



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA
ECOLOGÍA

**“Estructura de la comunidad de ácaros del suelo en cinco
microambientes de una terraza degradada del Valle de Zapotitlán
Salinas, Puebla, en diferentes épocas del año”**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

DANIEL ISAAC SÁNCHEZ CHÁVEZ

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: Dr. SALVADOR RODRÍGUEZ ZARAGOZA
FES IZTACALA, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dra. NATHALIE CABIROL
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dr. ZENÓN CANO SANTANA
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

MÉXICO, D.F. NOVIEMBRE, 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.

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

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Subcomité de Biología Evolutiva y Sistemática del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 29 de junio de 2015, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** del alumno DANIEL ISAAC SÁNCHEZ CHÁVEZ, con número de cuenta 408009841, con la tesis titulada **"Estructura de la comunidad de ácaros del suelo en cinco microambientes de una terraza degradada del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, en diferentes épocas del año"**, realizada bajo la dirección del **DR. SALVADOR RODRÍGUEZ ZARAGOZA**:

Presidente: DRA. SILKE CRAM HEYDRICH
Vocal: DR. JOSÉ GUADALUPE PALACIOS VARGAS
Secretario: DR. ZENÓN CANO SANTANA
Suplente: DRA. BLANCA ESTELA MEJÍA RECAMIER
Suplente: DRA. NATHALIE ROBERTE CHANTAL CABIROL

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



ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 01 de octubre de 2015.

María del Coro Arizmendi

DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA

c.c.p. Expediente del (la) interesado (a)

AGRADECIMIENTOS

Primeramente al posgrado en Ciencias biológicas, UNAM por la formación recibida durante los estudios de Maestría.

Al programa CONACyT- Becas nacionales – CVU 545397 por el apoyo recibido para la realización y conclusión de esta tesis.

A la UNAM por el apoyo recibido a través del programa PAEP.

A los miembros del comité tutor. Dr. Salvador Rodríguez Zaragoza (tutor principal), Dra. Nathalie Cabirol y Dr. Zenón Cano Santana por la dirección en el trabajo de esta tesis.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

A mi director de tesis, el Dr. Salvador Rodríguez por todo el apoyo brindado (que es mucho) para la realización de este trabajo, por su conocimiento y por supuesto, por aquellos torzones que me han ayudado bastante, pues me han permitido crecer como profesionista y como persona. Agradezco en particular, aquellos consejos o palabras de aliento, pues han estado cuando los he necesitado.

A mi comité tutor: Dra. Nathalie Cabriol y Dr. Zenón Cano por su tiempo, interés y apoyo para la realización y conclusión de esta tesis. En particular, porque me han permitido observar una forma diferente de hacer las cosas, la cual me ha servido bastante, para mi formación.

Al Dr. José Palacios y a su equipo de trabajo en el laboratorio de ecología y sistemática de microartrópodos por todas las facilidades brindadas para la realización de la fase experimental de este trabajo y por permitirme pasar un rato agradable en su laboratorio.

A la Dra. Blanquita Mejía por su asesoría, su tiempo y dedicación brindados en el montaje e identificación de los ácaros, y por aquellas charlas no académicas que hacían un rato agradable.

A la Dra. Silke Cram, por sus sugerencias y observaciones en la redacción de la tesis.

Al personal del posgrado en Iztacala, por que como me han sacado de apuros con tanto trámite que hay que hacer, gracias.

A mis padres por su sacrificio y su amor, pues han invertido en mí todo su esfuerzo, sus desvelos y a pesar de ciertas limitaciones nunca se detuvieron para sacar adelante a mi hermano y a mí; tienen mi gratitud, mi admiración y mi respeto. En verdad, que mejores padres no pude haber tenido.

A Andrea, mi compañera, por todo: por su amor, su sacrificio, su compromiso, ya que no es fácil convivir conmigo, jajaja. Y agradezco el que podamos compartir nuestras vidas, pues vamos creciendo juntos, disfrutando de nuestros logros y reflexionando en nuestros fracasos. He crecido en muchos aspectos, he visto las cosas con otros ojos y soy consciente de lo que soy y hacia donde quiero ir. Gracias por motivarme a nunca abandonar y renunciar a mis sueños, nuestros sueños. Te amo.

A mi familia académica, también conocida como “la banda micro”, que me han aguantado durante ya un rato y me han permitido crecer académicamente y aprender a su lado, gracias por su compañía y consejos.

A mi abuelita Catalina, mis tíos y tías, mis primos y primas, sobrinos y sobrinas, también a mis hermanos, que me han demostrado con su ejemplo y palabras que, como familia somos uno y no solo la sangre nos une, sino ese cariño y apoyo incondicional que nos tenemos los unos a los otros.

A mis suegros, que también son mi familia, por ese apoyo incondicional, por aceptarme como un hijo más, y por darme ese voto de confianza con respecto a Andrea.

A mi coach, el buen Flavio, por enseñarme la disciplina y la dedicación con la cual se tienen que hacer las cosas.

A mis amigos y hermanos de la banda de la cual, hasta la fecha, desconozco su nombre, y a sus familias pues me han brindado su consejo y amistad sincera y por todos los momentos de rock & roll y de relajó.

DEDICATORIA

Cualquiera pensaría que una tesis es hecha por solo una persona, y aunque eso diga en la portada, esta tesis es el resultado de la participación de muchas personas que directa e indirectamente han ayudado con sus palabras y acciones a la elaboración del siguiente trabajo.

A todas esas personas va dedicada.

Los dioses no nos revelan, desde el comienzo,
Todas las cosas;
Pero en el transcurso del tiempo,
A través de la búsqueda,
Los humanos hallan lo mejor.

Pero en cuanto a la verdad segura,
Nadie la ha conocido,
Ni la conocerá;
Ni sobre los dioses,
Ni sobre todas las cosas de las que hablo.

Y aun si por azar alguien dijera la
Verdad final,
Él mismo no la sabría;
Pues todo es una maraña de presunciones.

Jenófanes

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
Objetivos	9
Antecedentes	10
Metodología	11
Área de estudio	11
Muestro	14
Extracción de ácaros	14
Parámetros fisicoquímicos	15
Índices ecológicos y pruebas estadísticas	15
Resultados	16
Parámetros fisicoquímicos	16
Ácaros	19
Discusión	30
Conclusión	36
Literatura citada	37
Apéndice 1	44
Apéndice 2	48

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figuras

1	Mapa de la ubicación de Zapotitlán, Salinas, Puebla.	11
2	Climograma de la estación Zapotitlán, Puebla.	12
3	Diferentes microambientes utilizados en este estudio: A) <i>P. laevigata</i> , B) <i>P. praecox</i> , C) <i>M. geometrizzans</i> , D) costras biológicas y E) suelo desnudo	13
4	Porosidad en los cinco microambientes durante la época de lluvias intensas. N=4. 18	18
5	Densidad de ácaros en los cinco microambientes durante los cuatro muestreos. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre épocas, y letras mayúsculas diferentes denotan diferencias significativas entre microambientes con $P < 0.05$ (prueba de Tukey). N=4	19
6	Abundancia total de ácaros en los cinco microambientes de las cuatro épocas del año.	20
7	Índice de similitud de Sørensen (LIM-lluvias moderadas, Seq-sequía, LII-lluvias intensas, Can-canícula, PI- <i>P. laevigata</i> , Pp- <i>P. praecox</i> , Mg- <i>M. geometrizzans</i> , Cb-costras biológicas, Sd-suelo desnudo).	27
8	Análisis Canónico de Correspondencias de las familias de ácaros en los cinco microambientes durante las cuatro estaciones (en donde PI- <i>P. laevigata</i> , Pp- <i>P. praecox</i> , Mg- <i>M. geometrizzans</i> , Cb- costras biológicas, Sd- suelo desnudo).	29

Tablas

1	Variación estacional de cinco parámetros fisicoquímicos del suelo (media \pm desviación estándar) en cinco microambientes de una terraza degradada en Zapotitlán Salinas, Pue. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre épocas dentro de un mismo microambiente, y letras mayúsculas diferentes denotan diferencias significativas entre microambientes dentro de una misma época con $P < 0.05$ (prueba de Tukey). Cob de dos. = cobertura de dosel, MO = materia orgánica, Temp. = temperatura del suelo. N = 4.	17
2	A Abundancia de ácaros por familia durante la época de lluvias moderadas (septiembre) en cinco microambientes edáficos: bajo tres	22

	especies de plantas (<i>P. laevigata</i> , <i>P. praecox</i> , <i>M. geometrizzans</i>), costras biológicas y el suelo desnudo.	
B	Abundancia de ácaros por familia durante la época de sequía (marzo) en cinco microambientes edáficos: bajo tres especies de plantas (<i>P. laevigata</i> , <i>P. praecox</i> , <i>M. geometrizzans</i>), costras biológicas y el suelo desnudo.	23
C	Abundancia de ácaros por familia durante la época de lluvias intensas (junio) en cinco microambientes edáficos: bajo tres especies de plantas (<i>P. laevigata</i> , <i>P. praecox</i> , <i>M. geometrizzans</i>), costras biológicas y el suelo desnudo.	24
D	Abundancia de ácaros por familia durante la canícula (julio) en cinco microambientes edáficos: bajo tres especies de plantas (<i>P.</i> <i>laevigata</i> , <i>P. praecox</i> , <i>M. geometrizzans</i>), costras biológicas y el suelo desnudo.	25
3	Variación de los índices de diversidad de Shannon-Wiener y de Simpson en cinco microambientes.	26
4		
A	ANOVA de dos vías de temperatura	44
B	ANOVA de dos vías de humedad relativa del suelo	44
C	ANOVA de dos vías del contenido de materia orgánica	45
D	ANOVA de dos vías de la cobertura de dosel	45
E	ANOVA de dos vías de pH	46
F	ANOVA de un factor de porosidad	46
G	ANOVA de dos vías de los ácaros edáficos	47
5	Análisis de correspondencia canónica	48

RESUMEN

El papel de los ácaros en la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de los nutrientes es de vital importancia en muchos tipos de suelo, en particular donde son los microartrópodos dominantes. Ellos inician el proceso de degradación de la hojarasca mediante la fragmentación del material vegetal, permitiendo así, el desarrollo de los microorganismos degradadores, a la vez que también realizan una dispersión más efectiva de hongos y bacterias. La diversidad de ácaros edáficos puede indicar que lugares han sufrido algún disturbio o cuales están en proceso de degradación. El objetivo del presente estudio fue determinar la variación de la estructura de la comunidad de los ácaros en suelo superficial (0-15 cm) en cinco microambientes de una terraza aluvial degradada (bajo *Prosopis laevigata*, *Parkinsonia praecox*, *Myrtillocactus geometrizans*, costras biológicas y el suelo desnudo) en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla durante cuatro cambios de estación. Se encontró la mayor diversidad de ácaros, en particular del orden Oribatida, en la zona de raíces de *P. laevigata* y *P. praecox* durante las épocas de lluvias. Las variaciones de pH, temperatura, humedad del suelo, contenido de materia orgánica, porosidad del suelo y cobertura de dosel en los microambientes muestran que las especies vegetales actúan como sitios adecuados para el desarrollo y reproducción de los ácaros edáficos. Por ello, la presencia de los arbustos e inclusive de la cactácea tiene un efecto positivo en las comunidades de organismos macro y microscópicos que habitan en la zona de raíces donde se lleva a cabo el reciclaje de los nutrientes, lo que nos indica que esta relación establecida entre los arbustos y las comunidades de ácaros tienen un efecto positivo para la conservación del suelo.

ABSTRACT

The role of mites in the decomposition of organic matter and nutrient recycling is vital in many types of soil, particularly where they are the dominant microarthropod. They begin the process of degradation of the litter by fragmentation of plant material, thus allowing the development of degraders, while also perform a more effective dispersion of fungi and bacteria. The diversity of soil mites may indicate that places have suffered some disturbance or which are in decline. The aim of this study was to determine the variation of the structure of the community of mites on surface soil (0-20 cm) in five microenvironments of a degraded alluvial terrace (on *Prosopis laevigata*, *Parkinsonia praecox*, *Myrtillocactus geometrizans*, biological crusts and bare soil) in the Valley of Zapotitlán Salinas, Puebla for four season changes. The greatest diversity of mites are found, particularly the order Oribatida, in the root zone of *P. laevigata* and *P. praecox* during the rainy season. Changes in pH, temperature, soil moisture, organic matter content, soil porosity and canopy cover in microenvironments show that plants act as suitable sites for the development and reproduction of soil mites. Therefore, the presence of shrubs and even the cactus has a positive effect on the communities of macro and microscopic organisms that live in the root zone where it carries out the recycling of nutrients, which indicates that this relationship established in the bushes and mite communities have a positive effect on soil conservation.

INTRODUCCIÓN

El suelo es el producto del desarrollo de los ecosistemas terrestres; provee agua y nutrimentos a plantas, animales y microorganismos, además es el soporte en que la vegetación terrestre está anclada. En general, el suelo es el resultado de la interacción del clima, la topografía, el material parental, los organismos y el tiempo. En él ocurren procesos como los ingresos de materia y energía (producción primaria), egresos (lixiviación), transformación (descomposición de la materia orgánica) y transferencia (reciclaje de nutrientes) (Chapin *et al.*, 2002), lo que lleva al desarrollo de una gran variedad de microambientes que le confieren el dinamismo que caracteriza el sistema edáfico (Coleman y Crossley, 2004).

La descomposición de la materia orgánica es uno de los procesos más importantes para el reciclaje de los nutrimentos, la cual se lleva a cabo a través de dos subprocesos contrastantes, la humificación y la mineralización. Esta última determina la fertilidad química controlando el suministro de nutrientes para las plantas, mientras que la humificación es importante para mantener un nivel satisfactorio de materia orgánica del suelo (MOS) (Chapin *et al.*, 2002). Así, la MOS contribuye a la fertilidad del suelo al formar un coloide que cementa las partículas y crea los agregados, mismos que a su vez son rodeados por espacios interconectados que permiten la circulación de agua, solutos y gases. Como posee carga electrostática negativa ayuda a la retención de cationes intercambiables, además de conservar los nutrientes y la energía que no son rápidamente asimilables por los microorganismos ni susceptibles a la lixiviación (Lavelle *et al.*, 1993).

De acuerdo con Medwecka-Kornás (1971) y Brussaard (1994), el reciclaje de nutrientes está sostenido principalmente por el proceso de la descomposición y es controlado por las interacciones entre el clima (temperatura y precipitación), la calidad del sustrato y la comunidad edáfica (Moore *et al.*, 1998; Preston *et al.*, 2000; Trofymow *et al.*, 2002). Estos últimos factores juegan un papel muy importante en el proceso de descomposición e integración de la materia orgánica al suelo (Lavelle, 1981).

La fauna edáfica participa muy activamente en este proceso y es parte fundamental en el inicio del proceso de descomposición. Está constituida por grupos de nemátodos, oligoquetos, crustáceos, ácaros, arañas, insectos y pequeños vertebrados. La mesofauna fragmenta la materia vegetal y favorece la degradación al facilitar el acceso de la materia orgánica a la microbiota (Coleman y Crossley, 2004). Así, los organismos edáficos son diversos y tienen efectos directos e indirectos en la productividad del suelo (Barrios, 2007) y en la recuperación de suelo degradados.

La degradación del suelo es la pérdida de la capacidad de éste para mantener la producción de biomasa. Una causa de esta pérdida es el uso inadecuado y la sobreexplotación del suelo para la satisfacción de las necesidades humanas de alimentación y obtención de materias primas tales como madera o minerales, lo que conduce a la minería a cielo abierto y la deforestación. La agricultura y la ganadería extensivas conducen a la fragmentación de ecosistemas, desertificación, alteración de los ciclos hidrológicos y la pérdida de diversidad biológica (Rodríguez-Zaragoza, 1994; Loredó-Osti, 2005). También, existe la degradación natural debido a procesos de erosión hídrica y eólica (López-Galindo *et al.*, 2007). El Valle de Zapotitlán (Puebla, México) presenta terrazas aluviales con extensiones de áreas conservadas, en proceso de degradación y degradadas. Los diversos grados de degradación de estos suelos son indicio de la alteración en las interacciones planta-microorganismo y de las perturbaciones en las comunidades vegetales. Estos ecosistemas, son muy sensibles a la degradación y tardan demasiado en recuperarse (Evans y Ehleringer, 1993).

En las zonas donde el suelo se ha degradado y perdido sus horizontes superficiales, la vegetación es dispersa y está distribuida en "islas de fertilidad", creando nichos que moderan el ambiente circundante (Pen-Mouratov *et al.*, 2004). Las islas surgen debido a la acumulación de nutrientes y materia orgánica alrededor de los arbustos (Noy-Meir, 1985) y constituyen una pieza clave en la actividad funcional de los ecosistemas áridos y semiáridos, permitiendo a las comunidades microbianas asociadas a dichas plantas crecer debajo de ellas (Whitford, 2002). Este fenómeno insular se ha demostrado bajo dos de los arbustos dominantes en

el desierto de Tehuacán, las leguminosas *Prosopis laevigata* y *Parkinsonia praecox*; sin embargo, se encontró que las islas bajo *P. laevigata* disponen de mayores recursos que bajo otras plantas (García-Sánchez *et al.*, 2012; González-Ruiz *et al.*, 2008).

Las costras biológicas son otro componente biológico que cubre los claros desprovistos de cobertura vegetal. Estas comunidades microbianas están formadas por la asociación entre las partículas del suelo y varios grupos de organismos entre los que se encuentran bacterias heterótrofas, cianobacterias, algas verdes, diatomeas, líquenes, musgos, hepáticas, hongos no liquenizados, líquenes, protozoos y microartrópodos. Además, estas costras adquieren un papel fundamental en el control de las escorrentías, la distribución del agua, la velocidad de flujo, la disminución de la erosión y ayudan al establecimiento de algunas plántulas (Belnap *et al.*, 2001; Rivera-Aguilar *et al.*, 2006). Las costras biológicas del suelo (CBS) son el alimento y hábitat de organismos tales como protozoos, nemátodos, moluscos y artrópodos, pues la presencia de estas incrementan la abundancia y riqueza de la fauna edáfica en el interespacio (Belnap y Lange, 2003; Darby *et al.*, 2007).

La pérdida de la cobertura del suelo en zonas áridas y semiáridas afecta el funcionamiento del sistema edáfico en todos los niveles, por lo que las costras biológicas adquieren gran importancia al estabilizar y reducir la susceptibilidad del suelo a las fuerzas erosivas eólicas e hídricas, así como al modificar las propiedades físicas y químicas del suelo. De igual forma, las plantas bajo su dosel modifican el suelo a través de la deposición de hojarasca y los exudados radiculares, y disminuyen el índice de radiación que va hacia el suelo, incrementando el contenido de humedad local (González-Ruiz *et al.*, 2008; Barness *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2011; García-Sánchez *et al.*, 2012). Además de que, tanto las CBS como las plantas constituyen la principal fuente de alimento de los microartrópodos en zonas áridas y semiáridas, ya que estas son hábitat de una infinidad de microorganismos (Neher *et al.*, 2009).

Por lo anterior, las islas de fertilidad creadas por las CBS y las especies vegetales son de gran importancia en sistemas áridos y semiáridos (Whitford, 2002; Wagner y Jones, 2006). La presencia de estas islas proporcionan un hábitat heterogéneo para los organismos, que aunado a la alta variabilidad estacional de estos ambientes pueden explicar las dinámicas en la distribución de la fauna edáfica (Doblas-Miranda *et al.*, 2007). Así, la estructura y diversidad espacial provista por las plantas está fuertemente asociada con la diversidad de los ácaros (Behan-Pelletier y Winchester, 1998; Winchester *et al.*, 1999; Behan-Pelletier y Walter, 2000). Esta correlación entre la estructura de la comunidad de los ácaros del suelo y los factores físico-químico-biológicos es una consecuencia tanto de la riqueza específica y la abundancia de estos, como de procesos tales como el reciclaje de los nutrientes mediante la fragmentación de la hojarasca y la depredación (Noble *et al.*, 1996).

Entre la fauna edáfica, los ácaros comprenden la mayor parte de la mesofauna en el suelo de algunas zonas áridas, pues destacan por su riqueza y abundancia, desplazando a otros organismos como los colémbolos, las lombrices, los miriápodos y los coleópteros. Así mismo, los ácaros constituyen uno de los grupos animales con un mayor poder de adaptación a las variaciones ambientales (Hoffmann, 1988) y son un componente importante de las redes tróficas, pues su alimentación incluye bacterias, hifas de hongos, líquenes, polen, algas, nemátodos, larvas de pequeños insectos y otros microartrópodos, mientras que sirven de alimento para arácnidos, insectos y otros ácaros. Además, juegan un papel muy importante en el mantenimiento del equilibrio del suelo y en el reciclaje y redistribución de nutrientes mediante el desmenuzamiento de la hojarasca, la formación de túneles y el depósito de heces como sustrato. Su efecto depredador permite prevenir la sobrepoblación de la microbiota responsable de los procesos de descomposición y reciclaje de la materia orgánica del suelo (MOS) y de la mineralización de nutrientes. Además, los ácaros ayudan en la dispersión de varios grupos de microorganismos al acarrear esporas adheridas a sus cuerpos; de esta forma los propágulos se distribuyen efectivamente entre las partículas del suelo y pueden encontrar nuevos sustratos para su desarrollo (Estrada-Venegas, 2007).

En el suelo están representados todos los grupos de ácaros: Los oribátidos son el grupo más abundantes en muchos tipos de suelo (Neher y Barberick, 1999; Bandejo y Ola-Adams, 2000), la mayoría de las especies de este grupo realizan todo su ciclo de vida en este sistema, comúnmente se alimentan de la hojarasca y de las poblaciones microbianas. Los prostigmados, por su parte, son dominantes en ciertos suelos de zonas áridas y semiáridas donde se alimentan perforando y succionando el citoplasma de las plantas y células microbianas. El grupo de los mesostigmados, en tanto, son activos depredadores de pequeños artrópodos y nemátodos, moviéndose libremente entre la hojarasca de bosques y matorrales, donde son abundantes (Hoffmann, 2000). Así mismo, este grupo de ácaros es utilizado como control biológico de plagas de artrópodos en campos de cultivo (Marchiori *et al.*, 2000). Finalmente, los astigmados comprenden ácaros que son poco comunes en el suelo, pues generalmente están asociados a otros organismos y se han desarrollado para explotar otros ambientes diferentes al suelo.

El nivel de interacciones entre los ácaros edáficos tiene profundos efectos sobre todos los procesos que ahí se llevan a cabo. La depredación, la competencia y el estímulo de crecimiento de las poblaciones microbianas han sido considerados como los que más afectan la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes (Parkinson, 1983; Coleman y Hendrix, 2004). Además, los cambios en la composición de las especies de ácaros pueden afectar de manera importante la descomposición y la formación de suelo, haciéndolo vulnerable a la degradación y a la pérdida de servicios ecosistémicos, tales como la retención hídrica o el secuestro de carbono.

Las regiones áridas y semiáridas se caracterizan por ser climas donde la lluvia raramente excede la evaporación potencial y la temperatura ambiental se mantiene alta durante más de seis meses al año. En general, estas áreas reciben entre 50 y 500 mm de precipitación pluvial al año. Noy-Meir (1980) menciona que en las zonas áridas y semiáridas, la dinámica poblacional está determinada principalmente por su reacción al ambiente, en particular a la disponibilidad del agua altamente intermitente, pues los procesos ecosistémicos son disparados por la disponibilidad de agua (Whitford, 2002). En este sentido, las zonas áridas y

semiáridas en el mundo se caracterizan por ser estacionales, lo que implica que muchos organismos anticipen la época reproductiva a la disponibilidad de recursos necesarios para las crías y los estados juveniles de las especies que allí viven. Por ejemplo, los ácaros edáficos en el Desierto de Chihuahua regulan su reproducción haciéndola coincidir con las altas probabilidades de encontrar suelos húmedos y actividad microbiana (Wallwork *et al.*, 1986).

Los microartrópodos de estos ambientes, presentan adaptaciones que les permiten establecerse, alimentarse y reproducirse en parches donde varía la diversidad y densidad en función de la distribución de la hojarasca y la materia orgánica del suelo. Además, en estos sistemas áridos y semiáridos la importancia funcional de la fauna del suelo está relacionada directamente con sus características fisiológicas. La fauna edáfica que está activa en un momento particular está determinada por los factores abióticos (Whitford, 1989). En sistemas áridos y semiáridos, algunos artrópodos cubren papeles funcionales que son del dominio de anélidos y otros invertebrados en ambientes más húmedos. Estos artrópodos llenan muchos de los roles funcionales en el desierto porque están menos limitados a la baja disponibilidad de agua y a los ambientes térmicos extremos (Whitford, 1991; Heatwole, 1996).

Por todo lo anterior, es necesaria una mayor comprensión de cómo se pueden estructurar las comunidades de ácaros edáficos de acuerdo con las características fisicoquímicas que brindan algunos microambientes en zonas áridas y semiáridas. Para poder determinar su importancia en el funcionamiento de estos sistemas (Mummey, 2006).

OBJETIVOS

La pregunta principal que busca contestar esta tesis es ¿Cómo varía la estructura de la comunidad de ácaros del suelo (en términos de abundancia y riqueza de especies) en cinco microambientes (bajo el dosel de *Prosopis laevigata*, de *Parkinsonia praecox*, de *Myrtillocactus geometrizans*, en las costras biológicas y el suelo desnudo) de una terraza degradada en el Valle de Zapotitlán Salinas, Pue. en diferentes épocas del año?

Como objetivo particular se formula determinar la relación que tiene la comunidad de ácaros del suelo con los rasgos físico-químicos del mismo (humedad, temperatura, contenido de materia orgánica y porosidad del suelo).

ANTECEDENTES

Estrada y colaboradores (1988) en un estudio en el Valle de Tehuacán, Puebla, encontraron que la diversidad de especies de ácaros es muy alta (53 familias y 77 géneros), a pesar de las condiciones extremas del área (altas temperaturas, escasa vegetación, poca precipitación y fuertes vientos). Esta diversidad se explica por la ausencia de otros grupos importantes, como: colémbolos, lombrices de tierra, miriápodos, coleópteros, etc. que participan en la trituración de la materia, por lo cual se piensa que estos grupos pudieron diversificarse en dicho hábitat debido a la falta de competencia.

Neher y colaboradores (2009) trabajaron con comunidades de microartrópodos asociadas con costras biológicas en la meseta del desierto de Colorado y el desierto de Chihuahua. Se encontró que las familias más abundantes fueron Aphelacaridae, Cosmochthoniidae, Micropsammidae, Nanorchestidae, Stigmaeidae y Tydeidae y que la mayoría de las familias presentes fueron microfitófagas, lo que los investigadores asocian a la microflora de las costras biológicas dominadas por líquenes, musgos y cianobacterias.

Villareal y colaboradores (2012) trabajaron con microartrópodos en costras biológicas del suelo de matorral sarcocaula en el estado de Baja California Sur. Se encontró 4 familias de oribátidos, siendo la mejor representada Aphelacaridae con 880 individuos, seguida de Haplochthoniidae con 137 organismos, Gymnodamaeidae y Cymbaeremaeidae con 2 y 1 individuos respectivamente.

Sánchez (2013) en un estudio realizado bajo *Prosopis laevigata* y *Parkinsonia praecox* en una terraza degradada en el Valle de Zapotitlán, Puebla reportó que *P. laevigata* permite el establecimiento de una comunidad de ácaros más diversa, en particular de Oribatida, que fue el orden de ácaros más abundante.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El valle de Zapotitlán se localiza en el centro de México, en el sureste del estado de Puebla y el noreste de Oaxaca (figura 1) dentro de la región xerofítica mexicana en la reserva de la biósfera Tehuacán-Cuicatlán. Su clima es seco semiárido con lluvias durante el verano; con una temperatura media anual de 21 °C y una precipitación media anual de 400 a 450 mm, que alcanza su mayor proporción durante la estación lluviosa, la que se extiende de junio a agosto (figura 2). Su vegetación es matorral xerófilo en el que dominan *Prosopis laevigata* (mezquite), *Fouquieria formosa* (ocotillo), *Parkinsonia praecox* (palo verde), *Neobuxbaumia tetetzo* (tetecho) y *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo). De igual forma se encuentran en el área musgos y muchas especies de plantas vasculares, entre las que destaca una gran variedad de cactáceas.

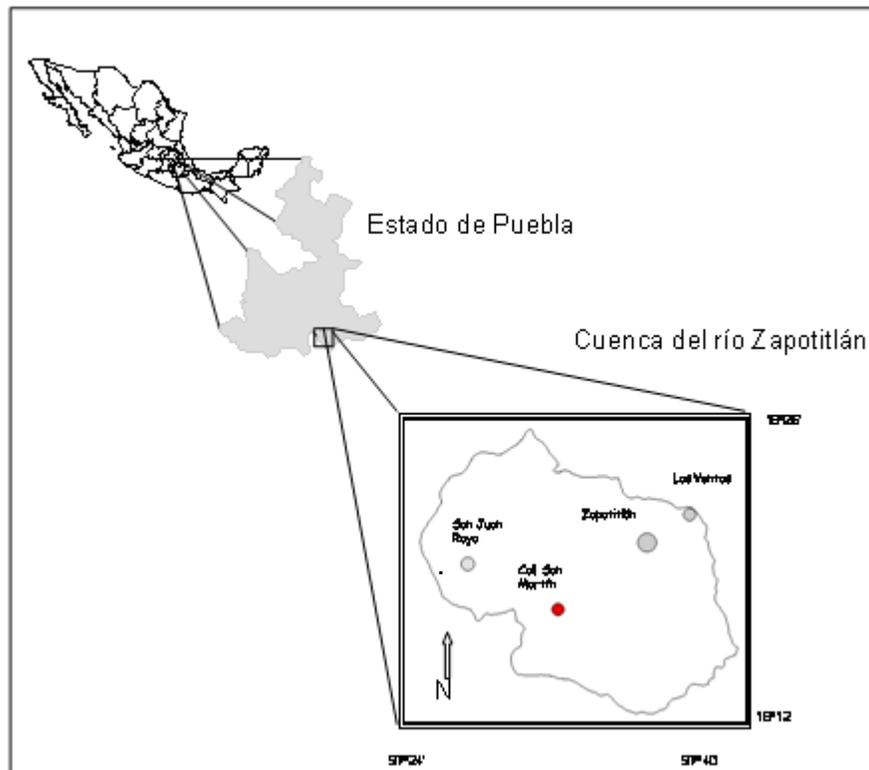


Figura 1. Mapa de la ubicación de Zapotitlán, Salinas, Puebla.

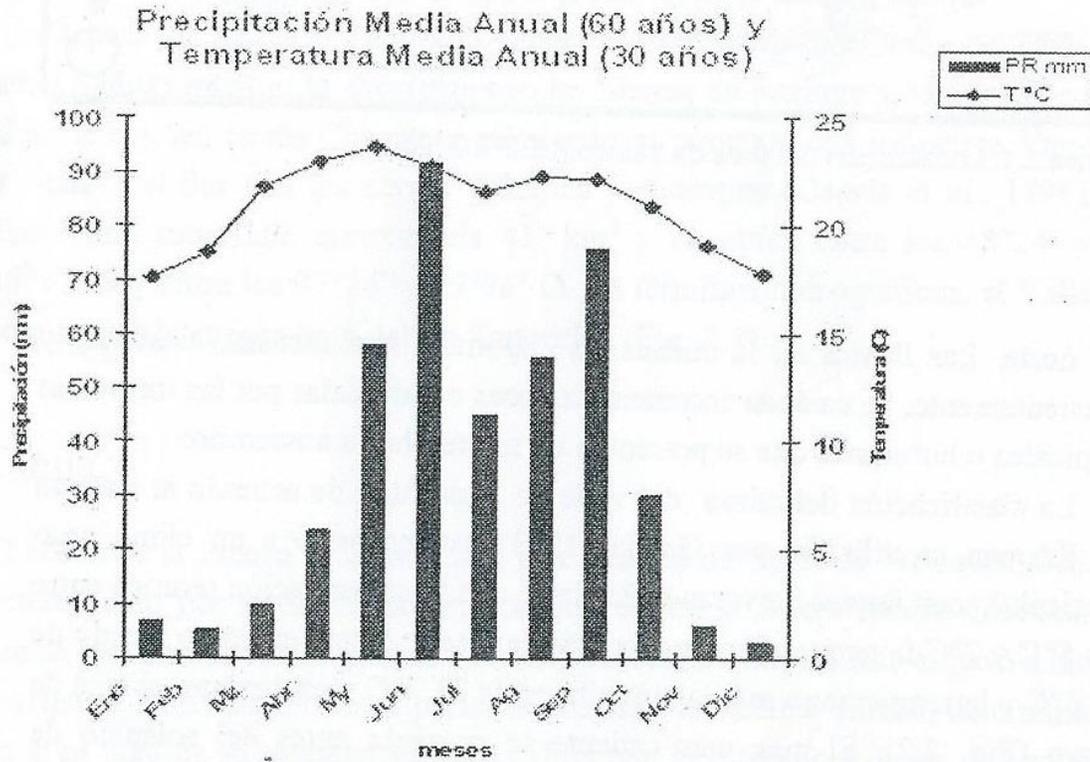


Figura 2. Climograma de la estación Zapotitlán, Puebla.

En el Valle se localizan terrazas aluviales sobre el margen del río Zapotitlán que se caracterizan por tener suelo profundo, así como efectos evidentes de degradación, manifestada por una modificación y fragmentación del paisaje y pérdida de la mayor parte de la vegetación a causa de procesos naturales de erosión hídrica y eólica. La vegetación en estas áreas está dispersa, presentando parches conservados con vegetación, otros perturbados y otros tantos completamente desnudos (López-Galindo *et al.*, 2007).

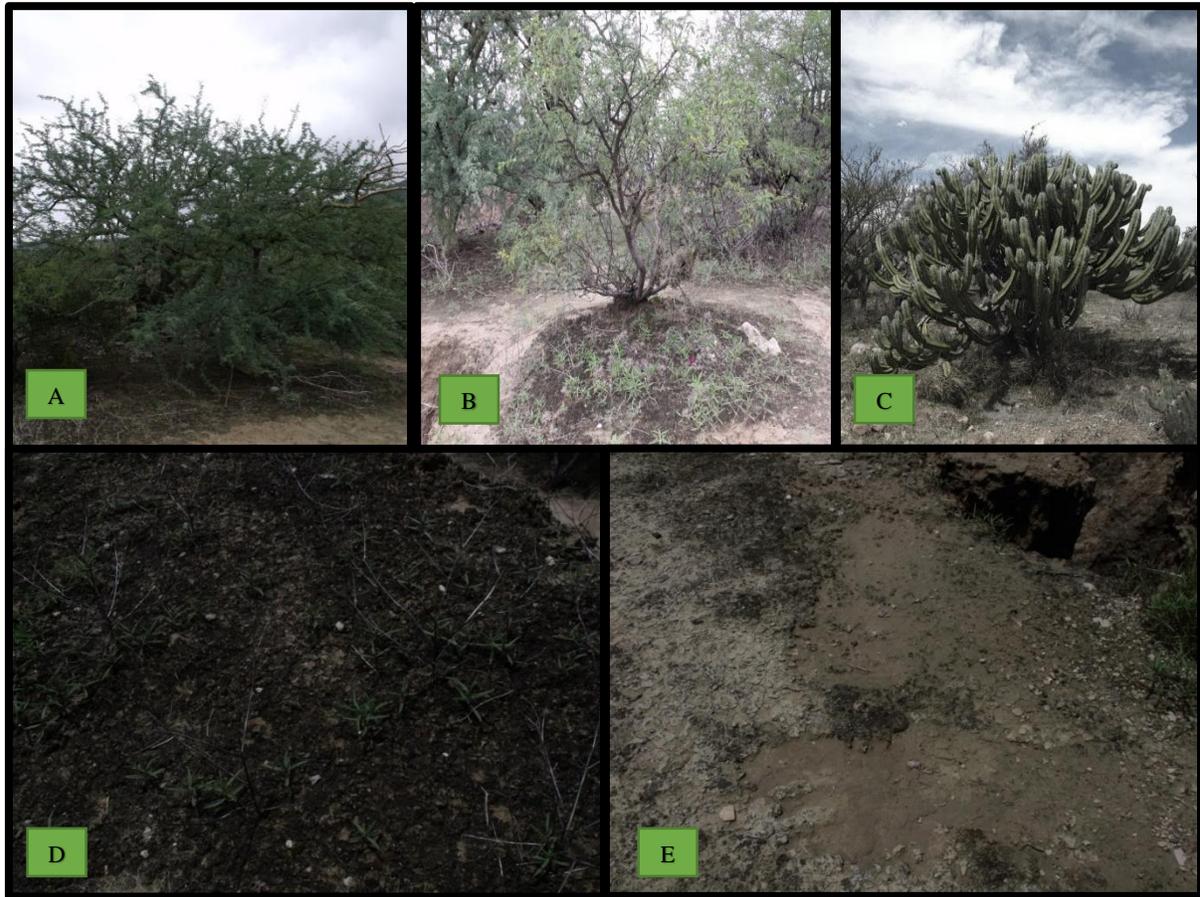


Figura. 3. Diferentes microambientes utilizados en este estudio: A) *P. laevigata*, B) *P. praecox*, C) *M. geometrizans*, D) costras biológicas y E) suelo desnudo.

Muestreo

Se realizaron cuatro muestreos (correspondientes a las cuatro diferentes épocas del año) de forma dirigida a los siguientes cinco microambientes: bajo el dosel de *Prosopis laevigata*, de *Parkinsonia praecox* y de *Myrtillocactus geometrizans*; en costras biológicas y el suelo desnudo (figura 3), con cuatro repeticiones por microambiente. Los muestreos se realizaron en los meses de septiembre (lluvias moderadas), marzo (sequía), junio (lluvias intensas) y julio (canícula). Las muestras se tomaron con ayuda de un nucleador a una profundidad de 20 cm al mediodía, al igual que la temperatura que se tomó in situ. Posteriormente, las muestras fueron depositadas en bolsas de plástico previamente rotuladas y una parte de estas muestras se trasladaron al laboratorio de Ecología Microbiana de la FES-Iztacala para ser procesadas. La otra parte se trasladó al laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos de la Facultad de Ciencias para la extracción de los ácaros mediante la técnica del embudo de Berlesse-Tullgren. El objetivo de esta técnica fue crear un fototropismo negativo, donde los ácaros migraran al fondo huyendo de la luz y el calor excesivo de la superficie, generado por un foco y cayendo a un recipiente con alcohol al 70% como medio de conservación.

Extracción de ácaros

Los organismos extraídos en los recipientes con alcohol se colocaron en cajas de Petri para su separación en grupos taxonómicos y posteriormente fueron depositados en lactofenol (para los ácaros menos esclerosados) y ácido láctico (para los ácaros más esclerosados). Estos reactivos se utilizaron para deshacer las estructuras internas de los organismos facilitando así su identificación. El proceso de aclaramiento tuvo una duración de 7 días y una vez terminado, los organismos fueron colocados en un portaobjetos con un medio de montaje (líquido de Hoyer). Las preparaciones, se dejaron secar en una mufla durante 15 días. Posteriormente, las preparaciones se sellaron con barniz de uñas, con el propósito de evitar que el medio de montaje a base de agua se reblandeciera y se deteriorara el espécimen. Por último, la identificación de los ácaros se realizó con la ayuda de claves taxonómicas de Krantz y claves especializadas para los géneros de ácaros.

Parámetros fisicoquímicos

Se determinaron parámetros físico-químicos mediante técnicas particulares:

1. *Cobertura del dosel*. Se tomaron fotografías en cada microambiente de abajo hacia arriba para determinar la el porcentaje de apertura de dosel (Jonckheere *et al.*, 2004).
2. *Humedad del suelo*. Se obtuvo mediante el método gravimétrico (Ortiz y Ortiz, 1980).
3. *Contenido de materia orgánica del suelo*. Se midió mediante la técnica de oxidación con ácido crómico y ácido sulfúrico (Walker y Black, 1947).
4. *pH del suelo*. Se midió con ayuda de un phmetro modelo conductronic pH120.
5. *Temperatura del suelo*. Fue tomada al mediodía directamente del suelo con ayuda de un termómetro de campo.
6. *Porosidad del suelo*. Se obtuvo comparando los valores de densidad aparente mediante el método volumétrico (Beaver, 1963) y densidad real a través del método del picnómetro (Aguilera y Domínguez, 1980).

Índices ecológicos y análisis estadísticos

Para conocer la similitud que existen entre los diferentes microambientes en la comunidad de ácaros edáficos, se utilizó el Índice de similitud de Sørensen. También se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener, así como el índice de diversidad de Simpson.

Además, se hicieron ANOVAs de dos vías para verificar el efecto de los microambientes y las estaciones sobre los parámetros fisicoquímicos edáficos. Por último, se utilizó el análisis multivariado de Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) para determinar la relación entre los parámetros fisicoquímicos con la estructura de la comunidad de ácaros del suelo.

RESULTADOS

Parámetros fisicoquímicos

Se midieron los parámetros de cobertura de dosel, humedad del suelo, contenido de materia orgánica, pH del suelo y la temperatura del suelo obteniendo los siguientes resultados:

Se encontró un efecto significativo del microambiente ($F_{4,60} = 381.25$, $P < 0.001$), pero no de la época del año ($F_{3,60} = 1.767$, $P = 0.163$) ni de la interacción época \times microambiente ($F_{12,60} = 1.122$, $P = 0.360$) sobre la cobertura del dosel. Este parámetro varió entre ambientes siguiendo este patrón: *Myrtillocactus geometrizans* (MG, 46.7%) = *Parkinsonia praecox* (PAP, 46.6%) > *Prosopis laevigata* (PRL, 39.4%) > costras biológicas (CB, 2.8%) > suelo desnudo (SD, 0.8%) (prueba LSD de Tukey).

Se encontró un efecto significativo de la época del año ($F_{3,60} = 61.706$, $P < 0.001$), del microambiente ($F_{4,60} = 4.048$, $P = 0.006$) y de la interacción época \times microambiente ($F_{12,60} = 2.171$, $P = 0.025$) sobre el contenido de humedad del suelo. Este parámetro fue significativamente más bajo en la época de sequía (SE, 5.352%) y en la canícula (CA, 6.670%) que durante las épocas de lluvias moderadas (LLMO, 13.248%) y de lluvias intensas (LLIN, 14.616%) (prueba LSD de Tukey). Por otra parte las CB y el SD fueron significativamente menores (8.292% y 8.532% respectivamente) que PAP (11.81%), pero PRL y MG no difirieron entre sí ni con los microambientes (prueba LSD de Tukey).

Hubo un efecto significativo de la época del año ($F_{3,60} = 5.875$, $P = 0.001$) y del microambiente ($F_{4,60} = 5.875$, $P = 0.006$), pero no de la interacción \times microambiente ($F_{12,60} = 5.875$, $P = 0.597$) sobre el contenido de materia orgánica del suelo (MOS). Este parámetro fue significativamente más bajo en la época de SE (1.03%) que en el resto de las temporadas (1.50-1.68%) (prueba LSD de Tukey). Por otro lado, SD registró significativamente menor MO (1.01%) que PAP (1.57%) y MG (1.75%), pero CB (1.32%) y PRL (1.54%) no difirieron entre sí ni con los demás microambientes (prueba LSD de Tukey).

Tabla 1. Variación estacional de cinco parámetros fisicoquímicos del suelo (media \pm desviación estándar) en cinco microambientes de una terraza degradada en Zapotitlán Salinas, Pue. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre épocas dentro de un mismo microambiente, y letras mayúsculas diferentes denotan diferencias significativas entre microambientes dentro de una misma época con $P < 0.05$ (prueba de Tukey). Cob de dos. = cobertura de dosel, MO = materia orgánica, Temp. = temperatura del suelo. $N = 4$.

Microambiente	Estación	Cob de dos (%)	Humedad (%)	MO (%)	pH	Temp (°C)
<i>P. laevigata</i>	Lluvias moderadas	35.71 \pm 1.65 ^{a,B}	13.12 \pm 1.97 ^{a,AB}	1.33 \pm 0.36 ^{a,AB}	7.76 \pm 0.03 ^{b,A}	19.5 \pm 0.29 ^{c,B}
	Sequía	39.90 \pm 4.10 ^{a,B}	5.62 \pm 0.18 ^{b,AB}	1.15 \pm 0.43 ^{b,AB}	7.82 \pm 0.07 ^{b,A}	21.0 \pm 0.41 ^{a,B}
	Lluvias intensas	40.08 \pm 4.54 ^{a,B}	15.35 \pm 2.02 ^{a,AB}	1.89 \pm 0.36 ^{a,AB}	7.90 \pm 0.06 ^{ab,A}	20.5 \pm 0.29 ^{b,B}
	Canícula	42.06 \pm 4.02 ^{a,B}	7.30 \pm 0.80 ^{b,AB}	1.80 \pm 0.18 ^{a,AB}	7.88 \pm 0.03 ^{a,A}	20.2 \pm 0.25 ^{bc,B}
<i>P. praecox</i>	Lluvias moderadas	48.80 \pm 1.77 ^{a,A}	14.41 \pm 2.34 ^{a,A}	1.71 \pm 0.20 ^{a,A}	7.78 \pm 0.02 ^{b,A}	19.8 \pm 0.25 ^{c,B}
	Sequía	34.77 \pm 1.82 ^{a,A}	5.63 \pm 0.80 ^{b,A}	0.89 \pm 0.35 ^{b,A}	7.95 \pm 0.06 ^{b,A}	21.2 \pm 0.48 ^{a,B}
	Lluvias intensas	51.94 \pm 3.72 ^{a,A}	20.33 \pm 3.97 ^{a,A}	1.86 \pm 0.16 ^{a,A}	7.93 \pm 0.08 ^{ab,A}	20.8 \pm 0.41 ^{b,B}
	Canícula	50.78 \pm 2.35 ^{a,A}	6.87 \pm 0.62 ^{b,A}	1.80 \pm 0.16 ^{a,A}	7.87 \pm 0.03 ^{a,A}	20.0 \pm 0.25 ^{bc,B}
<i>M. geometrizans</i>	Lluvias moderadas	47.21 \pm 1.36 ^{a,A}	14.47 \pm 1.08 ^{a,AB}	1.94 \pm 0.21 ^{a,A}	7.69 \pm 0.01 ^{b,A}	21.2 \pm 0.48 ^{c,AB}
	Sequía	43.48 \pm 1.52 ^{a,A}	4.60 \pm 0.46 ^{b,AB}	1.20 \pm 0.40 ^{b,A}	7.66 \pm 0.08 ^{b,A}	21.2 \pm 0.25 ^{a,AB}
	Lluvias intensas	47.60 \pm 1.96 ^{a,A}	17.28 \pm 2.95 ^{a,AB}	1.96 \pm 0.07 ^{a,A}	7.82 \pm 0.06 ^{ab,A}	20.8 \pm 0.25 ^{b,AB}
	Canícula	48.36 \pm 2.15 ^{a,A}	7.15 \pm 0.25 ^{b,AB}	1.88 \pm 0.49 ^{a,A}	7.94 \pm 0.08 ^{a,A}	20.0 \pm 0.41 ^{bc,AB}
C. biológicas	Lluvias moderadas	3.17 \pm 1.45 ^{a,C}	11.26 \pm 0.91 ^{a,B}	1.50 \pm 0.19 ^{a,AB}	7.81 \pm 0.06 ^{b,A}	20.0 \pm 0.41 ^{c,A}
	Sequía	2.77 \pm 1.35 ^{a,C}	5.28 \pm 0.49 ^{b,B}	1.00 \pm 0.26 ^{b,AB}	7.67 \pm 0.17 ^{b,A}	22.0 \pm 0.41 ^{a,A}
	Lluvias intensas	2.78 \pm 1.87 ^{a,C}	11.53 \pm 1.26 ^{a,B}	1.33 \pm 0.39 ^{a,AB}	7.87 \pm 0.06 ^{ab,A}	21.5 \pm 0.29 ^{b,A}
	Canícula	2.38 \pm 1.89 ^{a,C}	5.10 \pm 0.33 ^{b,B}	1.45 \pm 0.37 ^{a,AB}	7.89 \pm 0.05 ^{a,A}	21.0 \pm 0.41 ^{bc,A}
S. desnudo	Lluvias moderadas	0 ^{a,D}	12.98 \pm 1.41 ^{a,B}	1.02 \pm 0.12 ^{a,B}	7.77 \pm 0.06 ^{b,A}	20.5 \pm 0.29 ^{c,A}
	Sequía	0 ^{a,D}	5.63 \pm 0.91 ^{b,B}	0.89 \pm 0.32 ^{b,B}	7.70 \pm 0.05 ^{b,A}	22.0 \pm 0.41 ^{a,A}
	Lluvias intensas	1.58 ^{a,D}	8.59 \pm 0.98 ^{a,B}	0.63 \pm 0.08 ^{a,B}	7.81 \pm 0.05 ^{ab,A}	21.5 \pm 0.29 ^{b,A}
	Canícula	1.58 ^{a,D}	6.93 \pm 0.64 ^{b,B}	1.48 \pm 0.15 ^{a,B}	7.82 \pm 0.06 ^{a,A}	21.0 \pm 0.41 ^{bc,A}

Hubo un efecto significativo de la época del año ($F_{3,60} = 4.712$, $P = 0.005$), pero no del microambiente ($F_{4,60} = 1.858$, $P=0.130$), ni de la interacción \times microambiente ($F_{12,60} = 1.026$, $P=0.438$) sobre el pH del suelo. La prueba LSD de Tukey mostró que este parámetro fue significativamente más bajo en la época de LLMO (7.760%) y en la época de SE (7.762%) con respecto a la CA (7.880%), pero las LLIN (7.866%) no difirió entre sí ni con las demás épocas.

Se encontró un efecto significativo de la época del año ($F_{3,60} = 13.182$, $P < 0.001$) y del microambiente ($F_{4,60} = 7.153$, $P < 0.001$), pero no de la interacción época \times microambiente ($F_{12,60} = 1.467$, $P = 0.162$) sobre el temperatura del suelo. Este parámetro fue significativamente más bajo en la época de LLMO (20.2%), seguida de LLIN (21.0%) y de SE (21.5%), pero CA (20.45%) no difirió entre sí ni con el resto de las épocas (prueba LSD de Tukey). Por otra parte PAP y PRL fueron significativamente menores (20.3% y 20.4% respectivamente) que las CB y el SD (21.1% y 21.3% respectivamente), pero MG (20.8%) no difirió entre sí ni con los microambientes (prueba LSD de Tukey).

También se midió la porosidad del suelo (figura 4) aunque este se midió en solo un muestreo correspondiente a la época de LLIN. La prueba de ANOVA de un factor no mostró un efecto significativo entre los microambientes ($F_{4,19} = 2.252$, $P = 0.112$).

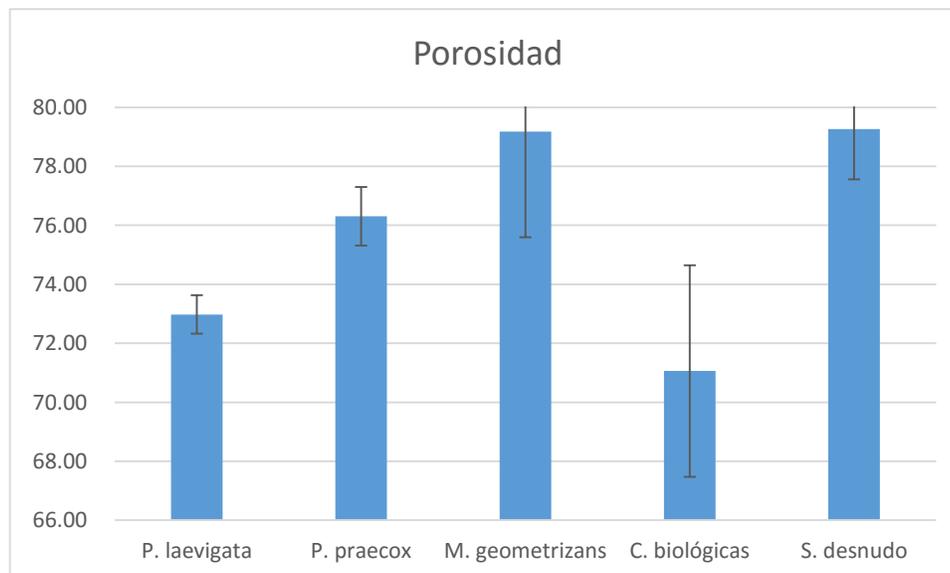


Figura 4. Porosidad en los cinco microambientes durante la época de lluvias intensas. N=4.

Ácaros edáficos

Se encontró un total de 706 organismos: 176 organismos durante el primer muestreo que correspondió a la época de lluvias moderadas (septiembre), 112 ejemplares durante la época de sequía (marzo), en el tercer muestreo (junio) se colectaron 246 individuos y en la canícula (julio) que fue el cuarto y último muestreo se observaron 172 ácaros.

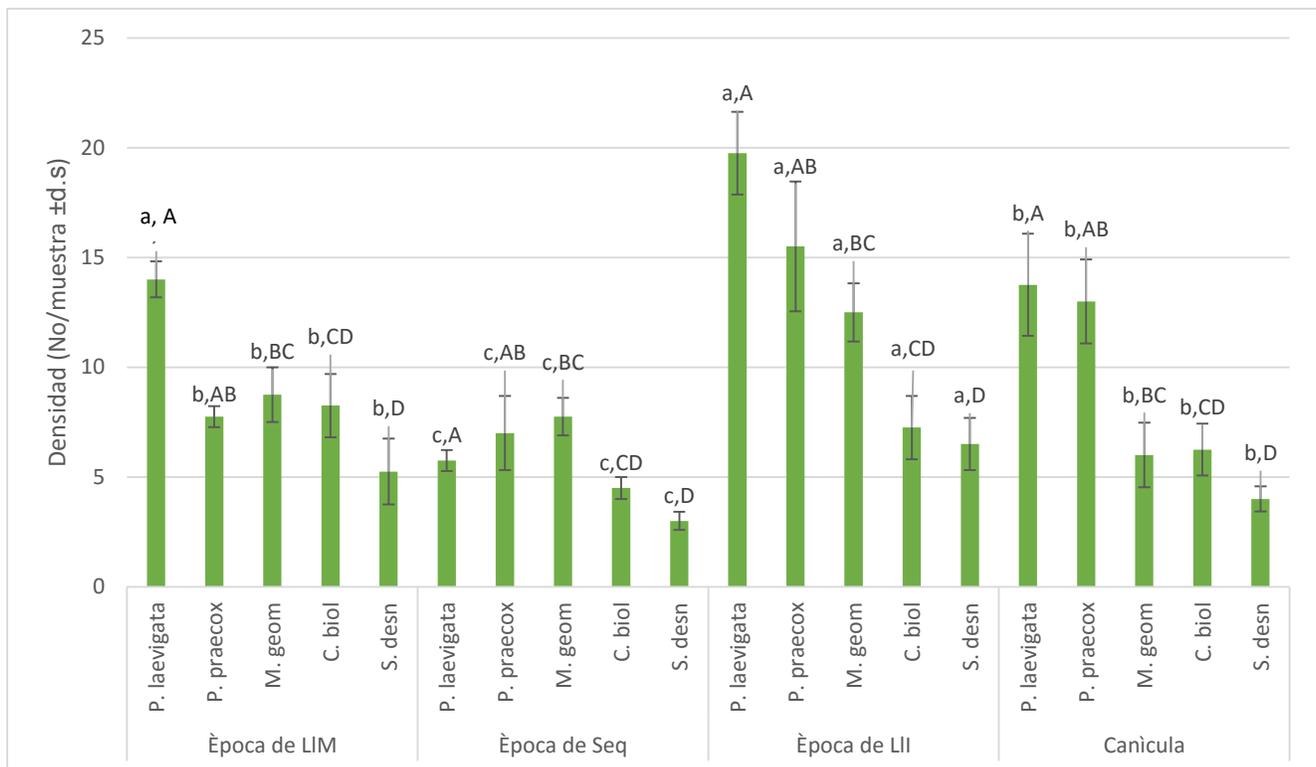


Figura 5. Densidad de ácaros en los cinco microambientes durante los cuatro muestreos. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre épocas, y letras mayúsculas diferentes denotan diferencias significativas entre microambientes con $P < 0.05$ (prueba de Tukey). $N=4$.

Se encontró un efecto significativo de la época del año ($F_{3,60} = 18.660$, $P < 0.001$), del microambiente ($F_{4,60} = 24.429$, $P < 0.001$) y de la interacción época \times microambiente ($F_{12,60} = 2.646$, $P = 0.007$) en la abundancia de los ácaros del suelo. La prueba LSD de Tukey mostró que la abundancia de ácaros fue significativamente más baja en la época de SE (5.6 ácaros/muestra), seguida por la CA (8.6 ácaros/muestra) la época de LLMO (8.8 ácaros/muestra) y al final por las LLIN (12.3 ácaros/muestra).

Por otra parte, la prueba LSD de Tukey mostró un efecto significativo del SD (4.69 ácaros/muestra) con respecto a PRL (13.31 ácaros/muestra). Las CB (6.56 ácaros/muestra) no difirieron entre sí, pero si entre MG (8.75 ácaros/muestra), PAP (10.81 ácaros/muestra) y PRL (13.31 ácaros/muestra), de igual forma MG (8.75 ácaros/muestra) mostró diferencias entre PRL (13.31 ácaros/muestra), PAP (10.81 ácaros/muestra) y SD (4.69 ácaros/muestra); así como PAP (10.81 ácaros/muestra) solo difirió entre SD(4.69 ácaros/muestra), CB (6.56 ácaros/muestra) y MG (13.31 ácaros/muestra) (figura 5).

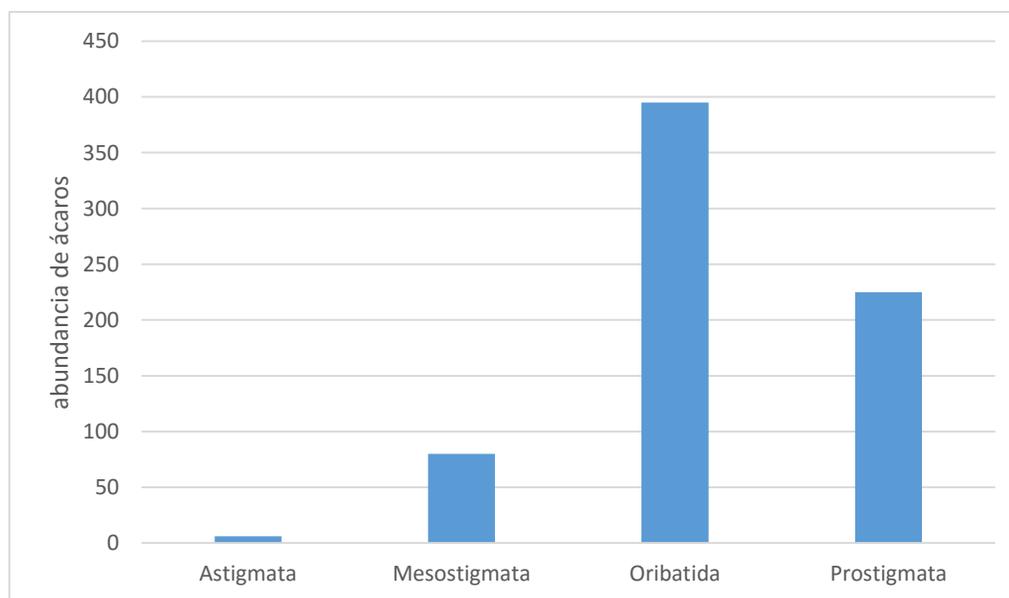


Figura 6. Abundancia total de ácaros en los cinco microambientes de las cuatro épocas del año.

La figura 6 muestra la abundancia de ácaros por órdenes, siendo el orden Oribatida el más abundante con 395 ácaros, seguida por Prostigmata con 225 ácaros, Mesostigmata con 80 ácaros y finalmente Astigmata con 6 ácaros.

La tabla 2 muestra la diversidad de los ácaros durante todas las épocas del año en donde la Familia Aphelacaridae fue la más abundante con 96 individuos, 40 de estos colectados en la época de lluvias moderadas. Después le sigue Oribatulidae con 67 individuos, donde 25 organismos se colectaron en la época de lluvias intensas. Estas dos familias son pertenecientes al orden Oribatida. Cabe resaltar que la tercera familia con mayor abundancia fue Ascidae (45 individuos) que pertenece al orden Mesostigmata. Además, se colectaron 63 estadios inmaduros, de los cuales 40 se registraron en la época de las lluvias moderadas. Con respecto al orden Prostigmata, las familias con mayor abundancia fueron Teneriffiidae con 31, Linotetranidae con 29 y Smarididae con 24 en donde la mayoría de los organismos fueron colectados en la época de lluvias moderadas. Por último, se colectaron también organismos pertenecientes al orden Astigmata, donde la familia con mayor abundancia fue Acaridae.

Tabla 2a. Abundancia de ácaros por familia durante la época de lluvias moderadas (septiembre) en cinco microambientes edáficos: bajo tres especies de plantas (*P. laevigata*, *P. praecox*, *M. geometrizzans*), costras biológicas y el suelo desnudo.

Orden	Familia	Lluvias moderadas				
		<i>P. laevigata</i>	<i>P. praecox</i>	<i>M. geometrizzans</i>	C. biológicas	S. desnudo
Mesostigmata	Ascidae	5		1	1	1
Prostigmata	Anystidae	1	1	1	1	
	Bdellidae	2	1	1	1	
	Caeculidae	1	1		1	
	Caligonellidae	1	1	1	1	1
	Camerobiidae		1			
	Cryptognathidae		1	2		
	Cunaxidae	2	3		2	
	Erythraeidae			2	1	
	Linotetránidae	3	1	1	3	1
	Nanorchestidae				1	
	Pachygnathidae	1	1		1	
	Smarididae	1	1	1	1	1
	Stigmaeidae				1	
	Tarsocheylidae	1		1	1	
	Teneriffiidae	2	1	1	2	1
Trombididae			1			
Oribatida	Aphelacaridae	9	7	10	6	8
	Brachychthoniidae	2	1	2	2	1
	Camisidae	2		1		
	Cepheidae			1		
	Ceratozetidae	1	1			
	Cosmochthoniidae	2	1	1	1	1
	Damaeidae					
	Eremaeozetidae	4	2	3	3	4
	Galumnidae	1	1			
	Oppiidae	1	1			1
	Oribatulidae	8	3	2	3	1
	Pthiracaridae	2				
	Schelorbitidae	3	1	1		
	Tectocepheidae			1		
	Estadios inmaduros	1				
Total		56	31	35	33	21

Tabla 2b. Abundancia de ácaros por familia durante la época de sequía (marzo) en cinco microambientes edáficos: bajo tres especies de plantas (*P. laevigata*, *P. praecox*, *M. geometrizzans*), costras biológicas y el suelo desnudo.

Orden	Familia	Sequía				
		<i>P. laevigata</i>	<i>P. praecox</i>	<i>M. geometrizzans</i>	C. biológicas	S. desnudo
Mesostigmata	Ascidae		1	1	1	
	Rhodacaridae	1				
Prostigmata	Anystidae	1		1		1
	Barbutiidae		1			
	Bdellidae	1		1	1	
	Caligonellidae	1	1	2		1
	Cryptognathidae	1	1	1		
	Cunaxidae	2	1	1		
	Erythraeidae		1	1	1	1
	Linotetránidae	1	3	2		2
	Nanorchestidae			1		
	Pachygnathidae	1		1	1	1
	Smarididae		1	2	3	
	Stigmaeidae				1	
	Teneriffiidae	1		1	1	
Trombididae			1			
Oribatida	Aphelacaridae	5	10	7	5	2
	Brachychthoniidae	2	1	2		1
	Camisidae	1				
	Cosmochthoniidae	2	1	1	1	1
	Damaeidae					
	Eremaeozetidae	1	3	2	2	2
	Galumnidae			1		
	Gymnodamaeidae	1				
	Oppiidae			1		
	Oribatulidae	1	2	1	1	
Schelorbitidae		1				
Total		23	28	31	18	12

Tabla 2c. Abundancia de ácaros por familia durante la época de lluvias intensas (junio) en cinco microambientes edáficos: bajo tres especies de plantas (*P. laevigata*, *P. praecox*, *M. geometriza*ns), costras biológicas y el suelo desnudo.

Orden	Familia	Lluvias intensas				
		<i>P. laevigata</i>	<i>P. praecox</i>	<i>M. geometriza</i> ns	C. biológicas	S. desnudo
Mesostigmata	Ascidae	11	3	3		3
	Rhodacaridae			1		
	Uropodidae		3	2		
Prostigmata	Anystidae		1			
	Barbutiidae		2			
	Bdellidae	2	3			1
	Bimichaelidae	1		1		
	Caeculidae	2	1	1		
	Caligonellidae				1	
	Cryptognathidae				1	1
	Cunaxidae	2	1			
	Eupodidae			1		
	Linotetránidae	3			1	2
	Nanorchestidae				1	
	Pachygnathidae	2		1		
	Smarididae	3	1	2		
	Stigmaeidae	1	1	1	1	1
	Tarsocheylidae	1				
	Teneriffiidae	8	4	1		1
	Terpnacaridae					1
Trombididae	1	1				
Oribatida	Aphelacaridae	9	1	4	2	2
	Brachychthoniidae	2	1	2		1
	Camisidae	2				
	Ceratozetidae	1	3	3	1	3
	Cosmochthoniidae		1	2	2	1
	Eremaeozetidae	1		2	7	1
	Galumnidae			1		
	Gymnodamaeidae	1	4	4		1
	Oppiidae		1			
	Oribatulidae	1	15	6	2	1
	Perlohmannidae				1	
	Pthiracaridae	3	2		1	
	Schelorbitidae	5	2	6	1	1
Tectocepheidae		1	1			
Astigmata	Acaridae	4				
	Estadios inmaduros	10	12	7	6	5
Total		76	64	52	28	26

Tabla 2d. Abundancia de ácaros por familia durante la canícula (julio) en cinco microambientes edáficos: bajo tres especies de plantas (*P. laevigata*, *P. praecox*, *M. geometriza*ns), costras biológicas y el suelo desnudo.

Orden	Familia	Canícula				
		<i>P. laevigata</i>	<i>P. praecox</i>	<i>M. geometriza</i> ns	C. biológicas	S. desnudo
Mesostigmata	Ascidae	6		4	3	1
	Rhodacaridae				2	
	Uropodidae		4	1		
Prostigmata	Bdellidae	2	2	1		
	Caeculidae	2	1			
	Caligonellidae			1		
	Camerobiidae			1		
	Cryptognathidae			1		
	Cunaxidae	2				2
	Erythraeidae	1	1	1		
	Linotetránidae	1			3	2
	Nanorchestidae			1		
	Pachygnathidae	3	1			
	Paratydaeidae	1				1
	Smarididae	2	2	1		2
	Stigmaeidae	2	2			
	Tarsocheylidae				1	
	Teneriffiidae	2	4			1
	Terpnacaridae					1
Trombididae	2	1				
Oribatida	Aphelacaridae	3	4	1	1	
	Brachychthoniidae	3			1	
	Camisidae		2			
	Cepheidae		1			
	Ceratozetidae	3		1		
	Cymbaeremaneidae			1		
	Cosmochthoniidae	1	1	1		
	Damaeidae		3			
	Eremaeozetidae	2			2	
	Galumnidae	1				
	Gymnodamaeidae		2			
	Oppiidae	1			2	
	Oribatulidae	11	6	2		1
	Pthiracaridae	1		1		
Schelorbitidae		3	1	2	1	
Tectocepheidae		2	2		1	
Astigmata	Acaridae				3	
	Carpoglyphidae	1				
	Estadios inmaduros	8	6	1	5	2
Total		61	48	23	25	15

La tabla 3 muestra los índices de diversidad de Shannon-Wiener y de Simpson en donde se observa que con respecto al índice de Shannon-Wiener, el microambiente con mayor diversidad fue bajo *P. laevigata* en la época de lluvias moderadas ($H' = 2.841$) seguida de *P. praecox* en la Canícula ($H' = 2.801$) y de *M. geometriza* en la época de sequía ($H' = 2.771$). El microambiente con menor diversidad fue el suelo desnudo en las lluvias moderadas ($H' = 1.988$).

Sobre el índice de Simpson, El suelo desnudo presento una mayor diversidad en la época de lluvias moderadas ($D = 0.202$) seguido de *P. praecox* en la época de sequía ($D = 0.168$) y de las costras biológicas también en la época de sequías ($D = 0.142$). El microambiente con menor diversidad fue *P. praecox* en la Canícula ($D = 0.072$).

Tabla 3. Variación de los índices de diversidad de Shannon-Wiener y de Simpson en cinco microambientes.

Época	Microambiente				
	<i>P. laevigata</i>	<i>P. praecox</i>	<i>M. geometriza</i>	C. biológicas	S. desnudo
	Índice de Shannon-Wiener				
Lluvias moderadas	2.841	2.737	2.645	2.745	1.988
Sequía	2.605	2.225	2.771	2.183	2.138
Lluvias intensas	2.823	2.616	2.641	2.318	2.685
Canícula	2.728	2.801	2.694	2.28	2.426
	Índice de Simpson				
Lluvias moderadas	0.077	0.091	0.113	0.08	0.202
Sequía	0.093	0.168	0.086	0.142	0.125
Lluvias intensas	0.075	0.117	0.09	0.132	0.08
Canícula	0.088	0.072	0.08	0.114	0.094

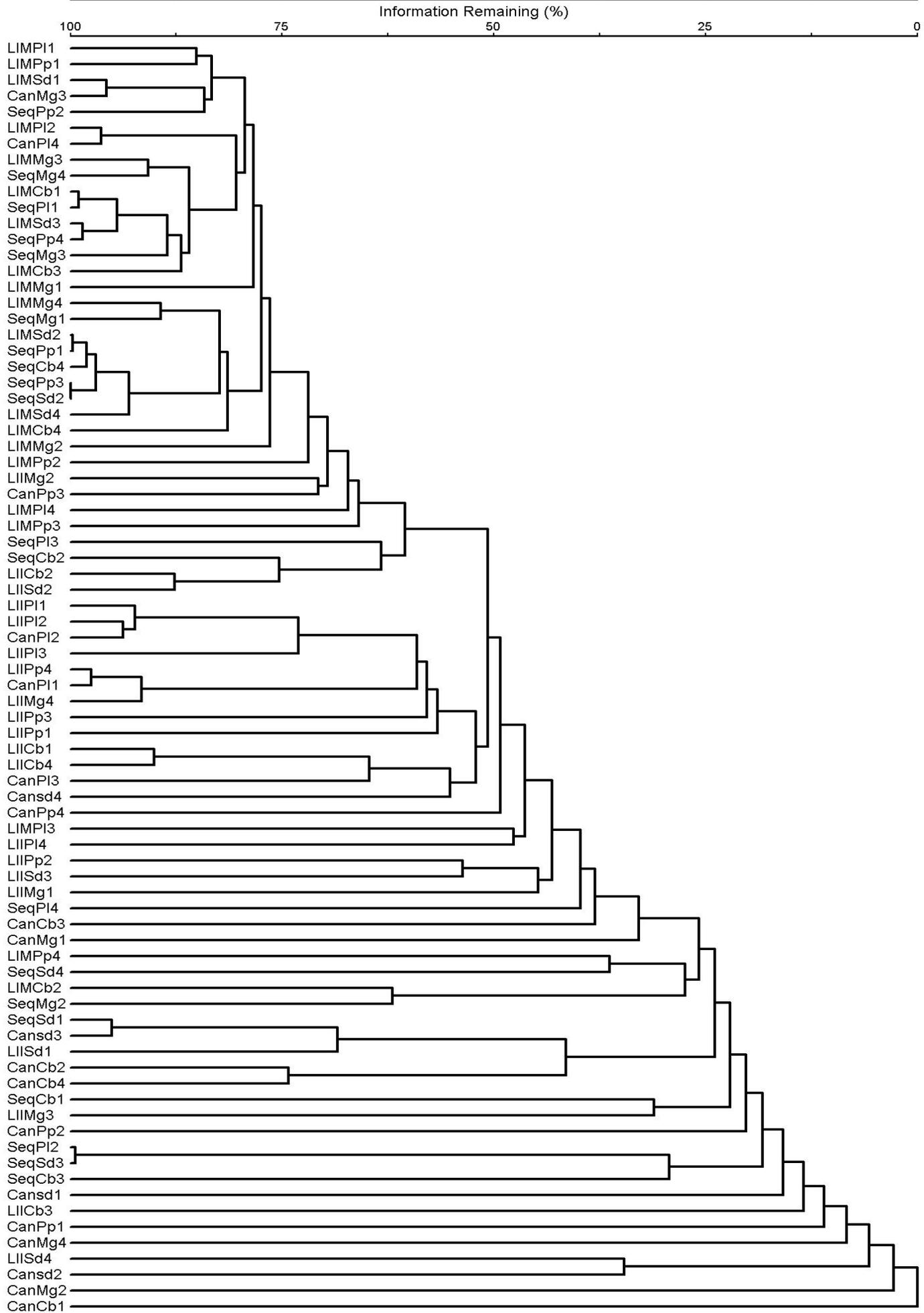


Fig. 7. Índice de similitud de Sørensen (LIM-lluvias moderadas, Seq-sequía, LII-lluvias intensas, Can-canícula, PI-*P. laevigata*, Pp-*P. praecox*, Mg-*M. geometrizans*, Cb-costras biológicas, Sd-suelo desnudo).

El índice de similitud de Sørensen (figura 7) muestra que en la época de lluvias moderadas, los microambientes comparten el 75 % de similitud, en particular, los microambientes de *P. laevigata* y *P. praecox*. También, el índice muestra un porcentaje de similitud de casi el 100 % entre algunos microambientes de la época de sequía, mientras que los microambientes durante la canícula presentan una similitud inferior al 50 %.

En la figura 8 se muestra el análisis canónico de correspondencias en donde se observan ciertas tendencias de los microambientes con respecto a los parámetros fisicoquímicos medidos, por ejemplo: la mayoría de los microambientes de las CBS y del suelo desnudo durante la época de sequía y la de canícula tienden a agruparse hacia el donde va la temperatura. Por otra parte, los microambientes de las especies vegetales durante las épocas de lluvias se agrupan hacia donde va la humedad, la cobertura de dosel y el contenido de materia orgánica, en particular *P. laevigata* que se agrupa donde está el contenido de materia orgánica.

Con respecto a las familias de ácaros: Aphelacaridae, Smarididae, Brachychthoniidae, Eremaeozetidae y Caligonelidae se encuentran donde está la temperatura, mientras que Ascidae, Bdellidae, Caeculidae, Ceratozetidae, Oribatulidae, Pthiracidae, Scheloribatidae, Tenereffiidae y los estadios inmaduros se agrupan junto a las plantas *P. laevigata* y *P. praecox*, así como con los factores físico-químicos donde los vectores más largos corresponden a la humedad del suelo, el contenido de materia orgánica y la cobertura de dosel. Sin embargo, la varianza de los datos es explicada con solo el 2.7%, como se observa en el apéndice 2.

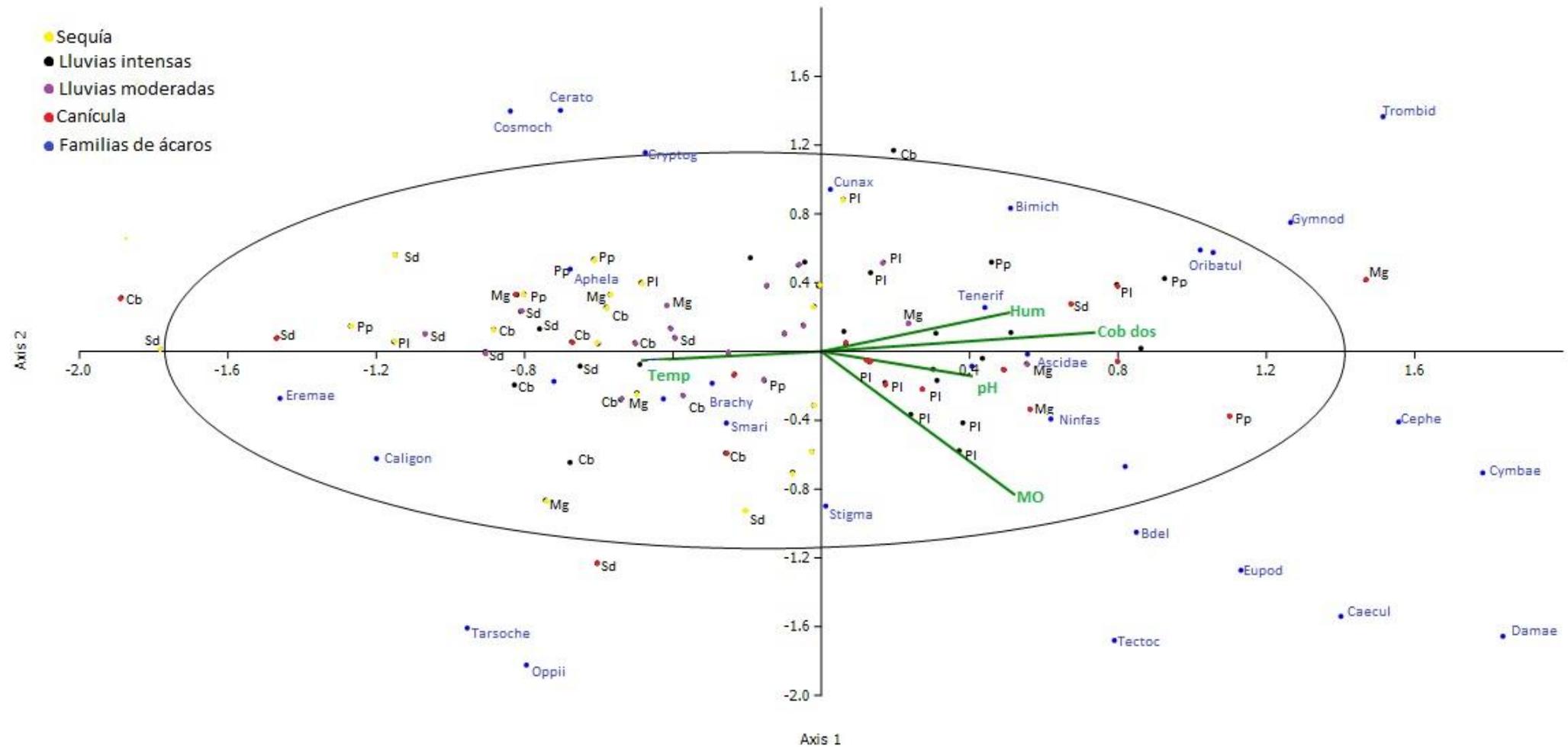


Fig 8. Análisis Canónico de Correspondencias de las familias de ácaros en los cinco microambientes durante las cuatro estaciones (en donde PI- *P. laevigata*, Pp- *P. praecox*, Mg- *M. geometrizans*, Cb- costras biológicas, Sd- suelo desnudo).

DISCUSIÓN

Durante la época de sequía hubo una menor abundancia y riqueza de ácaros edáficos, en particular en las costras biológicas y el suelo desnudo, ya que estos sitios estaban descubiertos y expuestos, pues como se observó en los datos, en esos sitios fue mayor la temperatura; además, la humedad fue menor y fue casi nula la presencia de cobertura de dosel (en algunos sitios fue del 0%). Noy-Meir (1985) y Pen-Mouratov y colaboradores (2008) indican que en este periodo anterior a las primeras lluvias, las condiciones son muy estresantes para los organismos, es por eso que se encontró una menor diversidad de ácaros, pues en este periodo la mayoría de los organismos se encuentran en un periodo de inactividad, mientras que otros ácaros, en especial aquellos pertenecientes a las familias Aphelacaridae, Oribatulidae, Ascidae se mantienen activos a lo largo del año.

A pesar de que la época de sequía representa una estación de estrés para los organismos y en consecuencia, una baja actividad y diversidad de estos, la presencia de las plantas mostró un efecto positivo en las comunidades de ácaros edáficos, fue ahí donde se encontró una mayor diversidad con respecto a los sitios carentes de vegetación. Esto puede deberse a que los microorganismos, una de las fuentes de alimento para los ácaros, llevan a cabo la descomposición y el reciclaje de los nutrimentos bajo las plantas (Barrios, 2007; Bueè *et al.*, 2009; Doblas-Miranda *et al.*, 2009). Por esa razón, la riqueza y abundancia de los ácaros disminuyó cuando dicha ventana de actividad se cerró, haciendo que las condiciones ambientales en esta época en particular no fueran las favorables para la comunidad de ácaros del suelo.

Sin embargo, fue en las épocas de lluvias donde se reportó la mayor diversidad de ácaros con respecto a la época de sequía y a la canícula. Esta diversidad fue mayor posiblemente a la gran cantidad de agua disponible en el suelo, aunado a la sombra que proyectan las plantas sobre el mismo, además de la presencia constante de hojarasca que permiten una mayor retención de humedad bajo el suelo de las especies vegetales. Los valores de varios parámetros fisicoquímicos (tabla 1) respaldan esta afirmación, por ejemplo, la humedad en el suelo fue mayor durante estas épocas, al igual que el contenido de materia orgánica,

en particular en el suelo de las especies vegetales de las cuales *P. praecox* registró los valores más altos. Lo anterior puede deberse al constante suministro de hojarasca por parte de las plantas haciendo que esta acumulación de materia orgánica en los parches de vegetación favorezcan la existencia de una mayor riqueza y abundancia de la biota del suelo (Virginia, 1986; Schenk y Jackson, 2002; Pen-Mouratov *et al.*, 2004; Meinders y van Breemen, 2005; Goberna *et al.*, 2007, Housman *et al.*, 2007), ya que la diversidad de ácaros que se encontró en la zona de raíces de las especies vegetales tiene relación con el modelo de isla de fertilidad (Pen-Mouratov, 2004). Este modelo menciona que la abundancia de los organismos está estrechamente relacionada a la concentración de recursos disponibles. Así, los organismos son más abundantes alrededor de las plantas que proporcionan los recursos en sistemas áridos y semiáridos, pues la disponibilidad de alimento promueve el aumento de la biomasa microbiana que a su vez sirve de alimento para la fauna edáfica durante la ventana de actividad biológica.

Además, muchos estudios de microartrópodos en zonas áridas y semiáridas han mostrado que la riqueza de especies y las densidades poblacionales también pueden variar en función de otros factores fisicoquímicos como la cantidad de la MOS y el suministro de hojarasca al suelo (Steinberger y Whitford, 1984), y que la distribución de los ácaros puede ser también explicada por los efectos de la cobertura vegetal (Smrz, 2007; Coleman *et al.*, 2004). Sobre esta cobertura de dosel, los datos obtenidos de *P. praecox* fueron superiores con respecto a las otras dos plantas, esto debido a los patrones en la producción de biomasa y al desprendimiento gradual de las hojas.

En el trabajo de Pavón y Briones (2001) se enfatiza que la principal diferencia entre las plantas es su patrón de producción de hojas en donde *P. laevigata* tiene un periodo de producción de hojas dos meses antes de la época de lluvias (marzo-mayo) y mantiene sus hojas a lo largo del año, mientras que *P. praecox* muda completamente de hojas al inicio de los meses secos y alcanza su producción de hojas durante la temporada húmeda. Esto es importante, ya que el dosel de las plantas ayuda a crear condiciones favorables para el establecimiento de comunidades de artrópodos arbóreos y edáficos, generando un ambiente favorable

para la alimentación, reproducción y hábitat de estos organismos. Adicionalmente, Arriaga y Maya (2007) describen la importancia de las plantas como proveedoras de sombra, un factor que favorece la actividad fúngica en la hojarasca y modula la temperatura durante el día. Esto se corroboró en este trabajo, pues bajo el dosel de las plantas, la temperatura fue menor (de uno a dos °C menos).

En las costras biológicas se reportaron 26 familias, sin embargo, fueron muy poco abundantes, y se esperaba encontrar una mayor abundancia a la obtenida, ya que Belnap y Lange (2001) indican que las costras biológicas del suelo son el hábitat de una variedad muy grande de microorganismos, de retención de agua, humedad y nutrientes, además de que sirve como un sitio de refugio para los microartrópodos. Por otra parte, se han realizado trabajos en estas biopelícula donde los autores han encontrado abundancias altas, por ejemplo, Neher y colaboradores (2009) en su trabajo realizado en los desiertos de Chihuahua y Colorado reportaron 53 familias en estos microambientes, Villarreal y colaboradores (2012) reportaron, por su parte, 23 familias en un trabajo realizado en la reserva del CIBNOR (Baja California Sur). Ambos trabajos reportaron familias hasta con 100 individuos, lo que los investigadores atribuyen a la alta disponibilidad de recursos, ya sea protección o alimentación. Lo anterior indica que bajo las costras biológicas en el presente estudio, la cantidad de alimento no es la suficiente para albergar una comunidad abundante de ácaros edáficos (Rivera *et al.*, 2006), aunque se deben hacer más estudios al respecto.

Otro parámetro fisicoquímico que se consideró fue la porosidad del suelo pues la distribución de la fauna edáfica también está en función de este factor, ya que existe una relación entre el tamaño de los intersticios del suelo con el tamaño del cuerpo y movilidad del ácaro. Por lo general, los ácaros que viven cerca de la superficie del suelo son de tamaño grande, mientras que en estratos más profundos, las especies son más pequeñas y menos esclerosadas. En el presente trabajo la porosidad del suelo fue muy elevada y similar en todos los microambientes, lo que nos puede indicar que la porosidad no afecta directamente a los microartrópodos del suelo de la terraza. Sin embargo, puede afectar indirectamente ya que está vinculado con la cantidad de agregados estables y el contenido de materia orgánica

(Shepherd *et al.*, 2001). Así, altos porcentajes de agregación y materia orgánica ayudan mantener una alta porosidad (Cabria & Calandroni, 2002; Schaetzl & Anderson, 2005) lo que en conjunto, permite el establecimiento de los ácaros.

Muchos estudios sobre microartrópodos edáficos de zonas áridas y semiáridas han reportado que estos sitios son dominados por ácaros prostigmados, siendo Oribatida el 20% del total de los microartrópodos (Wallwork *et al.*, 1986). Neher y colaboradores (2009), realizaron un trabajo sobre costras biológicas en los desiertos de Colorado y Chihuahua, aquí, los investigadores atribuyen la dominancia de los ácaros prostigmados a una combinación de hábitos y preferencias alimentarias. Estos ácaros se alimentan perforando y succionando la pared celular de hongos y bacterias, mientras que los oribátidos ingieren principalmente la hojarasca que es escasa en estos sitios y alimentándose en menor medida de hongos y bacterias. Por otra parte, Walter (1987) reportó grupos de prostigmados que son generalistas y capaces de alimentarse de una variedad de hongos y nemátodos, características que incrementan su habilidad para sobrevivir en los microambientes del estudio.

Hay situaciones donde los ácaros oribátidos son dominantes en el suelo de estos sistemas, como en el caso de este trabajo, lo cual puede indicar que Oribatida también puede presentar una combinación de preferencias alimenticias, alternando su alimentación de acuerdo a las condiciones ambientales y a la disponibilidad de alimento en un determinado momento y según lo descrito por Maraun y colaboradores (1999), ellos reportaron que la presencia de oribátidos altera significativamente la comunidad fúngica, acelerando la recuperación de la comunidad microbiana, siendo de importancia para la resiliencia del sistema de organismos descomponedores, ya que los ácaros oribátidos dispersan las hifas a través de la superficie de su cuerpo, también se alimentan de estas y de las esporas estimulando así, el metabolismo de los microorganismos y también el crecimiento microbiano mediante la movilización de los nutrimentos.

Otros estudios de microartrópodos en estas regiones han encontrado que la relativa abundancia de Oribatida o Prostigmata depende de la profundidad y la extensión de la hojarasca y MOS (Cepeda-Pizarro & Whitford, 1989). Noble y

colaboradores (1996) encontraron que la superficie con hojarasca y contenido de MOS estuvieron positivamente correlacionados con la abundancia y diversidad de los ácaros. También los astigmados se encontraron solamente en microambientes con altos niveles relativos de MOS. También, en otro estudio experimental en Norte América, la temperatura mostró ser de mayor importancia como un regulador de la abundancia de microartrópodos más que la humedad del suelo (Whitford, 1989), en este estudio, los ácaros dominantes fueron Pseudocheylidae (Prostigmata) y Aphelacaridae y Cosmochthoniidae (Oribatida).

Por otra parte, se reportó una gran cantidad de ácaros pertenecientes al grupo Mesostigmata, los que en su mayoría son depredadores. Esto pudo deberse a la abundancia de organismos que le sirven de alimento pues como indican los resultados, en los microambientes donde hubo mayor riqueza y abundancia de ácaros, también fue mayor la abundancia de mesostigmados que se alimentan de estos ácaros y otros microartrópodos. Hay estudios que indican que los Mesostigmata cazan en la superficie del suelo, donde hay hojarasca, y se alimentan de pequeños artrópodos, donde los depredadores son principalmente pertenecientes a las familias Ascidae, Parasitidae o Veigaiidae. En otro trabajo, se encontró que los mesostigmados depredadores tienen el potencial para controlar la densidad de ciertas taxa de microartrópodos, en particular, pequeñas presas poco esclerotizadas, como por ejemplo algunos organismos pertenecientes a Oribatida (Schneider y Maraun, 2009). Así el efecto de la fauna edáfica en algunos procesos ecosistémicos es de manera indirecta (Koehler, 1999) y tiene relación con sus hábitos alimentarios, ya que como en el caso de los mesostigmados, ellos pueden influir en la producción primaria y en el control de plagas u organismos patógenos (Odum, 1984; Recihle *et al.*, 1975; Schneider *et al.*, 2003).

Se reportaron similitudes en los datos de composición de familias entre este trabajo y otros realizados en zonas áridas y semiáridas de Norteamérica, Chile, África y Australia (Noble *et al.*, 1996). En el presente trabajo se reportaron familias de ácaros que son abundantes en sitios de zonas áridas y semiáridas, como lo son Ascidae, Aphelacaridae, Bdellidae, Caeculidae, Cunaxidae, Eremaozetidae y Linotetranidae, Nanorchestidae, Oribatulidae y Teneriffiidae (Walter *et al.*, 2009).

Autores como Kamill *et al.*, (1985), Noble *et al.*, (1996) y Villarreal (2012) reportan un total de 22, 30 y 35 familias de ácaros respectivamente en los desiertos de Norteamérica. Otros autores como Estrada *et al.*, (1988) y Neher *et al.*, (2009) registraron 53 y 55 familias respectivamente. En el presente trabajo se reportaron 39 familias y esto puede ser un indicador de que en estos ecosistemas áridos y semiáridos la riqueza de ácaros no es tan alta como lo puede ser en otros ecosistemas como los bosques templados o las selvas tropicales donde la riqueza de estos organismos es superior.

También se reportaron ácaros en estadios inmaduros en donde se encontró una mayor abundancia en las épocas de lluvias, lo que puede dar soporte a la idea de que la actividad biológica se dispara por los pulsos de agua en estas zonas áridas y semiáridas, haciendo que los ácaros acoplen sus ciclos reproductivos a estos pulsos en donde el microclima es adecuado y hay suficiente alimento para su reproducción y el desarrollo de sus estadios inmaduros.

En este estudio, el análisis de correspondencia canónica mostró una relación de las familias dominantes de ácaros con *P. laevigata* y *P. praecox*, además de algunos factores fisicoquímicos como la humedad, la temperatura, el contenido de materia orgánica y la cobertura de dosel, pues estos factores puede que tengan un mayor efecto sobre estas familias de ácaros, en especial aquellas presentes bajo el dosel de las plantas, indicándonos una correlación entre la estructura trófica de los ácaros del suelo con algunas características y procesos que suceden en el suelo con relación a la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de los nutrientes, como lo son la depredación que controla la sobrepoblación de los microorganismos en el suelo y en especial, la fragmentación de la hojarasca que permite a otros organismos hacer uso de ella y así mantener el reciclaje de los nutrimentos.

CONCLUSIÓN

La estructura de la comunidad de ácaros edáficos fue diferente en los cinco microambientes, así como en las diferentes épocas del año. Así mismo, se registró una dominancia de ácaros oribátidos sobre los otros grupos de ácaros, dicha diferencia puede estar asociada con algunas características fisicoquímicas de cada microambiente que permiten el establecimiento de las distintas comunidades de ácaros, en particular bajo *P. laevigata* y *P. praecox* y durante la época de lluvias, tanto moderada, como intensa, en donde se encontró la mayor diversidad de ácaros del suelo, pues se observó que bajo estos arbustos, la humedad del suelo, la cobertura de dosel y el contenido de materia orgánica fueron mayores. Lo anterior indica que los arbustos tienen un efecto positivo para las comunidades de ácaros del suelo, pues las especies vegetales actúan como sitios adecuados para el desarrollo y reproducción de estos organismos además de que son su fuente de alimento, en particular, durante la época de lluvias donde se observó la mayor diversidad.

LITERATURA CITADA

- Aguilera, H. y Domínguez, V. 1980. Metodología de análisis físicoquímicos de suelos. Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- Arriaga, L. y Maya, Y. 2007. Spatial variability in decomposition rates in a desert scrub of northwestern Mexico. *Plant Ecology* **189**: 213-225.
- Bandejo, M. y Ola-Adams, B. 2000. Abundance and diversity of soil mites of fragmented habitats in a biosphere reserve in Southern Nigeria. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* **35** (11): 2121-2128.
- Barness, G., Rodriguez-Zaragoza, S., Shmueli, I. y Steinberger, Y. 2009. Vertical distribution of a soil microbial community as affected by plant ecophysiological adaptation in a desert system. *Microbial Ecology* **57**: 36-49.
- Barrios, E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics* **64**: 269-285.
- Beavers, A. 1963. Some mineralogical and chemical properties of plant opal. *Soil Science* **96**: 375-379.
- Behan-Pelletier, V. y Winchester, N. 1998. Arboreal oribatid mite diversity: colonizing the canopy. *Applied Soil Ecology* **9**: 45-51.
- Behan-Pelletier, V. y Walter, D.E., 2000. Biodiversity of oribatid mites (Acari: Oribatida) in tree canopies and litter. En: Coleman, D.C., Hendrix, P.F. (Eds.), *Invertebrates as Webmasters in Ecosystems*. CAB International, Wallingford.
- Belnap, J y Lange, O. 2001. *Biological Soil Crust: Structure, Function and Management*. Springer-Verlag. Berlín.
- Belnap, J. y Lange, O.L., 2003. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*, second ed. Springer, Berlín.
- Brussaard, L. 1994. Interrelationship between biological activities, soil properties and soil management. *Soil Biology & Biochemistry* **15**: 235-247.
- Buée M., De Boer W., Martin F., Overbeek L. y Jurkevitch E. 2009. The rhizosphere zoo: An overview of plant-associated communities of microorganisms, including phages, bacteria, archaea, and fungi, and of some of their structuring factors. *Plant and Soil* **321**:189-212.

- Cabria, F. y Calandroni C. 2002. Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas. *Ciencias del Suelo* **20**: 69-80.
- Cepeda-Pizarro, J.G. y Whitford, W.G. (1989). Species abundance distribution patterns of microarthropods in surface decomposing litter and mineral soil on a desert watershed. *Pedobiologia*, **33**: 254–268.
- Chapin, F., Matson, P. y Mooney, H. 2002. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer.
- Coleman, D., Crossley, D. y Hendrix, P. 2004. *Fundamentals of Soil Ecology*. Elsevier. Amsterdam.
- Darby, B.J., Neher, D.A. y Belnap, J., 2007. Soil nematode communities are ecologically more mature beneath late- than early-successional stage biological soil crusts. *Applied Soil Ecology* **35**: 203–212.
- Doblas-Miranda, E. 2007. Ecology of soil macroinvertebrates in a Mediterranean arid ecosystem. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- Doblas-Miranda, E., Sánchez-Piñero, F. y González-Megías, A. 2009. Different microhabitats affect soil macroinvertebrate assemblages in a Mediterranean arid ecosystem. *Applied Soil Ecology* **41**: 329-335.
- Estrada-Venegas, E., Sánchez, I. y Bassols, I. 1988. Ácaros del suelo de dos zonas del Valle de Tehuacán Puebla, México. *Folia Entomología Mexicana* **76**: 225-236
- Estrada-Venegas, E. 2007. Ácaros Del suelo y su influencia en el proceso de descomposición. *Microbiología agrícola*. Trillas. México. 273-293.
- Evans, R.D. y Ehleringer, J. R. 1993. A break in the nitrogen cycles in aridlands? Evidence from $\delta^{15}\text{N}$ of soils. *Oecologia* **94**: 314-317.
- García-Sánchez, R., Camargo-Ricarde, S., García-Moya, E., Luna-Cavazos, M., Romero-Manzanares, A. y Montaña, N. 2012. *Prosopis laevigata* and *Mimosa biuncifera* (leguminosae), jointly influence plant diversity and soil fertility of a Mexican semiarid ecosystem. *Revista de Biología Tropical* **60**: 87-103.
- Goberna, M., Pascual, J., García, C. y Sánchez, J. 2007. Do plant clumps constitute microbial hotspots in semiarid Mediterranean patchy landscapes? *Soil Biology & Biochemistry* **39**: 1047–1054.

- González-Ruiz, T., Rodríguez- Zaragoza, S. y Ferrera-Cerrato, R. 2008. Fertility islands around *Prosopis laevigata* and *Pachycereus hollianus* in the drylands of Zapotitlán Salinas, México. *Journal of Arid Environments* **72**: 1202-1212.
- Heatwole, H. 1996. *Adaptations of Desert Organisms*. Springer-Verlag, Berlin.
- Hoffmann, A. 1988. *Animales desconocidos: Relatos acarológicos*. Fondo de Cultura Económica. México.
- Hoffmann, A. 2000. *Biodiversidad de los ácaros en México*. CONABIO-UNAM. México
- Housman, D., Yeager, C., Darby, B., Sanford Jr, R., Kuske, C., Neher, D. y Belnap, J. 2007. Heterogeneity of soil nutrients and subsurface biota in a dryland ecosystem. *Soil Biology & Biochemistry* **39**: 2139-2149.
- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muysa, B., Coppin, P., Weiss, M. y Baret, F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* **121**: 19–35.
- Kamill, Bernardette, W., Steinberger, Y. y Whitford, W. 1985. Soil microarthropods from the Chihuahuan Desert of New Mexico. *Journal of Zoology Society of London*. **205**: 273-286.
- Koehler, H. 1999. Predatory mites (Gamasina, Mesostigmata). *Agriculture Ecosystems & Environment*. **74**: 395-410.
- Lavelle, P. 1981. Faunal Activities and soil process: Adaptative strategies that determine ecosystems function. *Transactions of the 15th World Congress of Soil Science*, Acapulco, México.
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S. y Spain, A. 1993. A Hierarchical Model for Decomposition in Terrestrial Ecosystems: Application to Soil of the Humid Tropics. *Biotropica* **25**: 130-150.
- Li, C., Li, Y., Ma, J. 2011. Spatial heterogeneity of soil chemical properties at fine scales induced by *Halaxylon ammodendron* (Chenopodiaceae) plants in a Sandy desert. *Ecological Research* **26**: 385-394.
- López-Galindo, F., Muñoz, D., Hernández, M., Soler, A. y Horta, G. 2007. *Deterioro Ambiental En Zonas Áridas*. FESI. UNAM. México. D.F.

- Loredo-Osti, C. 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en las zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRPE-CAMPO Exp. San Luis. Libro Técnico Número 1. San Luis Potosí, S. L. P. México.
- Maraun, M., Visser, S. y Scheu, S. 1999. Oribatid mites enhance the recovery of the microbial community after a strong disturbance. *Applied Soil Ecology* **9**:175-181.
- Marchiori, C., Silva, C., Caldas, E., Vieira, C., Almeida, K., Teixeira, F. y Linhares, A. 2000. Artrópodos asociados com carcaca de suíno em Itumbiara, sul de Goiás. *Arquivos do Instituto Biológico* **67**: 167-170.
- Medwecka-Kornás, A. 1971. Plant litter In: Phillipson, J. (Ed.) *Methods of study in quantitative soil ecology populations, production and energy flow*. Blackwell Scientific Publications. Gran Bretaña.
- Moore, J., Walter, D. y Hunt, H. 1988. Arthropod regulation of micro- and mesobiota in below-ground detrital food webs. *Annual Review of Entomology* **33**: 419–439.
- Mummey, D y Rilliq, M. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytology* **171**: 41-53.
- Neher, D. y Barbercheck, M. 1999. Diversity and function of soil mesofauna. 27-47.
- Neher, D. A., Lewins, S. A., Weicht, T. R. y Darby, B. J. 2009. Microarthropod communities associated with biological soil crust in the Colorado Plateau and Chihuahuan deserts. *Journal of Arid Environments* **73**: 672-677.
- Noble, J., Whitford, W. y Kaliszweski, M. 1996. Soil and litter microarthropod populations from two contrasting ecosystems in semi-arid eastern Australia. *Journal of Arid Environments* **32**: 329-346.
- Noy-Meir, I. 1980. Structure and function of desert ecosystem. *Israel Journal of Botany* **28**: 1-19.
- Noy-Meir, I. 1985. Desert ecosystem structure and function. En: Evenari, M; Noy-Meir, I; Goodall, D. (eds). *Hot desert and arid shrublands. Ecosystems of the world*. Elsevier, Amsterdam.
- Odum, E.P. 1984. Properties of agroecosystems. In: Lowrance, R., Stinner, B.J., House, G.J. (Eds.), *Agricultural Ecosystems*. Wiley, Nueva York.
- Ortiz, V y Ortiz, O. 1980. *Edafología*. Universidad Autónoma de Chapingo, México.

- Parkinson, D. 1983. Functional relationships between soil organisms. Proceedings of the VII intl. Colloquium of Soil Zoology, Louvain-la-Neuve.
- Pavon, N y Briones, O. 2001. Phenological patterns of nine perennial plants in an intertropical semi-arid mexican scrub. *Journal of Arid Environments* **49**: 265-277.
- Pen-Mouratov, S., Rakhimbaev, M., Barness, G. y Steinberger, Y. 2004. Spatial and temporal dynamics of nematode populations under *Zygophyllum dumosum* in arid environments. *European Journal of Soil Biology* **40**: 31–46.
- Pen-Mouratov, S., Rodriguez-Zaragoza, S. y Steinberger, Y. 2008. The effect of *Cercidium praecox* and *Prosopis laevigata* on vertical distribution of soil free-living nematode communities in the Tehuacan desert, México. *Ecology Research* **23**: 973-982.
- Preston, C. y Trofymow, J. 2000. Variability in litter quality and its relationship to litter decay rates in Canadian forests. *Canadian Journal of Botany* **78**: 1269–1287.
- Reichle, D., O'Neill, R.V. y Harris, W. 1975. Principles of energy and material exchange in ecosystems. In: Van Dobben, W.H., Lowe-McConnell, R.H. (Eds.), *Unifying Concepts in Ecology*. Junk, La Haya.
- Rivera-Aguilar, V., Montejano, G., Rodríguez-Zaragoza, S. y Durán-Díaz, A. 2006. Distribution and composition of cyanobacteria, mosses and lichens of the biological soil crusts of the Tehuacán Valley, Puebla, México. *Journal of Arid Environments* **67**: 208-225.
- Rodriguez-Zaragoza, S. 1994. Ecology of Free-living amoeba. *Critical Review Microbiology* **20**: 225-241
- Sánchez, D. 2013. Estructura de la comunidad de ácaros oribátidos del suelo (Acari: Oribatida) asociada a la zona de raíces de *Prosopis laevigata* y *Parkinsonia praecox* en una terraza degradada en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de licenciatura. UNAM.
- Schaetzl, R. y Anderson, S. 2005. *Soils: Genesis and geomorphology*. Cambridge University Press. UK.
- Schenk, H y Jackson, R. 2002. Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. *Journal of Ecology* **90**: 480–494.

- Schneider, K., Migge, S., Norton, R., Scheu, S., Langel, R., August, R. y Maraun, M. 2003. Trophic niche differentiation in soil microarthropods (Oribatida, Acari): evidence from stable isotope ratios ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$). *Soil Biology & Biochemistry* **36**: 1769-1774.
- Schneider, K y Maraun, M. 2009. Top-down control of soil microarthropods – Evidence from a laboratory experiment. *Soil Biology & Biochemistry* **41**: 170-175.
- Shepherd, T., Saggar, S., Newman, R., Ross, C. y Dando, J. 2001. Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fractions in New Zealand soils. *Australian Journal of Soil Research* **39**: 465-489.
- Smrz, J. 2007. Nutritional biology of oribatid mites from different microhabitats in the forest. Abstract book 8th Central European Workshop on Soil Zoology, p. 59. Institute of Soil Biology, Academy of Sciences of the Czech Republic.
- Steinberger, Y. y Whitford, W. 1984. Spatial and temporal relationships of soil microarthropods on a desert watershed. *Pedobiologia* **26**:275-284.
- Trofymow, J. y Moore, T., CIDET Working Group. 2002. Rates of litter decomposition after six years in Canadian forests: influence of litter quality and climate. *Canadian Journal of Forest Research* **32**: 789–804.
- Villarreal-Rosas, J., Palacios-Vargas, J. y Maya, Y. 2014. Microarthropod communities related with biological soil crusts in a desert scrub in northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **85**: 513-522.
- Virginia, R. 1986. Soil development under legume tree canopies. *Ecology Manage* **16**: 69-79.
- Wagner, D. y Jones, J. 2006. The impact of harvester ants on decomposition, N mineralization, litter quality, and the availability of N to plants in the Mojave Desert. *Soil Biology & Biochemistry* **38**: 2593–2601.
- Walkley, A. y Black, I. 1947. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* **37**: 29.37
- Walter, D. 1987. Trophic behavior of "mycophagous" microarthropods. *Ecology* **26**: 226-229.

- Walter, D., Lindquist, E., Smith, I., Cook, D. y Krantz, G. 2009. Order Trombidiformes. In: Krantz, G. & Walter, D. A manual of acarology, 3rd edn. Texas Tech University Press.
- Wallwork, J., MacQuitty, M., Silva, S y Whitford, W. 1986. Seasonality of some Chihuahuan Desert soil oribatid mites (Acari: Cryptostigmata). *Journal of Zoology of London* **208**: 403–416.
- Whitford, W. 1989. Abiotic controls of the functional structure of soil food webs. *Biology and Fertility of Soils* **8**: 1–6.
- Whitford, W. 2002. *Ecology of Desert Systems*. Academic Press, Londres.
- Whitford, W. 1991. Subterranean termites and long-term productivity of desert rangelands. *Sociobiology* **19**: 235–243.
- Winchester, N., Behan-Pelletier, V. y Ring, R. 1999. Arboreal specificity, diversity and abundance of canopy-dwelling oribatid mites (Acari: Oribatida). *Pedobiologia* **43**: 391–400.

APÉNDICE 1

Tabla 4a. ANOVA de dos vías de temperatura

Variable dependiente: Temperatura

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	43.238 ^a	19	2.276	4.514	.000
Intersección	34403.513	1	34403.513	68238.372	.000
Época	19.938	3	6.646	13.182	.000
Microambiente	14.425	4	3.606	7.153	.000
Temporadas * Microambiente	8.875	12	.740	1.467	.162
Error	30.250	60	.504		
Total	34477.000	80			
Total corregida	73.488	79			

Tabla 4b. ANOVA de dos vías de humedad relativa del suelo

Variable dependiente: Humedad

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1443.529 ^a	19	75.975	11.966	.000
Intersección	25517.296	1	25517.296	4019.007	.000
Época	1175.350	3	391.783	61.706	.000
Microambiente	102.797	4	25.699	4.048	.006
Temporadas * Microambiente	165.382	12	13.782	2.171	.025
Error	380.949	60	6.349		
Total	27341.775	80			
Total corregida	1824.478	79			

Tabla 4c. ANOVA de dos vías del contenido de materia orgánica

Variable dependiente: Contenido de materia orgánica

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	91.853 ^a	19	4.834	2.304	.007
Intersección	3577.144	1	3577.144	1704.690	.000
Época	36.985	3	12.328	5.875	.001
Microambiente	33.372	4	8.343	3.976	.006
Temporada * Microambiente	21.496	12	1.791	.854	.597
Error	125.905	60	2.098		
Total	3794.901	80			
Total corregida	217.757	79			

Tabla 4d. ANOVA de dos vías de la cobertura de dosel

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Cobertura de dosel

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	27833.075 ^a	19	1464.899	81.252	.000
Intersección	56571.289	1	56571.289	3137.778	.000
Época	95.562	3	31.854	1.767	.163
Microambiente	27494.688	4	6873.672	381.254	.000
Temporadas * Microambiente	242.825	12	20.235	1.122	.360
Error	1081.746	60	18.029		
Total	85486.110	80			
Total corregida	28914.821	79			

Tabla 4e. ANOVA de dos vías de pH

Variable dependiente: pH

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	.598 ^a	19	.031	1.783	.047
Intersección	4886.720	1	4886.720	276665.492	.000
Época	.250	3	.083	4.712	.005
Microambiente	.131	4	.033	1.858	.130
Temporadas * Microambiente	.217	12	.018	1.026	.438
Error	1.060	60	.018		
Total	4888.378	80			
Total corregida	1.658	79			

Tabla 4f. ANOVA de un factor de porosidad

Porosidad

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	216.303	4	54.076	2.252	.112
Intra-grupos	360.248	15	24.017		
Total	576.551	19			

Tabla 4g. ANOVA de dos vías de los ácaros edáficos

Ácaros

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	36.800 ^a	19	1.937	9.760	.000
Intersección	697.971	1	697.971	3517.246	.000
Épocas	11.109	3	3.703	18.660	.000
Microambientes	19.391	4	4.848	24.429	.000
Épocas * Microambientes	6.301	12	.525	2.646	.007
Error	11.907	60	.198		
Total	746.678	80			
Total corregida	48.707	79			

Apéndice 2

Tabla 5. Análisis de correspondencia canónica

	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Eigenvalue	0.144	0.126	0.084
Variance in species data			
% of variance explained	2.7	2.4	1.6
Cumulative % explained	2.7	5.1	6.7
Pearson Correlation, Spp-Envt*	0.699	0.688	0.718
Kendall (Rank) Corr., Spp-Envt	0.474	0.478	0.455