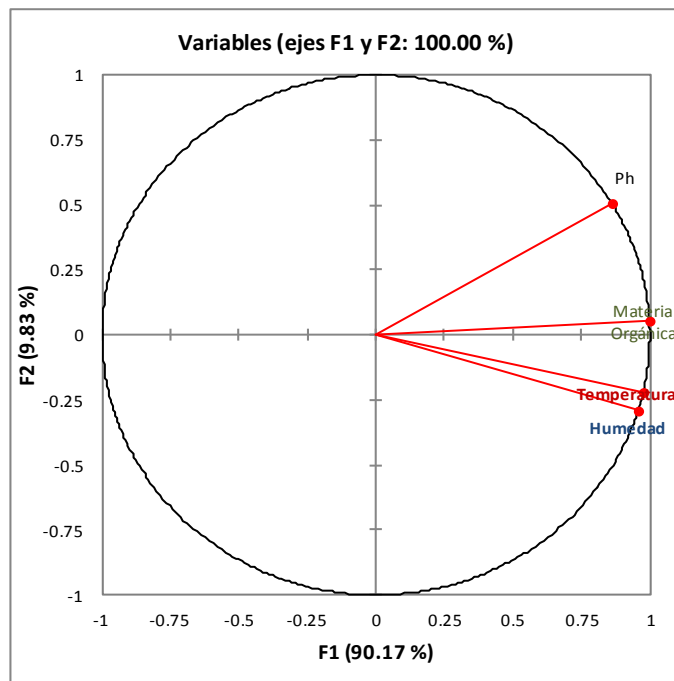


Figura.- 15. Diagrama de variables fisicoquímicas en el primer plano factorial

## Discusión

### Variación espacio-temporal de la riqueza y densidad de rotíferos

Considerando los resultados encontrados en el suelo de Zapotitlán, la heterogeneidad de la riqueza de rotíferos se localizó en zona de raíces de la vegetación y las densidades son distintas de acuerdo al tipo de microambiente y periodo estacional.

Las mayor riqueza de rotíferos se registró en la zona de raíces de las leguminosas durante los meses de mayo y septiembre (ocho especies de rotíferos), mientras que en la zona de raíces de cactáceas e interespacio se registraron solo tres especies. En contraste, durante los meses de diciembre y abril, la riqueza de especies se registra en la zona de raíces de la cactácea y las leguminosas, aunque las densidades son mayores en la cactácea. Estas densidades van en rangos desde los  $2258 \pm 325.89$  ind/m<sup>2</sup> a  $8464 \pm 2411.4$  ind/m<sup>2</sup> en leguminosas para el periodo de abril, que fue cuando se registraron las mayores densidades. Y en el interespacio en rangos de  $2 \pm 1$  ind/m<sup>2</sup> a los  $1693 \pm 1.0$  ind/m<sup>2</sup>. Con estos resultados es claro que la zona de raíces de la vegetación ofrece condiciones para el establecimiento de rotíferos.

Se ha descrito que en la zona de estudio el proceso del reciclaje de nutrientes es muy similar a suelo bosques templados, aunque no se asemejen en cuanto a la cantidad de nutrimentos reciclados (Perroni-Ventura, 2006). Nosotros establecemos que nuestro trabajo no es comparable con otros estudios, debido a que estos han sido realizados en zona de bosque. En estos ambientes se han reportado densidades en rangos que van desde los  $4 \pm 2$  ind/m<sup>2</sup>, a  $103$  ind/m<sup>2</sup> hasta  $516 \pm 48$  ind/m<sup>2</sup> (Devetter, 2010), es claro que las densidades varían de acuerdo al tipo de especie y ecosistema. Podemos deducir que los rotíferos están respondiendo a factores exclusivos del lugar.

En el suelo de Zapotitlán uno de los factores importantes a tomar en cuenta son las altas temperaturas en la superficie del suelo. La vegetación mitiga los cambios de temperatura (Rodríguez-Zaragoza, 1994, Richardson et al., 2009), disminuyen las variaciones de las condiciones climáticas (p. ej. menor radiación solar, menor desecación). En las terrazas de estudio, la vegetación forma islas de fertilidad, lo cual permite el establecimiento de microorganismos en su zona de raíces. Por esto último, las posibilidades de que los rotíferos encuentren un refugio y alimento que les permita desarrollarse en la zona de raíces bajo estas condiciones son altas; por ello, las comunidades de rotíferos son más ricas en la zona de raíces de la vegetación aún en una terraza degradada de Zapotitlán Salinas, Puebla.

En contraparte las condiciones fisicoquímicas en el interespacio son inestables y prolongadas (altas temperaturas, evaporación constante, incidencia directa de rayos UV, ausencia de una cobertura vegetal). Todas estas condiciones limitan el tipo de especies que pueden colonizar y permanecer en el suelo expuesto. Las variaciones tan rápidas en el contenido de humedad podrían afectar la sobrevivencia de las especies que dependen de la formación de huevos de resistencia en contraposición con las que solo entran en anhidrobiosis. Lo anterior explicaría por qué no se registraron huevos de resistencia en el suelo. Además, los rotíferos requieren una mínima cantidad de humedad para reactivar su ciclo vital, lo que daría ventaja a las especies que no forman huevos de resistencia.

Todas estas diferencias explican la variación de la riqueza y abundancia de rotíferos entre los microambientes de la zona de raíces y el interespacio en la terraza degradada de Zapotitlán. Además estos organismos están respondiendo a cambios fisicoquímicos (pH, materia orgánica, humedad y temperatura), que ocurren en suelo durante el ciclo anual, ocasionados por periodos de lluvias y una larga sequía. Los rotíferos en suelo demuestran sensibilidad variable al suministro de humedad (Kutikova, 2002) y a la materia orgánica (Devetter, 2011), y en general son sensibles a la contaminación y a varios compuestos ambientales por lo que se les considera como indicadores de contaminación en cuerpos de

agua y en el suelo.

Al realizar los análisis de las abundancias de rotíferos con los parámetros fisicoquímicos se registra que hay diferencias entre microambientes los meses de mayo, septiembre y diciembre para temperatura, mayo y septiembre para pH y humedad. La materia orgánica presentó cambios significativos durante las cuatro temporadas analizadas. La materia orgánica tiene una relación significativa con la abundancia de rotíferos en el suelo de la zona de estudio. Esto se debe a que la materia orgánica tiene cambios significativos en las especies vegetales durante las cuatro temporadas, estos resultados coinciden con los descritos por Devetter (2010), que asocia a los rotíferos con la materia orgánica en el suelo.

Por otro lado se conoce que la distribución de rotíferos está asociada con valores de pH y además son sensibles a factores físicos como la temperatura y la humedad (Rajeev *et al*, 2013; Belnap *et al*, 2004; Kidrón *et al*, 2012), al correlacionar estas variables con la abundancia de rotíferos se encontró que el pH afecta negativamente a la abundancia. Esto es, cuando se incrementó el pH en las diferentes temporadas, la abundancia de rotíferos disminuyó o se mantuvo estable. Los cambios de temperatura también registraron un comportamiento similar con la abundancia de rotíferos y afectando su actividad de estos organismos.

Para el factor humedad la correlación es significativa con valores bajos, por lo que probablemente la humedad no pareció afectarlos de alguna forma, aunque no se descarta que este factor este activando a otras poblaciones de microorganismos y por consecuencia otros factores que estén afectando a los rotíferos como alimento, depredadores, parásitos etc. Además de que como se puede observar en el diagrama de variables fisicoquímicas del análisis de componentes, se registran 2 grupos de variables: la temperatura y humedad que están afectando al pH y materia orgánica.

También se debe tomar en cuenta que el suelo de Zapotitlán presenta una cubierta vegetal compuesta por costras biológicas (Rivera *et al.*, 2006), que reducen la evaporación del agua. Esta cubierta biológica sirve como microhábitat de muchos microorganismos del suelo tales como bacterias, levaduras, hongos, cianobacterias y protozoarios, muchos de los cuales sirven de alimento para los rotíferos, por lo que las posibilidades de que los rotíferos también encuentren alimento y refugio en estos ambientes son altas. Por otro lado, algunas especies vegetales de leguminosas su sistema de raíces es muy importante en la fijación de nitrógeno (Sánchez, 1996), debido a que las raíces jóvenes absorbentes exudan nutrimentos al suelo (Richard, 1987) liberando así humedad en sus raíces, por lo tanto se recomienda el estudio de estas condiciones debido a que podrían propiciar un buen lugar para que los rotíferos del suelo pudieran desarrollarse adecuadamente y explotar al máximo la entrada y salida de latencia o anhidrobiosis.

Los resultados aquí expuestos son consistentes con el hecho de encontrar variaciones en las densidades de rotíferos en suelo bajo la vegetación y en órdenes menores en el interespacio sin influencia de la vegetación. Estos cambios en las densidades a lo largo del año, apoyan la idea de que los rotíferos se encuentran activos y además de que la vegetación funciona como facilitadora para la existencia de los rotíferos, y el cambio de las densidades de rotíferos entre estaciones y microambientes puede ser explicado de acuerdo a las condiciones fisicoquímicas en la zona de raíces de la vegetación. Por lo tanto en este estudio se establece que los rotíferos tienen una distribución de acuerdo con el tipo de vegetación en las temporadas descritas y que los cambios en las densidades de rotíferos activos, así como las bajas densidades de rotíferos en anhidrobiosis, es en respuesta a las variables fisicoquímicas, se confirma la correlación directa con la materia orgánica del suelo, la temperatura y los cambios de pH.

## Distribución espacio-temporal de rotíferos

Al evaluar la riqueza taxonómica de rotíferos localizados en la zona de raíces de leguminosas y cactáceas de la terraza de estudio se observa que es alta (catorce especies de rotíferos, *Habrotrocha* sp.1, *Habrotrocha* sp.2, *Macrotrachela* sp., *Rotaria sordida*, *Rotaria tardígrada*, *Adineta ricciae*, *Philodina* sp., *Lecane closterocerca*, *Lecane inermis*, *Lecane lunaris-virga*, *Tricocherca* sp., *Bradycella* sp.1, *Bradycella* sp.2, *Abrotcha*) si se compara con aquellas encontradas en el interespacio del suelo (con solo tres especies de rotíferos, *Habrotrocha* sp.1, *Adineta ricciae* y *Habrotrocha carnívora*). Es claro que la zona de raíces la distribución de taxa fue mayor que en el interespacio, esto se vio reflejado al aislar rotíferos en anhidrobiosis que se encontraban depositados en suelo con influencia de la vegetación (Diez especies de rotíferos, *R. sordida*, *R. tardígrada*, *Rotaria* sp., *Adineta ricciae*, *Habrotrocha* sp.1, *Macrotrachela* sp.1, *Lecane lunaris-virga* y *Lecane closterocerca*), debido a que en el interespacio no se registraron organismos en anhidrobiosis.

*Mirtyllocactus geometrízans* registro la mayor riqueza en las cuatro estaciones analizadas (trece especies de rotíferos, *Habrotrocha* sp.1, *Habrotrocha* sp.2, *Macrotrachela* sp., *Rotaria sordida*, *Rotaria tardígrada*, *Adineta ricciae*, *Philodina* sp., *Lecane closterocerca*, *Lecane inermis*, *Tricocherca* sp., *Bradycella* sp.1, *Bradycella* sp.2, *Abrotcha*) si se toma en cuenta que en zona de raíces de *Prosopis laevigata* se tienen nueve especies de rotíferos (*Habrotrocha* sp.1, *Macrotrachela* sp., *Rotaria sordida*, *Adineta ricciae*, *Philodina* sp., *Lecane closterocerca*, *Lecane inermis* y *Tricocherca* sp., *Abrotcha* sp.) y en *Parkinsonia praecox* se tienen diez especies de rotíferos (*Habrotrocha* sp.1, *Habrotrocha* sp.2, *Macrotrachela* sp., *Rotaria sordida*, *Rotaria tardígrada*, *Adineta ricciae*, *Philodina* sp., *Lecane closterocerca*, *Lecane inermis* y *Tricocherca* sp.).

Las mayores riqueza en *Mirtyllocactus geometrízans* se localizan en abril con diez especies de rotíferos (*Habrotrocha* sp.1, *Macrotrachela* sp., *Rotaria sordida*,

*Rotaria tardígrada*, *Adineta ricciae*, *Lecane closterocerca*, *Lecane inermis*, *Tricocherca sp.*, *Bradycella sp.1*, *Bradycella sp. 2*), seguido por el mes de diciembre donde se localizan siete especies (*Habrotrocha sp.1*, *Rotaria sordida*, *Adineta ricciae*, *Philodina sp*, *Lecane closterocerca*, *Lecane inermis*, *Tricocherca sp*). Septiembre y mayo fueron los meses que registraron menor diversidad en *Mirtyllocactus geometrizzans*, con tan solo dos especies (*Habrotrocha sp.1* y *Lecane inermis*) y cuatro especies (*Habrotrocha sp.1*, *Abrotcha*, *Macrotrachela, sp. Philodina, sp*) respectivamente.

Al analizar la zona de raíces de *Prosopis laevigata* en el mes de septiembre donde se registran seis especies (*Habrotrocha sp.1*, *Macrotrachela sp*, *Rotaria sordida*, *Adineta ricciae*, *Philodina sp*, *Lecane closterocerca*) y en mayo siete especies (*Habrotrocha sp.1*, *Macrotrachela sp*, *Rotaria sordida*, *Adineta ricciae*, *Lecane closterocerca*, *Lecane inermis* y *Tricocherca sp*), además de que en *Parkinsonia praecox* se tienen seis especies (*Habrotrocha sp.1* *Macrotrachela sp*, *Rotaria sordida*, *Adineta ricciae*, *Philodina sp.* y *Lecane closterocerca*) y cinco especies (*Habrotrocha sp.1*, *Rotaria sordida*, *Rotaria tardígrada*, *Adineta ricciae*, *Lecane closterocerca*, *Lecane inermis* y *Tricocherca sp*) respectivamente, es evidente que la diversidad de rotíferos se localiza en las leguminosas durante estas temporadas.

En cambio en diciembre y abril en *Parkinsonia praecox* se tienen seis especies de rotíferos (*Habrotrocha sp.1*, *Rotaria sordida*, *Adineta ricciae*, *Lecane closterocerca*, *Lecane inermis* y *Tricocherca sp*) y la mayor diversidad en abril diez especies (*Habrotrocha sp.1*, *Habrotrocha sp.2*, *Macrotrachela sp*, *Rotaria sordida*, *Rotaria tardígrada*, *Adineta ricciae*, *Lecane closterocerca*, *Lecane inermis*, *Lecane lunaris* y *Tricocherca sp*). En *Prosopis laevigata*, se tienen 7 especies de rotíferos (*Habrotrocha sp.1*, *Rotaria sordida*, *Adineta ricciae*, *Lecane closterocerca*, *Lecane inermis*, *Tricocherca sp.* y *Abrotcha sp*) y seis especies de rotíferos (*Habrotrocha sp.1*, *Rotaria sordida*, *Adineta ricciae*, *Lecane closterocerca*, *Lecane inermis* y *Tricocherca sp*) respectivamente. Por lo tanto esta diversidad se encuentra

distribuida en la zona de raíces de leguminosas y cactáceas durante estas dos estaciones muestreadas.

No existen trabajos con los que se puede comparar los resultados obtenidos. Debido a que los trabajos realizados se han descrito en otros ambientes por ejemplo: en estudios realizados en la parte oriental de Corea, Song y Kim, reportaron 38 especies de rotíferos y en suelos de bosque, Devetter, reportó 34 especies en suelo dominado vegetación también compuesta por bosque. Recientemente en muestras de suelo de una planicie de inundación perteneciente al parque nacional Duna-Dráva, en Hungría se encontraron un total de 31 especies de rotíferos (Scholl y Devetter, 2013). Por lo que nuestro trabajo no es comparable con estos estudios debido a que la zona de estudio, es una zona árida que presenta condiciones bióticas (vegetación de leguminosas y cactáceas, así como endemismos) y abióticas (condiciones físico-químicas).

#### Análisis de la abundancia huevos de resistencia y rotíferos en anhidrobiosis

No se registraron huevos de resistencia depositados en suelo de la terraza, en la zona de raíces de las leguminosas, la cactácea ni en el interespacio. Se ha descrito que la producción de huevos de rotíferos puede ocurrir en cualquier etapa del ciclo de vida. Entre los principales factores que inducen a la producción de huevos de resistencia en rotíferos monogononta están: el hacinamientos de la población (en algunas especies) y el fotoperiodo en los rotíferos pertenecientes al género *Lecane* (Schroder, 2005) y la disponibilidad de alimento.

En el laboratorio se logró estimular la producción de huevos de resistencia de rotíferos, proporcionándoles condiciones adecuadas (alimento y fotoperiodo) para desarrollar su ciclo de vida, es por eso que no se descarta que en el suelo, en periodos breves ocurra la producción de estas estructuras de latencia en la zona de estudio. Es evidente que el suelo de las terrazas no posee las condiciones para que las especies del género *Lecane* produzcan huevos de resistencia. Y al no



encontrar huevos de resistencia depositados en suelo de la zona de estudio, estos posiblemente se están respondiendo a condiciones adversas por lo que se están incorporando constantemente, están sufriendo deterioro ambiental y están siendo depredados por otros microorganismos.

Por otro lado las densidades de rotíferos bdelloides en anhidrobiosis son bajas en suelo de Zapotitlán Salinas, Puebla, aunque no es recomendable hacer un balance entre rotíferos en latencia y las densidades de rotíferos activos, por lo que posiblemente se esté subestimando los resultados. Sin embargo, con estos resultados se puede plantear que los rotíferos Bdelloidea sí están activos en las redes tróficas del suelo de Zapotitlán y que probablemente también son depredados por otros microorganismos disminuyendo así a estos rotíferos. En rotíferos Bdelloides, los pulsos de humedad, el constante secado, altas temperaturas y cambios en las condiciones químicas del suelo, favorecen su permanencia en el suelo, y se ha reportado que incrementan sustancialmente sus poblaciones debido al incremento en la fecundidad tras la entrada y salida de anhidrobiosis, es por ello que registramos más organismos activos que los que se reportan inactivos en nuestros resultados.

Con los resultados encontrados y tomando en cuenta la anhidrobiosis, los rotíferos Monogonontas y Bdelloides han desarrollado diferentes adaptaciones a lo largo de su historia natural (p. ej., reproducción y latencia) que les ayudan a hacer frente a las condiciones climáticas extremas de manera distinta en el área de estudio, lo que en general fundamenta las diferencias encontradas en la riqueza y variación de rotíferos en la terraza de la zona de estudio. Por ejemplo: la entrada en latencia prolongada les permite a los rotíferos bdelloidea tolerar condiciones de sequia, temperatura extremas, así como cierto grado de exposición a la luz ultravioleta en la zona de estudio; *Adineta ricciae* y los rotíferos del género *Macrotrachela* (*M. quadricornifera*), que son los rotífero más abundantes en la terraza soporta todas estas condiciones, además se ha descrito que este tipo de latencia incrementa su longevidad y su fecundidad.

Otros organismos Bdelloides segregan sustancias mucosas en su superficie corporal (Bartos, 1951), por ejemplo: las especies del género *Habrotrocha* se recubren así de diversas partículas que se adhieren a su superficie, formando un refugio para sobrevivir durante los períodos desfavorables. Algunas especies, como *Habrotrocha reclusa* y *Habrotrocha roeperi*, puede encontrar un refugio para la falta de agua en las cavidades de musgos (*Sphagnum*); otras especies como *Mniobia symbiotica* y *Habrotrocha leitgebi* viven en aberturas laterales o cavidades de hepáticas (Melone y Fontaneto, 2005). *Macrotrachela multispinosa* y *Dissotrocha aculeata* han desarrollado tegumentos más gruesos que incluyen gránulos, excrecencias y espinas que les ayudan a sobreponerse a la escasez de agua (Kutikova 2002). Por todo lo anterior podemos decir que en rotíferos Bdelloides, los pulsos de humedad, el constante secado, altas temperaturas y cambios en las condiciones químicas del suelo, favorecen su permanencia en ambientes como el descrito en la zona de estudio, y si consideramos que la vegetación de la zona de estudio crea condiciones necesarias para el establecimiento de estas comunidades de microorganismos, es claro que se confirma la actividad de rotíferos en las redes tróficas del suelo.

## **Conclusión**

La riqueza y la abundancia de rotíferos Bdelloidea se localizan en zona de raíces de leguminosas y cactáceas durante los meses de mayo y septiembre, y en cactáceas durante los meses de diciembre y abril. Además los rotíferos están respondiendo a factores fisicoquímicos (materia orgánica, temperatura y pH). La humedad no tiene un efecto importante en la abundancia de estos microorganismos.

Por lo tanto concluimos que la vegetación presenta condiciones propicias para el establecimiento de los rotíferos durante las temporadas del ciclo anual. Sin embargo, las diferentes especies vegetales determinan la composición de la comunidad de rotíferos del suelo, mostrando diferencias estacionales y espaciales en cuanto a la composición y abundancia de estos microorganismos.

## **Recomendaciones**

Para el estudio de rotíferos en suelo de las terrazas en Zapotitlán Salinas, Puebla, se recomienda:

Realizar estudios de ecología como tablas de vida con las principales especies encontradas, tomando en cuenta el tipo de alimento, factores de depredación y reproducción.

Determinar la comunidad de rotíferos depositada en sedimentos del río salado localizado en la zona de estudio.

Determinar la comunidad de rotíferos en costras biológicas en suelo

## **Bibliografía**

Anderson, R.V.; Ingham, R.E.; Trofymow, J.A.; Coleman, D.C. 1984. Soil mesofaunal distribution in relation to habitat types in shortgrass prairie. *Pedobiol.* 26: 257-261.

Bartos, E., 1959: *Vírníci-Rotatoria. Fauna CSR, CSAV Prague, 972 pp.*

Bartos, E. 1951. The Czechoslovak Rotatoria of the order Bdelloidea. *Věstník Československé zoologické společnosti* 15, 241–500.

Belnap, J., Bowker MA, Miller ME, Johnson NC. 2008. Prioritizing conservation effort through the use of biological soil crusts as ecosystem function indicators in an arid region. *Conserv. Biol.* 22, 1533-43.

Belnap J, Phillips SL, Miller ME. 2004. Response of desert biological soil crusts to alterations in precipitation frequency. *Oecologia* 141: 306–316.

Bissett, A., 2013 Microbial community responses to anthropogenically induced environmental change: towards a systems approach. *Ecology Letters.* 16, 128-139.

Borowitzka, M.A. and L. J. Borowitzka.1998. *Micro-algal biotechnology.* Cambridge University Press, London.

Cáceres, C. E. 1997. Egg bank dynamics and Daphnid species diversity in lago Oneida.

Caprioli, M. y C. Ricci, 2001. Recipes for successful anhydrobiosis in bdelloid rotifers. *Hydrobiologia* 446/447: 13–17.

Ciros-Pérez, J 2001. Exclusión y coexistencia entre especies gemelas de rotíferos: mecanismos subyacentes. Tesis Doctoral, Universitat de València, España.

Devetter, M. y Jan Frouz. 2011. Primary Succession of Soil Rotifers in Clays of Brown Coal Post-Mining Dumps. *Hydrobiol.* 96: 164-174.

Devetter, M., 2007: Soil rotifers (Rotifera) of the Kokořínsko PLA. – *Biologia (Bratislava)* **62**: 222–224.

Devetter, M., 2009a: Spatiotemporal dynamics of soil rotifers in a South-Bohemian beech forest. –*Pesq. Agropec. Bras., Brasilia* **44**: 1027–1032.

Devetter, M., 2009b: Seasonal development and vertical distribution of soil rotifer populations in South-Bohemian beech forest. – *In: TAJOVSKÝ, K., J. SCHLAGHAMERSKÝ, and V. PIŽL, (eds.): Contributions to Soil Zoology in Central Europe III. ISB BC AS CR, v.v.i., České Budějovice, 19–23.*

Devetter, M., 2010: A method for efficient extraction of rotifers (Rotifera) from soils. *Pedobiologia***53**: 115–118.

Donner, J., 1965: Ordnung Bdelloidea (Rotatoria). A-V, Berlin. 297 pp.

Frías-Hernández, J.T., L.L. Aguilar, V.P. Olalde, J.A. Balderas, L.G.

FAO. 2003. Evaluación de la degradación de la tierra en zonas áridas. Land Degradation Assessment in Drylands, Lada. Ladalín. Roma. Pp 42.

Franz, H., Etat de nos connaissances sur la microfaune dusol, *Ann. Biol.*, 1951, vol. 27, pp. 241–252.

García-Moya, E. & C.M. McKell. 1970. Contribution to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology* 51: 81-88.

Garcia-Roger E., M. J. Carmona y M. Serra. 2005. Deterioration patterns in diapausing egg banks of *Brachionus* (Muller, 1786) rotifer species. *Journal Of Experimental Marine Biology and Ecology* 314: 149-161.

Garcia-Roger E., M. J. Carmona y M. Serra. 2006. Patterns in rotifer diapausing egg banks: Density and viability. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 336: 198-210.

Garcia-Roger E., M. J. Carmona y M. Serra. 2004. Hatching and viability of rotifer diapausing eggs collected from pond sediments. *Freshwater Biology* 51: 1351-1358.

García-Álvarez, A. & Bello, A. 2004. Diversidad de los organismos del suelo y transformaciones de la materia orgánica. Memorias. I Conferencia Internacional Eco-Biología del Suelo y el Compost. León, España. p. 211.

Gómez, A., M. Serra, G.R. Carvalho y D.H. Lunes. 2002. Speciation in ancient cryptic species complexes: evidence from the molecular phylogeny of *Brachionus plicatilis* (Rotifera). *Evolution* 56: 1431- 1444.

González, 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. Tesis doctoral PCB. FES-Iztacala. UNAM.

Herman P. 2000. *Biodiversity and evolution in mycorrhizae of the desert* . Pp. 141-160. *In*: Ch W Bacon y JF White Jr. (Eds). *Microbial endophytes*. Marcel Dekker. Ney York. Basel.

Jiménez-Contreras, J., S.S.S. Sarma, M. Merino-Ibarra and S. Nandini. 2009. Seasonal changes in the rotifer (Rotifera) diversity from a tropical high altitude reservoir (Valle de Bravo, Mexico). *J. Environ. Biol.*, 30, 191-195.

Kidron GJ, Barinova S, Vonshak A. 2012. The effects of heavy winter rains and rare summer rains on biological soil crusts in the Negev Desert. *Catena* 95: 6–11.

Kutikova, L, A. 2002. Bdelloid Rotifers (Rotifera, Bdelloidea) as a Component of Soil and Land Biocenoses.

López-Galindo, F., Muñoz, D. Hernández, M. Soler, A. Castillo, M. C. Hernández, I. 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. *BSGM*. 1: 19-41.

Melone, G. y Fontaneto, D. 2005. Trophi structure in bdelloid rotifers. *Hydrobiologia* 546, 197–202.

Melone G. y Ricci C. 1995 Rotatory apparatus in bdelloids. *Hydrobiol* 313/314: 91–98.

Melone G. y Ricci C. and Segers H. 1998 The trophi of Bdelloidea (Rotifera): a comparative study across the class. *Can J Zool*. 76: 1755–1765.

Michael 2011. Soil rotifer communities are extremely diverse globally but spatially autocorrelated locally. *Microbiol*. 108. 11: 4406-4410.

Moreno, C. E. 2001 Métodos para medir la biodiversidad volumen 1. Manuales y tesis. Sociedad entomológica Aragonesa Zaragoza España. 84 pp.



Muñoz, D., Mendoza, A., López-Galindo, F., Hernández-Moreno, M., Soler-Aburto, A., 2007. Manual de análisis de suelos, UNAM. ENEP-Iztacala.

Perroni-Ventura, Y., C. Montaña & F. García-Oliva. 2006. Relationship between soil nutrient availability and plant species richness in a tropical semi-arid environment. *J. Veg. Sci.* 17: 719-728.

Pen-Mouratov S, Rodríguez-Zaragoza S, Steinberger. 2008. The effect of *Cercidium praecox* and *Prosopis laevigata* on vertical distribution of soil free-living nematode communities in the Tehuacan desert, Mexico. *Ecol Res* 23:973-982.

Rajeev. Lara. 2013. Dynamic cyanobacterial response to hydration and dehydration in a desert biological soil crust. *International Society for Microbial Ecology*. 1751-7362/13.

Ricci, C. Caprioli, M. y Fontaneto D. 2007. Stress and fitness in parthenogens: is dormancy a key feature for bdelloid rotifers? *Evolutionary Biology*. 7(Suppl 2):S9 doi:10.1186/1471-2148-7-S2-S9.

Ricci, C. Caprioli, M. 2005. Anhydrobiosis in Bdelloid Species, Populations and Individuals. *INTEGR. COMP. BIOL.*, 45:759–763.

Ricci, C. y Melone, 2000 G. Key to the identification of the genera of bdelloid rotifers. *Hydrobiol.* 418: 73–80.

Ricci C. 1998. Anhydrobiotic capabilities of bdelloid rotifers. *Hydrobiologia* 387/388:321–326.

Richardson, A., Barea, JM., McNeill, A. y Prigent-Combaret, P. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant Soil*. 321:305-339.

Rivera, V., Montejano, G., Rodríguez-Zaragoza, S., Duran-Díaz, A. 2006. Distribution and composition of cyanobacteria, mosses, and lichens of the biological soil crust of the Tehuacán Valley, Puebla México. *Journal of and Enviroments*. 67: 208-225.

Rivera, V. Godínez-Alvarez G., H. Moreno-Torres R. Rodríguez-Zaragoza, S 2009. Soil physico-chemical properties affecting the distribution of biological soil crusts along an environmental transect at Zapotitlán drylands, Mexico. *Journal of Arids Enviroments*. 73: 1023-1028.

Richards, B.N. 1987. The microbiology of terrestrial ecosystems. Longman Scientific & Technical, Essex, UK.

Sánchez, G.D. 1996. El Mesquite: El árbol del desierto. Chapingo-Ciencias Forestales, 1: 37- 51.

Rodríguez-Zaragoza, S. 1994. Ecology of free-living amoebae. *Crit. Rev. Microbiol.* 20: 225-241.

Schmid-Araya, J. M., 1998. Rotifers in interstitial sediments. *Hydrobiol.* 388: 231-240.

Scholl, K y Devetter, M. 2013. Soil rotifers new to Hungary from the Gemenc floodplain (Duna-Dráva National Park, Hungry). *Journal of Zoology.* 37:406-4012.

Serrano-Vazquez, A. Rodríguez-Zaragoza, S. Pérez-Juárez, H. Bazán-Cuenca, J. Rivera-Aguilar, V.M. Durán, Angel. 2013. Spatial–Temporal Variation of Soil Physical and Chemical Properties under *Prosopis laevigata* and *Parkinsonia praecox* from an Arid Zone in Mexico. *Soil Science.* 178:2/87-103.

Segers H, 2011 Phylum Rotifera Cuvier, 1817. *In*: Zhang, Z.-Q. (Ed.) Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. *Zootaxa*, 3148: 231–233.

Segers, H.: Rotifera 2. 1995. The Lecanidae. Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the World, S.P.B. Academic Publishing, Amsterdam. The Netherlands.

Song M. O. y Kim W. Bdelloid rotifers from Korea. *Hydrobiologia* 439: 91–101.

Örstan A. 1995. A New Species of Bdelloid Rotifer from Sonora, Mexico. *The Southwestern Nat.* Vol. 40. 3: 255-258.

Schröder, T. 2005. Diapause in monogonont rotifers. *Hydrobiologia*, 546: 291-306.

Stein. J (ED).1980. Handbook of phycological methods. culture methods and growth measurements. Cambridge .university press 448 pp.

Torri, D. y Rodolfi, G.,2000. "Badlands in changing environments: an introduction", *Catena*, vol. 40, p.119-125.

Onbë, T. 1978. Sugar flotation method for sorting the resting eggs of marine cladocerans and copepods from sea-bottom sediment.

Örstan A. 1995. A New Species of Bdelloid Rotifer from Sonora, Mexico. *The Southwestern Nat.* Vol. **40**. 3: 255-258.

Osorio-Beristain, O., A. Valiente-Banuet, P. Dávila, y R.L. Medina. 1996. Tipos de vegetación y diversidad  $\beta$  en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 59:35-58.

Valiente-Banuet, A., Casas, A., Alcántara, A., Dávila, P., Flores-Hernández, N., Arizmendi, M., Villaseñor, J., Ortega, J., 2000. La vegetación del Valle de Tehuacan-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67, 24–74

Valiente-Banuet A. y Ezcurra E. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisiana* in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ecology* 79: 961-971.

Wallace, R.L., T.W. Snell, C. Ricci and T. Nogrady. 2006. Rotifera Part 1: Biology, ecology and systematics. Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. Kenobi Productions, Ghent, Belgium / Backhuys Publishers, The Netherlands.

Weber, C.I. 1993. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. 4th Edn. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, EPA/600/ 4-90/027F.

Whitford, W. G. 2002. Ecology of desert systems. Academic Press. Jamestown Road, London, UK.

Zak, D. Holmes, W. White, D. Peacock, A. Tilman, D. 2003. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: Are there any links?. *Ecology*. 84(8) 2042-2050.